

2018-11

# APLICACIÓN DE METODOLOGÍA DMAIC PARA LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS Y MEJORA DE PROCESOS EN INDUSTRIA MANUFACTURERA DE NEUMÁTICOS

GUZMÁN PARRA, RICARDO HUMBERTO

---

<https://hdl.handle.net/11673/49197>

*Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA*

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**SANTIAGO-CHILE**



**APLICACIÓN DE METODOLOGÍA DMAIC**  
**PARA LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS Y**  
**MEJORA DE PROCESOS EN INDUSTRIA**  
**MANUFACTURERA DE NEUMÁTICOS**

**RICARDO GUZMÁN PARRA**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

**PROFESOR GUÍA : SHEILA LASCANO F.**  
**PROFESOR CORREFERENTE : LUIS GUZMÁN B.**

**Noviembre 2018**

# Agradecimientos

Quiero partir agradeciendo a la empresa Goodyear Chile S.A.I.C. por permitirme realizar este trabajo, y dentro de ella que fueron indispensables en el proceso Juanito A., Felipe G., Kenneth S. entre otros. A mi profesora guía Sheila L. por su orientación y apoyo, y a mi profesor correferente Luis G. por su apoyo y preocupación desde que nos conocemos.

Mi estadía en la universidad no fue fácil, pero si entretenida, con altos y bajos vertiginosos, que me llenaron de experiencia y buenos recuerdos, estando involucrada un sin fin de personas importantes a los cuales quiero agradecer.

A mis padres Norma P. y Humberto G. por todo su apoyo, amor y confianza durante todos mis años de formación como persona y profesional. Por sus consejos, ayuda, ser como un hermano para mi, y un ejemplo a seguir, agradezco a mi primo Felipe P. y a mis padrinos Alicia G. y Ricardo P. A mi polola María Jesús Q. por su incondicional apoyo y paciencia, siendo un pilar fundamental en mi vida.

Hasta antes de entrar a la universidad me consideraba una persona de pocos o casi ningún amigo, y ahora salgo con los mejores que podría tener, es por esto que les agradezco a Álvaro V., Felipe B., Carlos C., Raymundo V., Paulo S., Yerko E., y Pablo P. por estar ahí cuando lo necesité, por su compañía al estudiar, ayudarme en momentos académicos y personalmente difíciles.

Por último no quiero dejar de lado a aquellos profesores de mi época escolar que con pequeños consejos cambiaron mi vida como Luis V., María H., y Adela A., profesores de la educación básica que sembraron en mi la semilla de el aprendizaje. A mis profesores de educación media Tania F. Andrés C. y Raonel G. por enamorarme por la ciencia.

Gracias a todos aquellos involucrados en este hermoso proceso, y me disculpo ante quienes olvido mencionar.

A aquel que cree que no se puede...

# Resumen

La mejora continua y la preocupación por el medio ambiente son discusiones que hoy en día grandes empresas llevan a cabo alrededor de todo el mundo, y son temas que se logran complementar en el presente documento, en donde el disminuir pérdidas no reprocesables ayuda a la no generación de desechos, y esto se realiza aplicando una metodología que persigue continuamente la calidad en el proceso integrando a su vez la visión de la ingeniería mecánica.

Goodyear tiene como meta reducir prácticamente por completo la generación de desperdicios en sus plantas a nivel mundial, en este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo encontrar una solución que disminuya la generación de desperdicios producto de problemas asociados al Breaker (componente del neumático) en el conformado y uso del mismo, en el proceso de producción de neumáticos en Goodyear Chile S.A.I.C. utilizando la metodología DMAIC (que propone cinco etapas que son: Definir, Medir, Analizar, Mejorar, y Controlar), junto con otras herramientas de análisis que ayuden a determinar la solución óptima para el problema.

En la primera etapa de la metodología (Definir), se estudia el proceso y con ayuda de gráficos de Pareto se busca el origen del problema, y se identifica el lugar en donde se tiene que enfocar el siguiente paso, con esto, en primer lugar se acota el estudio a una sola máquina de las seis que componen el grupo Steelastic mediante un estudio en las máquinas críticas en Construcción HF.

Para desarrollar el análisis, junto con un grupo multidisciplinario de la empresa, se utilizan herramientas que ayudan a identificar la causa raíz del problema, como visualizar el problema mediante diagramas de flujo y de fenómeno, o diagramas de Ishikawa, de donde se obtienen distintas propuestas de mejora, destacado el mal mantenimiento preventivo que no se realiza, y el no aviso de averías, junto con la variabilidad de velocidad en el alimentación de Breaker en el enrollado del mismo, generando alzas excesivas en la tensión de enrollado.

En la etapa Mejorar, se priorizan la propuestas de mejora para implementarlas y así optimizar la utilización de recursos, la matriz de priorización utilizada es idéntica a la usada en la empresa, y prioriza aquellas actividades de gran impacto y baja dificultad de desarrollo.

Para realizar el Control, se proponen planes que ayuden al mantenimiento en el tiempo de las acciones descritas, junto con seguimiento del problema, para una fácil identificación del motivo de su generación en el futuro.

Finalmente, se presentan las conclusiones del trabajo realizado, y las propuestas de mejora que deben ser aplicadas a todo el grupo de máquinas en caso de obtener los resultados esperados.

# Abstract

Continuous improvement and concern for the environment are discussions that today large companies are having around the world, and these topics are supplemented in this document in order, to reduce non-reprocessible losses to help the non-generation of waste, and this is done by applying a methodology that continuously pursues quality in the process integrating a vision of mechanical engineering.

Goodyear has the aim to reduce completely her generation of waste in her installations, in this context, the present report has as objective to find a solution that decreases the generation of waste, product of problems associated with the Breaker (component of the tire) in the shap and use thereof, in the process of tire production in Goodyear Chile S.A.I.C. using the DMAIC methodology, together with other analysis tools that help to determine the best solution of the problem.

In the first stage of the methodology (Define), the process is studied and, with the help of Pareto charts, the origin of the problem is sought, and it is defined where the next step has to be focused, with this, in the first place the study is limited to one of the six machines the Steelastic group through a study in critical machines in Construction HF.

To develop the analysis, together with a multidisciplinary group of the company, tools are used to help to identify the root cause of the problem, such as visualizing the problem through flow diagrams and phenomenon diagrams, or Ishikawa diagrams, from which different proposals of improvement are obtained, highlighting the bad preventive maintenance that is not carried out, and the failure warning, together with the variability of speed in the Breaker feed in the winding of the same, generating excessive increases in the winding tension.

In the Improve stage, improvement proposals are prioritized to implement them and optimize the use of resources, the prioritization matrix used is identical to that used in the company, prioritizing those activities with high impact and low development

difficulty.

In order to carry out the Control, plans are proposed to help maintain the described actions over time, together with monitoring of the problem, for easy identification of the reason for their generation in the future.

Finally, the conclusions of the present document are presented, along with proposals to extend the improvement to the whole group of machines, in case of obtaining the expected results

# Índice general

1. Introducción	XIV
2. Problemática	XVI
3. Objetivos	XVIII
3.1. Objetivo general . . . . .	XVIII
3.2. Objetivos específicos . . . . .	XVIII
4. Marco teórico	1
4.1. Seis Sigma y DMAIC . . . . .	1
4.1.1. Metodología DMAIC . . . . .	1
4.2. Herramientas de estudio y análisis . . . . .	5
4.2.1. Análisis de Pareto . . . . .	5
4.2.2. Diagramas de flujo . . . . .	6
4.2.3. Estudio de linealidad y sesgo . . . . .	7
4.2.4. Diagrama de causa-efecto . . . . .	8
4.3. Control de variables . . . . .	10
4.3.1. PLC . . . . .	10
4.3.2. PID . . . . .	11
4.4. Ley 20.920 y Goodyear . . . . .	12
4.4.1. De la gestión de los residuos - Obligaciones de los generadores de residuos . . . . .	12
4.4.2. De responsabilidad extendida del productor . . . . .	13
5. Goodyear Chile S.A.I.C.	14
5.1. Partes del neumático . . . . .	14
5.2. Proceso productivo . . . . .	16

5.2.1.	División A . . . . .	16
5.2.2.	División B . . . . .	17
6.	Aplicación metodología DMAIC . . . . .	19
6.1.	Definición del problema . . . . .	19
6.1.1.	Definición . . . . .	22
6.2.	Medir . . . . .	24
6.2.1.	Proceso conformado de Breaker . . . . .	24
6.2.2.	Proceso Constructoras HF . . . . .	34
6.3.	Análisis de causa raíz . . . . .	36
6.3.1.	Factores considerados . . . . .	36
6.3.2.	Efectos de la velocidad de enrollado . . . . .	41
6.3.3.	Comportamiento Tensión-Presión . . . . .	53
6.3.4.	Configuración controlador PID - Cygnus-DIN . . . . .	59
6.3.5.	Control de Frenado en HF . . . . .	60
6.3.6.	Contramidas . . . . .	65
6.4.	Mejorar . . . . .	72
6.4.1.	Priorización de acciones de mejora . . . . .	72
6.4.2.	Plan de acción . . . . .	73
6.4.3.	Implementación de mejoras potenciales . . . . .	73
6.5.	Controlar . . . . .	77
6.5.1.	Plan de sostenimiento . . . . .	77
6.5.2.	Plan de seguimiento . . . . .	77
7.	Conclusiones . . . . .	79
	Bibliografía . . . . .	82
A.	Definición del problema . . . . .	85
B.	Medición de variables . . . . .	92
C.	Análisis de causa raíz . . . . .	99
D.	Mejorar . . . . .	111

# Índice de figuras

2.1. Diagrama proceso productivo Goodyear Chile S.A.I.C. . . . . .	XVI
4.1. Esquema resumen de metodología DMAIC. . . . .	2
4.2. Ejemplo Diagrama de Pareto. . . . .	6
4.3. Ejemplo diagrama de flujo. (A) Actividad que genera valor, (B) Actividad que no genera valor. . . . .	7
4.4. Ejemplo Estudio de linealidad y sesgo de un sistema de medición. . . . .	8
4.5. Ejemplo diagrama de Ishikawa. . . . .	9
4.6. Funcionamiento de un PLC. . . . .	11
4.7. Diagrama de bloques de un proceso con un controlador por retroalimentación. . . . .	11
5.1. Partes de un neumático. . . . .	15
6.1. Gráfico de Pareto para la causas de tiempos muerto en máquinas HF por Componente Irregular. . . . .	20
6.2. Arruga de Breaker presentada en el desenrollado en maquina HF. . . . .	22
6.3. Diagrama SIPOC del proceso. . . . .	23
6.4. Diagrama de flujo de proceso de producción de Breaker en Goodyear. . . . .	25
6.5. Gráfico de torta que muestra el impacto en tiempo perdido en cinco máquinas constructoras. . . . .	26
6.6. Generación de arruga de Breaker en Steelastic, registrado en HF. . . . .	27
6.7. Esquema de aplicador de huincha y enrollador de ST4. . . . .	29
6.8. Medición de tensión de tela y presión de aire en freno de disco durante un enrollado de Breaker completo en Steelastic 4. . . . .	31
6.9. Medición de tensión de tela y presión de aire en freno de disco durante un enrollado de Breaker completo en Steelastic 5. . . . .	32

6.10. Diagrama de flujo de proceso de producción de neumáticos en verde en Goodyear. . . . .	34
6.11. Diagrama de Ishikawa de posibles causas en cinco de las seis M. . . . .	36
6.12. Variación de temperatura y humedad en el sector de las máquinas Stee- lastic durante un año. . . . .	37
6.13. Diagrama del enrolado de tela y Breaker en ST 4. . . . .	42
6.14. Diagrama de funcionamiento de controlador PID en el proceso de enro- llado de tela y Breaker. . . . .	43
6.15. Gráfico de simulación velocidad de avance del Breaker al momento de entrar en el enrollador. . . . .	45
6.16. (a) Representación simplificada del sistema de enrollado. (b) Diagrama de cuerpo libre del Spool. . . . .	46
6.17. (a)Velocidad lineal del Spool.; (b)Velocidad angular de Spool.; (c)Aceleración angular del Spool. . . . .	48
6.18. Representación de la tela enrollada con el Spool a media capacidad; $r_i$ =radio interior, $r_e$ =radio exterior del Breaker y tela enrollados. . . . .	49
6.19. Tensión de la tela y aceleración angular de Spool durante el enrolado en un periodo de 2[s] en un instante de medio enrollado. . . . .	50
6.20. Tensión teórica de la tela durante el enrolado en un periodo de 20[s] en un instante de medio enrollado. . . . .	51
6.21. Tensión real de la tela durante el enrolado en un periodo de 20[s] en un instante de medio enrollado en ST 5. . . . .	51
6.22. Gráfico de simulación de velocidad ideal de avance del Breaker al mo- mento de entrar al enrollador. . . . .	52
6.23. Tensión dieal de la tela durante el enrollado para una velocidad contor- lada. . . . .	53
6.24. Diagrama de cuerpo libre de el rollo de en el proceso de enrollado de Breaker. . . . .	54
6.25. Geometría de la zapata circular de un freno de yugo o disco. . . . .	55
6.26. Variación de presión del freno durante el proceso en enrollado de Breaker. . . . .	56
6.27. Filtración reparada con huincha aislante ST 4. . . . .	58
6.28. Sistema de desenrollado de Breaker en HF. . . . .	61
6.29. Tensión de la tela durante el desenrollado del Breaker en distintos mo- mentos, a distintas presiones de trabajo. . . . .	63

6.30. (a) Manómetro desconectado en HF; (b) Acople entre Spool y freno desgastado. . . . .	65
6.31. Esquema de sistema de control mediante PLC y fotoceldas. . . . .	66
6.32. Esquema de sistema de control mediante PLC y lectura continua. . . . .	68
6.33. Esquema de sistema de control de frenado en HF. . . . .	70
6.34. Informativo dispuesto en cada una de las máquinas constructoras. . . . .	74
6.35. Comportamiento general de tensión y presión en ST4 después del cambio de mangueras. . . . .	75
A.1. Gráfico de Pareto para la causas de tiempo muerto en máquinas HF. . . . .	85
A.2. Prueba de normalidad de datos de tensión en ST 5. . . . .	90
A.3. Normalización de datos de tensión en ST5. . . . .	90
A.4. Estudio de capacidad de variable tensión en ST 5. . . . .	91
B.1. Diagrama de flujo de proceso de producción de neumáticos en Goodyear. . . . .	93
B.2. Partes del conjunto de máquinas de Steelastic. . . . .	94
B.3. Planilla de registro de Arruga de Breaker en HF. BL: hace referencia al código con el cual se registra el Breaker, Steelastic: número de máquina de cual proviene el Breaker, Windup: Lado de máquina Steelastic del cual proviene (operador o no operador). . . . .	96
B.4. Informe de estudio de linealidad de sistema de medición de tensión de tela. . . . .	98
C.1. Spool sin tapas laterales. . . . .	100
C.2. Freno utilizado en máquinas constructoras HF en el desenrollado de Breaker. . . . .	104
C.3. Configuración de Tensión Canónica en controlador PID. . . . .	106
C.4. Configuración de Compensación de Inercia en controlador PID. . . . .	107
C.5. Configuración de Ganancia en controlador PID. . . . .	108
C.6. Calibración de diámetro controlador PID. . . . .	109
C.7. Trabajo estandarizado para la calibración de la tensión en controlados PID. . . . .	110

# Índice de tablas

6.1. Principales causas de tiempos perdidos por Componente Irregular. . . .	21
6.2. Calculo de inercia. . . . .	49
6.3. Parámetros y valores característicos del sistema analizado . . . . .	56
6.4. Estado de cartillas de mantenimiento emitidas durante el primer semestre del 2017 para la Steelastic 4. . . . .	59
6.5. Condiciones para la configuración del PLC. . . . .	67
6.6. Priorización de contramedidas para eliminar la arruga de Breaker. . . .	72
A.1. Tiempo y producción perdida en área Contrucción HF. (Fecha: 04/07/17 al 04/09/17) . . . . .	86
A.2. Tiempo y producción perdida en área Contrucción HF por componentes irregulares. (Fecha: 04/07/17 al 04/09/17) . . . . .	87
A.3. Desglose de costos producidos por falla de Arruga de Breaker. . . . .	89
B.1. Tiempo perdido por cada máquina constructora por Arruga de Breaker. (Fecha: 04/07/17 al 04/09/17) . . . . .	95
B.2. Registro de arrugas en HF. (Fecha: 04/07/17 al 04/09/17) . . . . .	97
B.3. Valores de mediciones de tensión para estudio de linealidad usando diferentes pesos patrones. . . . .	98
C.1. Extracto especificaciones motor SEW SA67 DRS90M4. . . . .	99
C.2. Propiedades físicas de Spool sin tapas laterales. . . . .	101
C.3. Características de materiales de fricción para frenos y embragues. . . .	102
C.4. Parámetros de un freno de yugo de zapata circular. . . . .	103
C.5. Torque generado por el freno en máquinas constructoras HF a diferentes presiones. . . . .	105
D.1. Priorización de contramedidas. . . . .	113

D.2. Plan de acción de contramedidas. . . . .	114
D.3. Fallas encontradas en Steelastic. . . . .	114

# Capítulo 1

## Introducción

El cuidado por el medio ambiente, y la creciente preocupación por el sobreconsumo de materias primas en industrias manufactureras, ha provocado que distintas diversas entidades a nivel mundial tomen cartas en el asunto, y esto es lo que ha hecho el Gobierno de Chile en el año 2016 al promulgar la ley 20.920 que establece un marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y el fomento al reciclaje, las empresas tienen la obligación de tomar medidas sobre sus residuos y sus productos vendidos ya en desuso [1]. Una política muy similar adoptó la empresa manufacturera de neumáticos Goodyear a nivel mundial, y en el año 2005, en su planta en Chile empieza a implementar medidas con el fin de disminuir los residuos generados en la producción de neumáticos.

En el proceso de producción de neumáticos se generan distintos desperdicios, principalmente caucho, y una de las características del proceso y de las materias primas utilizadas, es que el desperdicio de material se puede volver a reprocesar, teniendo en muy pocas ocasiones pérdidas del producto, y en caso de tenerlas, estas son vendidas a terceros que se preocupan de su reciclaje. Pero existe un componente del neumático llamado Breaker, el cual lleva en su interior alambres de acero con un recubrimiento de cobre, que en el caso de tener fallas en el proceso (al usar o construir este componente), no se puede reprocesar y se convierte en un desperdicio, el cual no puede ser reciclado en la planta dada la complejidad de separar el acero del caucho para reutilizar este último. Por esto se genera una alianza con una empresa externa la cual se encarga del reciclaje de este componente a un costo considerable para Goodyear, esto último más el costo asociado en la producción y no uso del Breaker.

Por otra parte Goodyear, para mantener la posición en el mercado mundial que

la caracteriza, ha optado por implementar gradualmente diversas técnicas de mejoramiento basadas en la metodología DMAIC en sus diversas plantas, siendo su planta en Chile, una de las pioneras en implementar esta metodología sirviendo de ejemplo para otros países.

En esta memoria se utiliza como base la metodología DMAIC, junto con herramientas para analizar procesos, y un análisis desde el punto de vista de la ingeniería mecánica de los fenómenos encontrados, logrando una combinación de recursos muy potente a la hora de realizar análisis de fallas en cualquier etapa del proceso, obteniendo así contramedidas para atacar el problema encontrado durante la aplicación de la metodología.

Con esto se espera contribuir al fomento de la disminución de desperdicios, no tan solo en la fabricación de neumáticos, sino que en la industria en general, dado que la implementación de estas metodologías, junto con un análisis riguroso y serio de los fenómenos, se encuentran soluciones que aportan poco a poco a disminuir el impacto que todos generamos al medio ambiente, con ideas nuevas y metodologías innovadoras.

# Capítulo 2

## Problemática

El proceso productivo del neumático se divide en dos áreas (División A y B), la primera comienza en el sector Mezclado, en donde ingresan las materias primas para obtener caucho (denominado compuesto) según las especificaciones de diseño del neumático, para luego pasa al sector Extrusión, obteniendo caucho en láminas gruesas del compuesto que son transportadas a distintos grupos de máquinas del sector Preparatoria, en donde se fabrican los distintos componentes y capas del neumático, con esto se da término a la división A. Los componentes pasan a la división B, que parte en Construcción HF, obteniendo como resultado el neumático en verde (sin vulcanizar) que es llevado a Vulcanización, en donde se vulcanizan y se obtiene el neumático en teoría terminado, el proceso finaliza con una inspección de calidad de cada uno de los neumáticos en Acabado Final, como se observa en la Figura 2.1.

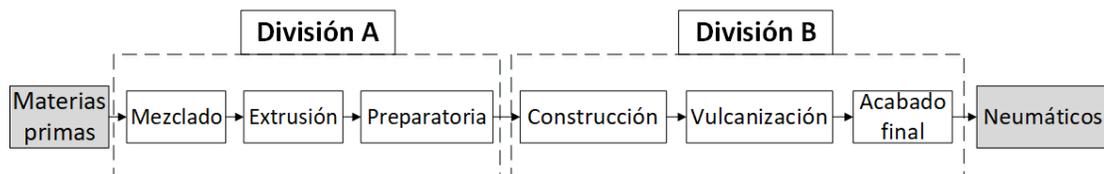


Figura 2.1: Diagrama proceso productivo Goodyear Chile S.A.I.C.

Fuente: Elaboración propia.

En plantas de producción continua, como lo es Goodyear, los tiempos muertos por detenciones inesperadas, son un factor de peso a la hora de estudiar la productividad de una empresa, esto junto con el interés por parte de la compañía de reducir al máximo posible sus desperdicios, convierte a la combinación “tiempo muerto por material defectuoso” en una causal de desperdicio de tiempo en la cual recaen sus mayores esfuer-

zos por disminuir, dado que, al eliminar la falla producida, se disminuye la generación de desperdicios de material y de tiempo muerto por esta causa.

Es por esto que en el proceso anteriormente descrito se buscan fallas en donde se encuentre esta combinación, encontrando así una falla que afecta a la planta de manera histórica, la cual es la generación de arrugas de Breaker, que aparentemente se generan las condiciones propicias para la generación de arruga en las máquinas Steelastic que se encuentran en el área Preparatoria, y en las máquinas Constructoras HF se aprecia finalmente la arruga.

Actualmente el fenómeno estudiado afecta a la producción de neumáticos en verde, siendo la segunda causa con mas generación de tiempo muerto, generando detenciones en las 24 máquinas constructoras equivalente a  $81,5[hr/mes]$ , que significan alrededor de  $4900[neumáticos]$  no fabricados mensualmente, siendo además la única detención por componente irregular o (material defectuoso) que genera desperdicio total del material utilizado.

Es por esto último que se vuelve necesario realizar un análisis de falla del fenómeno planteado, y el uso de herramientas como las que entrega la metodología DMAIC.

# Capítulo 3

## Objetivos

### 3.1. Objetivo general

Determinar una solución que disminuyan la generación de desperdicios de Breaker utilizando la metodología DMAIC.

### 3.2. Objetivos específicos

- Identificar y definir el problema, su alcance junto a antecedentes del proceso y del cliente.
- Recolectar y medir datos para localizar de manera precisa la ocurrencia del problema.
- Realizar un análisis de causa raíz para identificar fallas posibles fallas.
- Generar y priorizar soluciones para implementar según el análisis de fallas.
- Generar una propuesta de mejora junto con un plan de seguimiento para el control de la propuesta de mejora.

# Capítulo 4

## Marco teórico

### 4.1. Seis Sigma y DMAIC

Seis Sigma es una filosofía y estrategia de mejoramiento continuo enfocada en el cliente, que busca eliminar causas de errores, o imperfecciones en procesos utilizando una metodología clara [2].

El objetivo de instaurar la estrategia Seis Sigma en alguna empresa es lograr que los procesos tengan una calidad Seis Sigma, lo que significa generar como máximo 3, 4 errores o fallas por cada millón de oportunidades. Lograr este objetivo lleva consigo un gran trabajo y compromiso por todas las partes de la institución, dado que significa un cambio de filosofía en la organización, en donde se apunta a la excelencia operacional.

#### 4.1.1. Metodología DMAIC

Define las cinco etapas de un proyecto Seis Sigma, las cuales al ser aplicadas de manera sistemática, ayuda en primera instancia a entender el problema presentado, para luego, analizarlo y generar propuestas de mejora junto con un plan de acción para atacar el problema.

El nombre de la metodología proviene del nombre en inglés de cada una de sus etapas del proyecto Seis Sigma, generando el acrónimo DMAIC, y se refiere a Define, Measure, Analyze, Improve, y Control [2].

La consultora Milliken realizó un manual de campo, en donde se definen las etapas de un proyecto de mejora utilizando la metodología DMAIC, en el cuál además se entregan diversas herramientas para aplicar según lo requiera el proyecto [3], estas

etapas se presentan a continuación.

En la Figura 4.1 se muestra un resumen de las etapas de la aplicación de la metodología DMAIC a un proyecto Seis Sigma, en donde se ve que las etapas Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, generan un ciclo, el cual en caso de llegar a la etapa final del proyecto y no tener los resultados esperados, se vuelve a la etapa Medir, con el fin de no reformular por completo el proyecto desde la primera etapa.

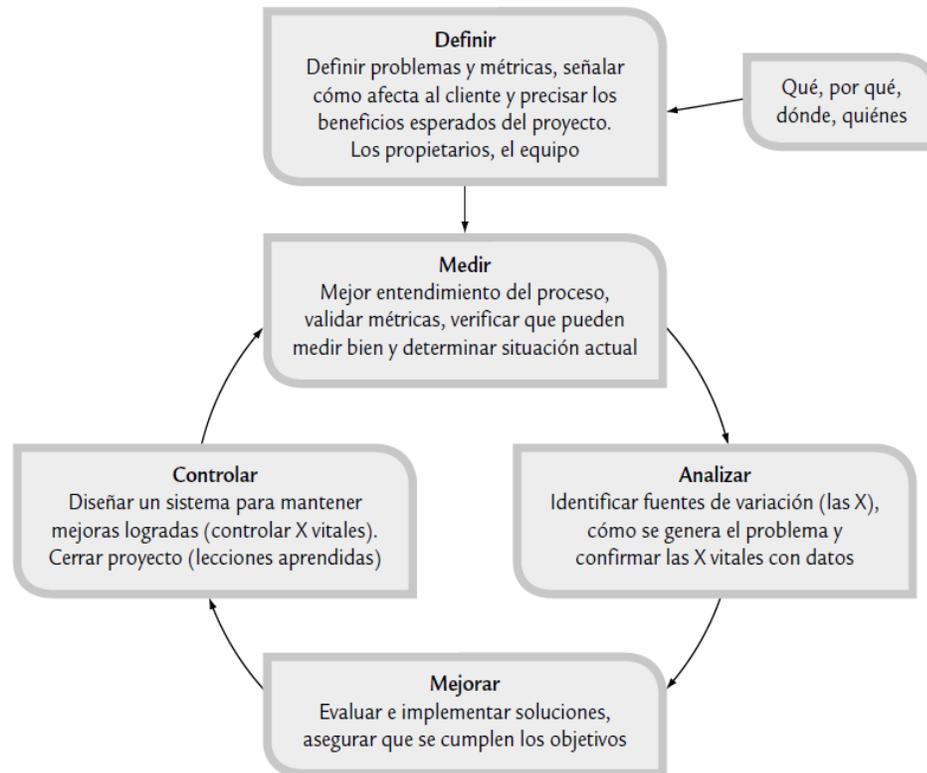


Figura 4.1: Esquema resumen de metodología DMAIC.

Fuente: Gutierrez y Salazar, 2004 [2].

## Definir

Esta es la etapa en donde se sientan las bases del proyecto, y como su nombre lo indica, se define el proyecto en profundidad [2].

Se comienza recolectar datos y estratificar estos para generalmente con un Análisis Pareto, explicar y fundamentar el proyecto seleccionado, esto a su vez ayuda a determinar el alcance, pérdidas y ahorros estimados del proyecto.

Una parte fundamental de esta etapa, es generar un equipo multidisciplinario dado

que la metodología necesita de la participación de distintas entidades en la organización. Además se realiza una planificación del proyecto en donde se determinan fechas estimadas para la realización de las demás etapas de la metodología, junto con determinar reuniones de las distintas partes involucradas en el proyecto.

Al finalizar esta etapa se tiene que dar respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Qué y quién?, haciendo referencia al problema que ocurre y quien lo efectúa.
- ¿Cuánto?, costo o impacto esperado.
- ¿Cuándo?, ocurrencia del problema.
- ¿Dónde?, lugar en donde ocurre la falla.
- ¿Cómo?, funcionamiento e impacto en otras áreas.
- ¿Por qué?, razón de la acción.

Respondiendo a estas preguntas, se suele definir el título del proyecto, identificar involucrados y estimar los costos asociados.

## **Medir**

Medir es la segunda etapa de la metodología, y consiste en tener un sistema de medición confiable (y si no lo está, implementarlo) sobre la variable de estudio, que ayude a tener un mejor entendimiento del problema [2].

Para ayudar al entendimiento del problema, también se suelen utilizar mapas de procesos, o diagramas de flujo detallado, en donde se muestren todas las entradas y salidas del proceso, junto con información relevante.

Se determina una línea base del problema, y se establecen los objetivos de la mejora, los cuales deben ser verificados por el equipo financiero.

## **Analizar**

Esta etapa tiene como objetivo identificar, ya sea una o varias, la causa raíz que dan origen al problema, y con esto se logra entender cómo y por qué se genera la desviación [2].

Esta es una etapa en donde se necesita gran participación de los integrantes del equipo, dado que se utilizan herramientas como lluvias de ideas, diagramas de Ishikawa, “cinco por qué”, diagramas de árbol, en donde no se descarta ninguna posibilidad de falla, y todas las ideas que se generen son válidas y dignas de ser analizadas.

Una vez identificadas las causas con sus respectivas soluciones, estas se estratifican y clasifican por orden de ejecución según su impacto y costo de implementación.

### **Mejorar**

Con las posibles soluciones determinadas en la etapa anterior, se genera un plan de acción en donde se implementan estas una a una, según la clasificación ya mencionada, este plan ha de incluir los responsables a cargo de realizar la mejora y los plazos para implementarla. Es importante determinar el efecto de cada una de ellas, para así determinar, cuáles de las acciones de mejora implementadas se mantendrán después de terminado el proyecto [2].

### **Controlar**

En esta etapa se le da término al proyecto y es en donde se diseña un plan que logre mantener las mejoras realizadas de manera sostenida. La dificultad de esta etapa radica en hacer que las mejoras sean interiorizadas en todos aquellos que participan en el proceso, y esto significa un cambio en como estos venían realizando sus actividades. Para esto, generalmente se realizan los siguientes planes [2].

- Plan de sostenimiento cuyo objetivo es mantener la mejora en el largo plazo.
- Plan de replicación, si es posible y factible replicar la solución a otras máquinas o procesos.
- Plan de entrenamiento, para entregar la capacitación necesaria a trabajadores y asociados actuales.
- Plan de revisión y respuesta, para controlar que las propuestas se han mantenido.

Finalmente, se presentan los resultados del proyecto junto con lo beneficios obtenidos respaldados por indicadores claves que muestren el actual desempeño del caso de estudio.

## **4.2. Herramientas de estudio y análisis**

Como ya se explicó, DMAIC es una metodología sistemática, pero dentro de sí se pueden realizar diversos análisis mediante innumerables herramientas, tanto de calidad como de análisis estadístico. sin embargo, el uso de todas ellas no es obligatorio, y dependerá de qué tan aplicable sea una herramienta al caso, dado que se puede extender el estudio del fenómeno innecesariamente aplicando herramientas que alarguen el proceso, o no sean las adecuadas al caso de estudio. Es por esto que la selección de las herramientas a utilizar en el proceso han de ser las adecuadas, y de conocimiento por el equipo de trabajo (de no ser así, este equipo tiene que ser capacitado en el uso de esta herramienta) para lograr el éxito del análisis.

A continuación se describen algunas de las herramientas mas utilizadas en un proyecto de mejora continua.

### **4.2.1. Análisis de Pareto**

Los problemas de calidad se identifican mediante las pérdidas (tiempo perdido, defectos, número de insatisfacciones en un servicio, etc.) que pudiera tener un proceso, y en general estas pérdidas se asocian a múltiples causas, pero es posible identificar las principales causas de pérdidas como lo planteó Vilfredo Pareto con su “regla 80/20”, que asocia el 80 % de las pérdidas al 20 % de las causas. Identificando las principales causas es posible disminuir en gran medida las pérdidas [4].

Un ejemplo del gráfico de Pareto, se muestra en la Figura 4.2, en donde se muestran las quejas recibidas en una cadena hotelera.

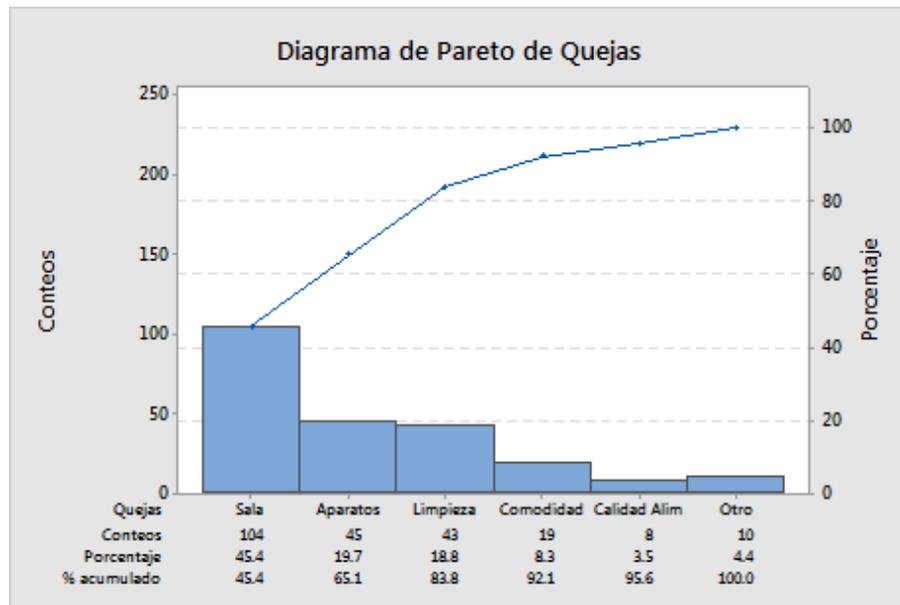


Figura 4.2: Ejemplo Diagrama de Pareto.  
Fuente: Minitab Inc., 2014 [5].

Generalmente, el eje ordenado de la izquierda muestra la frecuencia de ocurrencia del problema, mientras que el derecho indica el porcentaje acumulado del número total de ocurrencias. Por otro lado el eje de las abscisas muestra las causas de la falla (en este caso quejas), junto con información complementaria [6].

#### 4.2.2. Diagramas de flujo

Mapear un proceso es localizar y representar gráficamente las partes de un proceso, y esto ayuda a a obtener un visión de cómo se realiza un trabajo, o algún aspecto del mismo.

Un diagrama de flujo es una de las formas de mapear procesos, en donde se representan de forma gráfica la secuencia de actividades de un trabajo con el fin de obtener un producto específico. Es posible categorizar aquí las actividades que agregan y no agregan valor en el proceso [7]. Los diagramas de flujo se confeccionan de acuerdo a símbolos tipo, los cuales se muestran en el ejemplo de la Figura4.3.

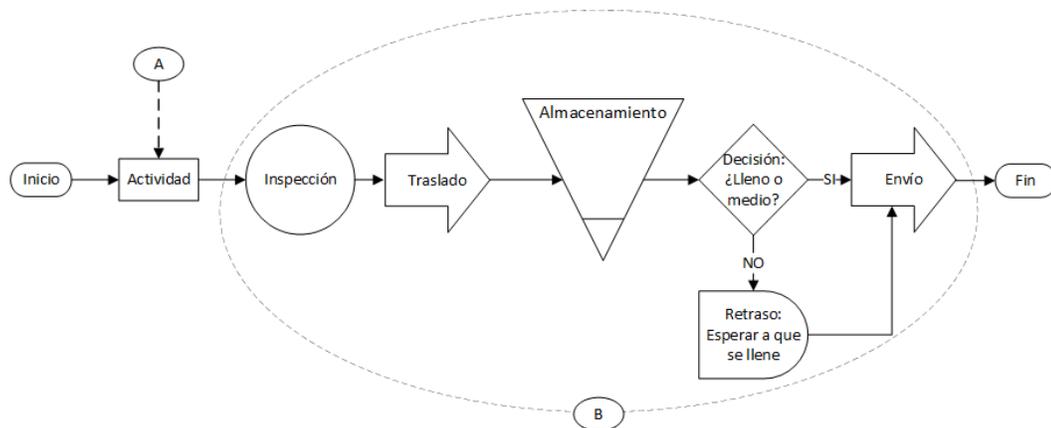


Figura 4.3: Ejemplo diagrama de flujo. (A) Actividad que genera valor, (B) Actividad que no genera valor.

Fuente: Traducido de Damelio, 2011 [7].

### 4.2.3. Estudio de linealidad y sesgo

Este estudio se aplica sobre sistemas de medición utilizando series de datos, los que se comparan con un valor de referencia obteniendo un sesgo (promedio de datos - valor referencia), que indica la cercanía de las mediciones a un valor de referencia, Luego se estudia la linealidad de este sesgo en comparación con el valor de referencia, con esto es posible examinar que tan exactas son las mediciones dentro del rango de mediciones [8].

Es posible utilizar el software Minitab para realizar este estudio, el cual realiza una regresión lineal para obtener la mejor línea ajustada para todos los valores de referencia.

A continuación se muestra un ejemplo de un informe de un estudio de linealidad y sesgo de una medición, en donde el capataz de una planta eligió cinco partes representativas que dan origen al rango esperado de las mediciones. Ordena medir cada pieza para obtener el valor de referencia correspondiente, posteriormente se realizan cinco mediciones aleatorias.

EL resultado del informe se muestra en la Figura 4.4 en donde los valores más representativos son el porcentaje de linealidad ( $\%Linealidad$ ), que es este caso es un 13,2%, que indica que el sistema de medición representa el 13% de la variación general del proceso, es un valor aceptable, pero para obtener una buena linealidad de la respuesta con respecto a la referencia se esperan valores de  $\%Linealidad$  inferiores al 10%[9].

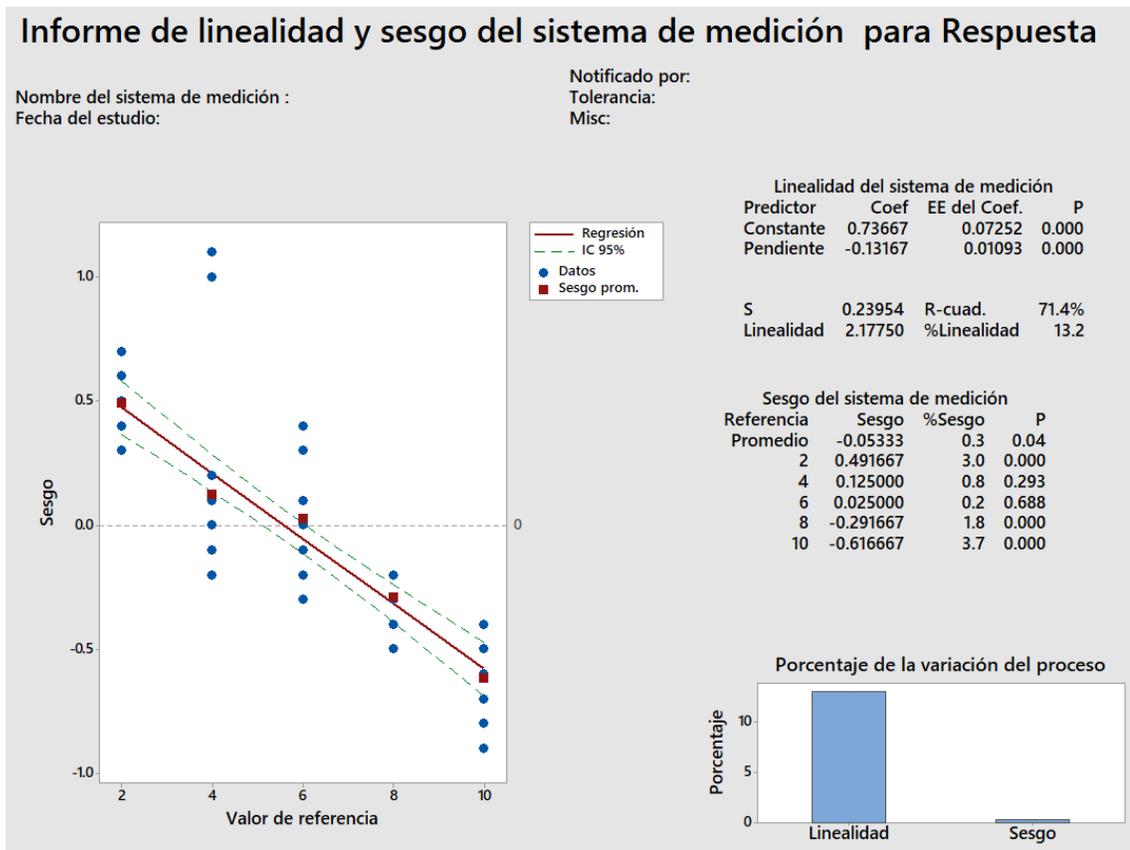


Figura 4.4: Ejemplo Estudio de linealidad y sesgo de un sistema de medición.

Fuente: Minitab Inc., 2014 [5].

Luego el  $\%Sesgo$ , representa el porcentaje de variación promedio del sesgo de las mediciones, en este caso, se infiere que el sesgo del sistema de medición representa menos del 0,3 % de la variación general del proceso.

#### 4.2.4. Diagrama de causa-efecto

El diagrama de causa-efecto o de Ishikawa [2] (en honor al doctor Kaoru Ishikawa, pionero e impulsor de la calidad en Japón y en el mundo utilizando de forma sistemática esta herramienta), es un método gráfico en donde se relaciona un problema o efecto con las posibles causas que lo originan. La ventaja de esta herramienta radica en que obliga al equipo a buscar e investigar en diferentes causas que a priori se podrían descartar del análisis, y no se profundiza en una sola causa sin cuestionar las demás, con esto se logra no dar por obvias algunas causas atacando el problema desde distintas perspectivas.

Existen varias formas de realizar este diagrama, dentro de los cuales destacan tres:

Método de las 6 M, Método tipo de flujo de proceso y método de estratificación o enumeración de causas.

El método que se se usará en este estudio será el de la seis M, el cual es el más común, y consiste en agrupar las posibles causas en seis ramas o áreas principales que son las seis M (Materiales, Máquinas, Mano de obra, Mediciones, Medio ambiente, Métodos), estas ramas son los seis elementos que determinan de forma global un proceso industrial, y cada uno otorga una variabilidad a este, así el resultado de todo proceso quedará definido por una acción en conjunto de las seis M, por lo que si existe un cambio significativo en el resultado del proceso, lo mas probable es que su razón se encuentre dentro de una o más de estas ramas [2].

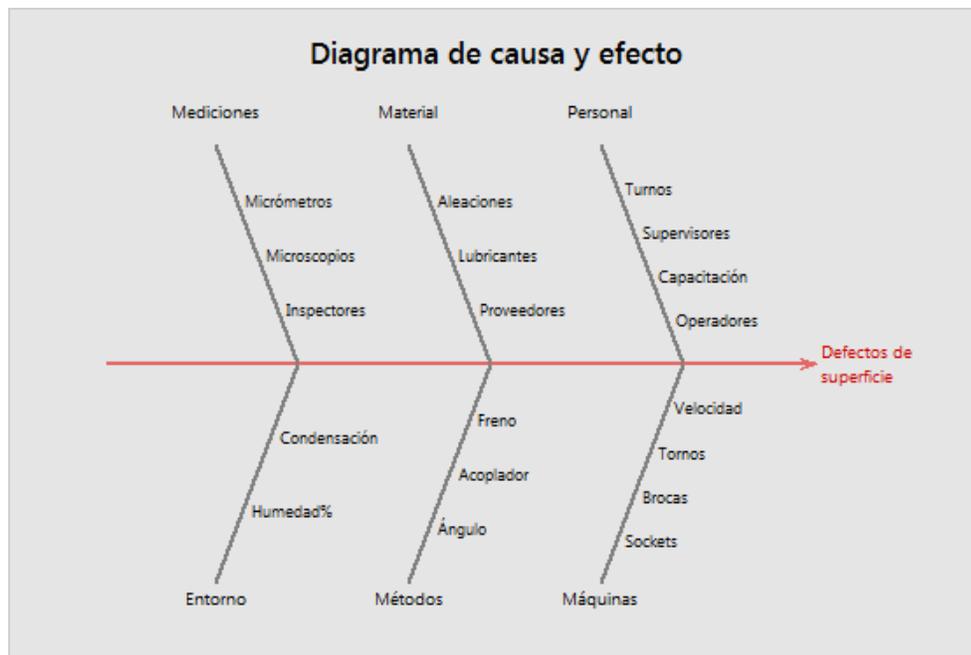


Figura 4.5: Ejemplo diagrama de Ishikawa.  
Fuente: Minitab Inc., 2014 [5].

El diagrama se construye describiendo el efecto o problema encontrado y posicionándolo en un recuadro principal a la derecha, como se aprecia en la Figura 4.5, luego hacia la izquierda se traza una línea horizontal de la cual se desprenden las seis ramas ya mencionadas, y las posibles causas que afectan a la rama correspondiente. Resulta útil a medida que se construye el diagrama, marcar cualquier causa que pueda ser parcialmente importante y pueda tener un efecto más significativo sobre la característica en estudio [4]. Para registrar las causas es recomendable realizar en un grupo

de trabajo una lluvia de ideas, en donde todos los miembros del equipo participan libremente en el aporte de posibles causas, sin dejar de lado ninguna idea sin antes ser analizada por el equipo.

Un ejemplo de este diagrama se aprecia en la Figura 4.5, en donde el diagrama muestra las posibles causas en las seis M de las piezas defectuosas que se fabrican en una empresa manufacturera, en cuyo defecto es la superficie.

### **4.3. Control de variables**

En la industria existen diversos métodos de control de variables críticas de los procesos, dentro de los cuales, uno de los más usados es el PLC, o Controlado Lógico Programable, y el controlador PID, los cuales se describen a continuación.

#### **4.3.1. PLC**

El Controlador Lógico Programable es una computadora o dispositivo, el cual realiza tareas de automatización de procesos y control de variables. Es uno de los más utilizados por su lenguaje de programación fácil e intuitivo, y se compone de una fuente de poder, una CPU que realiza operaciones aritméticas, de salto, de lectura, y de entrada y salida, también posee módulos de entrada y salida analógicas y digitales según el modelo [10].

La Figura 4.6 muestra cómo trabaja un PLC, iniciando por la lectura de señales, almacenando el estado de ellas, para luego ejecutar operaciones según el programa asignado, y finalmente entrega un resultado de las operaciones. Además, posible que el PLC realice lectura de varias señales y entregue más de una salida.

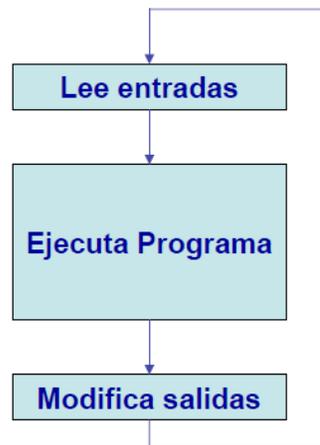


Figura 4.6: Funcionamiento de un PLC.

Fuente: Colombo, 2017.

### 4.3.2. PID

El controlador por PID es un controlador mediante retroalimentación [11], el cual se compone de tres componentes que dan origen a su nombre, en primer lugar una componente proporcional, que modifica una señal de forma proporcional a la señal de entrada, luego una acción integral que elimina errores en estado estacionario, y una acción derivativa que se anticipa a futuras variaciones de la señal. Este tipo de controlador se puede encontrar en todo tipo de industria, y desde de reproductores de CD, hasta el control de la velocidad de vehículos. En la Figura 4.7, se muestra un diagrama de bloque que representa un control por retroalimentación, en donde la señal que se lee se denomina  $y$ , luego esta es comparada con un valor consigna que se utiliza como referencia para el control llamada  $y_{sp}$ , y su diferencia corresponde al error  $e$  que se utiliza para el control.

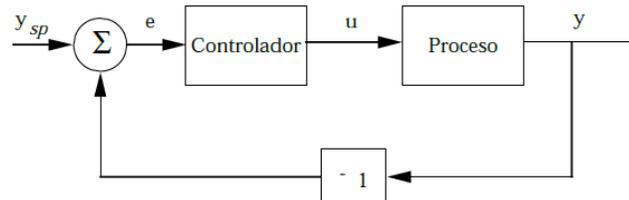


Figura 4.7: Diagrama de bloques de un proceso con un controlador por retroalimentación.

Fuente: Åström & Hägglund, 2009 [11].

La acción proporcional trabaja sobre el error junto con una ganancia  $K$ , que modifica la señal mediante la ecuación-4.1.

$$u = K(y_{sp} - y) = Ke \quad (4.1)$$

Luego si se esta en un estado estacionario en donde se tiene un error constante, se agrega la acción integral a la ecuación obteniendo la ecuación-4.2, que corresponde a un control PI.

$$u(t) = Ke(t) + k_i \int_0^t e(\tau)d\tau \quad (4.2)$$

Por ultimo, la acción diferencial dota al controlador la capacidad de anticiparse a cambios futuros mediante una extrapolación lineal, obteniendo así la ecuación-4.3, en donde el termino  $T_d \frac{de(t)}{dt}$  es la predicción lineal del error,  $T_d$  unidades de tiempo en el futuro,  $K$  la ganancia proporcional,  $T_i$  el tiempo integral, y  $T_i$ .

$$u(t) = K(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau)d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt}) \quad (4.3)$$

Existen otros controladores similares al aqui descrito que utilizan solamente la parte proporcional o proporcional e integral, siendo estos los controladores P y PI respectivamente.

## 4.4. Ley 20.920 y Goodyear

Ley 20,920: “Establece un marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje”[1].

Esta ley tiene como objetivo disminuir la generación de residuos y fomentar la reutilización de estos, por medio de la instauración de la responsabilidad extendida del productor (responsabilidad de sus productos post venta), junto con otros instrumentos de gestión, esto con el fin de proteger la salud de las personas y el medio ambiente.

### 4.4.1. De la gestión de los residuos - Obligaciones de los generadores de residuos

En particular los artículos cinco y seis atañen a cómo Goodyear maneja sus residuos, en ellos se explica; “Todo generador de residuos deberá entregarlos a un gestor

autorizado para su tratamiento, de acuerdo con la normativa vigente, salvo que proceda a manejarlos por sí mismo en conformidad al artículo siguiente. El almacenamiento de tales residuos deberá igualmente cumplir con la normativa vigente. (...) Todo gestor deberá manejar los residuos de manera ambientalmente racional, aplicando las mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales, en conformidad a la normativa vigente, y contar con la o las autorizaciones correspondientes.”(Art. 5 y 6)[1].

Goodyear fomenta la reutilización de la mayor parte de sus residuos, desde los envases en los que llegan a la planta las materias primas (plásticos útiles para la producción) hasta los de caucho en distintas etapas de la producción de neumáticos, son ingresados y reingresados al proceso, dado que hasta antes de ser vulcanizado el caucho, es fácilmente reutilizable. Luego aquellos residuos con componentes como tela y alambre son entregados a una empresa externa que se encarga de la separación de la material y reciclaje para distintos fines.

#### **4.4.2. De responsabilidad extendida del productor**

En esta sección se definen los productos prioritarios, de los cuales las empresas generadoras de residuos se tendrán que hacer responsables, siendo estos:

- a) Aceites y lubricantes.
- b) Aparatos eléctricos.
- c) Baterías.
- d) Envases y embalajes.
- e) Neumáticos.
- f) Pilas.

De estos productos, el Ministerio del Medio Ambiente por medio de decretos supremos asigna metas de recolección y de valorización. Dichos decretos están sujetos a diferencias en las metas en base a consideraciones demográficas, geográficas y de conectividad.

Es por esto que Goodyear dispone de alianzas con empresas de venta y recambio de neumáticos en todo el país, para que estas retengan los neumáticos usados, y sean destinados a la planta de Goodyear.

# Capítulo 5

## Goodyear Chile S.A.I.C.

La empresa matriz de la compañía Goodyear fue fundada en el año 1898 bajo el nombre The Goodyear Tire and Rubber Co., el que fue acuñado en homenaje al descubridor del proceso de vulcanización, Charles Goodyear.

En Chile la primera empresa productora de neumático fue la Industria Nacional de Neumáticos (INSA) en el año 1944, luego en 1978, esta pasó a manos de Goodyear, y desde ese momento comienza la expansión de su capacidad productiva, y junto con ello la certificación en diversas normas. Hoy en día la operación en Chile cuenta con certificaciones de Calidad ISO 9,001, de Seguridad OHSAS 18,001, de Medio Ambiente ISO 14,001, y de proveedor de equipo original para la industria automotriz ISO/TS 16,949[12].

### 5.1. Partes del neumático

El neumático puede estar compuesto por un número diferente de capas, y las cantidades o tipos de estas dependerán de cada neumático, diferenciándose en tamaño, uso, o hasta condiciones climáticas en las que se use el neumático. A pesar de esto la construcción del neumático, generalmente se construye en base a seis componentes principales que se indican de la Figura 5.1.

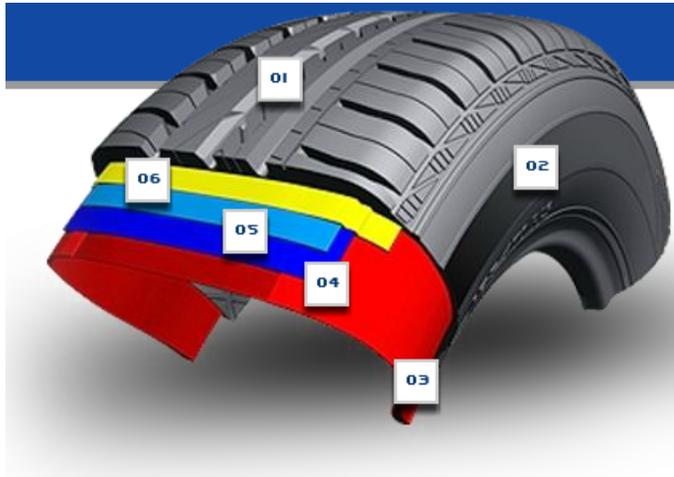


Figura 5.1: Partes de un neumático.

Fuente: Goodyear Argentina, 2009.

La parte externa del neumático (1), señalada en la Figura 5.1 se llama banda de rodadura, y es la capa que está en contacto con el suelo, encargada de proporcionar tracción y agarre. Generalmente cuenta con huellas en su superficie que ayuda a la dispersión de agua. Luego los laterales (2), se encargan de amortiguar en parte los impactos sufridos por la banda de rodadura, y protege de posibles impactos laterales, adicionalmente en esta banda está escrita la información del neumático. Las pestañas (3), son anillos de kevlar o acero cubiertos de caucho, que aseguran el neumático a la llanta.

Por el interior, el neumático está compuesto por la carcasa o cojín (4), que brinda refuerzo y soporta el aire a presión en el interior del neumático, puede incluir telas que impiden la deformación del neumático. Los cinturones estabilizadores o Breaker (5), son cinturones de acero que le brindan estabilidad y forma al neumático, mejorando el contacto con el suelo, y aumentando la resistencia contra impacto, cortes y perforaciones. Finalmente el overlay (6), es una capa netamente de caucho, que se usa para complementar la función del Breaker, minimizando las deformaciones producidas a altas velocidades y asegurando el correcto contacto de la banda de rodadura con el suelo.

## **5.2. Proceso productivo**

El proceso de fabricación de neumáticos en Goodyear consta de dos divisiones (A y B), en la primera se preparan los materiales y distintos componentes del neumático, para posteriormente en la división B construirlo, vulcanizarlo y terminar con un control de calidad. El proceso se puede apreciar gráficamente en la Figura 2.1, posteriormente se explican cada una de las etapas del proceso productivo en Goodyear.

### **5.2.1. División A**

Esta división se encarga de recepcionar la materia prima proveniente de diversas partes del mundo, tal como el caucho natural, pigmentos, cordones, alambres, etc. Con estos materiales se realizan distintos compuestos de caucho, con distintas propiedades según cada tipo de neumático a fabricar. En un mismo neumático se pueden encontrar hasta 30 componentes distintos [13].

Como resultado de la División A, se obtienen las distintas capas que cada neumático necesita, y estas son enrolladas en distintos carretes, que son transportados a la siguiente división para el armado del neumático.

#### **Mezclado (Mixing)**

En esta sección se reciben las materias primas ya mencionadas, y son procesadas por un mezclador Banbury a alta presión y temperatura. El mezclador Banbury es un mezclador de tipo interno, que posee dos cámaras cilíndricas unidas con cuchillas o rotores helicoidales que deforman y mezclan el material que es alimentado por medio de una tolva [14].

Se obtiene un compuesto caliente y pegajoso según las necesidades del neumático a fabricar, el compuesto es llevado al supermercado (sector en donde se almacena los productos internos terminados) del compuesto para que se enfríe y posteriormente utilizarlo.

#### **Extrusión (Extrusion)**

En esta etapa se se da forma al compuesto ya frío proveniente de la etapa anterior y se comienza a formar a cada una de las capas del neumático por medio de diferentes extrusoras para cada capa a fabricar, en estas extrusoras es fundamental mantener un

rango de temperatura adecuado para que la mezcla se procese con facilidad y no tan alta como para que el compuesto se vulcanice dentro de la extrusora, que funciona por medio de un motoreductor acoplado a un tornillo dentro de un cilindro, que al llegar al cabezal se obtiene el material con la forma que este le otorgue [15].

Se obtienen láminas de caucho con distintas propiedades que son transportadas a la última etapa de esta división para afinar los últimos detalles antes de construir el neumático.

### **Preparatoria (Preparatory)**

En esta última etapa de la División A, se termina con la preparación de los materiales previa la construcción del neumático, y se le agregan algunas características como es el caso del Breaker, al cual se le reorienta según sea necesario y se aplican las huinchas laterales.

Estando todas las capas del neumático preparadas, son llevadas a su supermercado correspondiente, a la espera de la utilización del mismo según el método FIFO (primero en entrar es el primero en salir, o ser utilizado), esto dado que los compuestos tienen una vida útil reducida antes de ser vulcanizados.

### **5.2.2. División B**

Esta división se encarga de tomar las distintas capas del neumático por separado, y entregar como resultado final un neumático completamente útil.

### **Construcción HF (Construction HF)**

Al terminar esta etapa, se obtiene lo que se denomina un “neumático en verde”, el cual está constituido por todas sus partes, pero no es utilizable, dado que no está vulcanizado.

Para lograr esto, los componentes del neumático son instalados en rodillos en distintas partes de una máquina llamada “Constructora HF”(HF por su marca), en la cual se carga un programa que le indica a la máquina qué componentes y en qué orden tiene que ir construyendo el neumático. El resultado es un neumático pre-formado muy cercano a su apariencia final, el cual pasa por una inspección antes de seguir a la siguiente etapa [16].

### **Vulcanizado (Curing)**

Las máquinas de cura o vulcanizado son similares a una wafflera, en donde por medio de moldes calientes se da la forma final al neumático, estos moldes graban la banda de rodadura (que tiene contacto con el suelo) y los laterales incluyendo la marca del fabricante y las medidas del neumático entre otros [16].

El proceso se realiza a altas presiones y temperaturas por alrededor de 15[*min*] por neumático, y consta de flujos continuos de vapor y nitrógeno para un calentamiento y enfriamiento sucesivo, luego el neumático terminado es llevado a la zona de inspección [17].

### **Acabado final (Final Finish)**

Por último, se realiza una inspección visual a cada uno de los neumáticos fabricados, y si alguno de ellos no se encuentra dentro de las especificaciones, es rechazado. También se suelen realizar inspección mediante rayos X con el fin de detectar debilidades o imperfecciones en el interior del neumático. Adicionalmente se realiza un control de calidad seleccionando productos de forma aleatoria y así estudiar cada detalle de su construcción[16].

# Capítulo 6

## Aplicación metodología DMAIC

Como se mencionó en el Sección-4.1, la metodología DMAIC, es una metodología sistemática, en donde siguiendo los cinco pasos allí descritos, es posible obtener una o varias soluciones al problema, a su vez obteniendo una herramienta de seguimiento o medición de la variable bajo estudio que permita monitorear, o controlar su posterior comportamiento.

A continuación se aplica la metodología a un caso en particular visto en la empresa manufacturera de neumáticos Goodyear Chile S.A.I.C. en donde se aprecia una considerable generación de desperdicios en cuanto a materiales, y tiempos de producción.

### 6.1. Definición del problema

Se informa de problemas en el área de Construcción HF, en donde se identifican desperdicios de materiales procesados y a su vez disminución en la productividad del área, dada la cantidad de tiempo muerto o perdido que se tiene debido a la atención que necesitan los problemas suscitados por las fallas generadas por materiales. Para corroborar lo informado, se presenta la información adquirida de la base de datos de Goodyear en la sección Anexo A, donde en la Figura A.1 muestra que la principal causa de tiempo muerto es la producida por Componentes Irregulares, además en conjunto con la Tabla A.1 se muestra que los problemas generados por Componentes Irregulares generan detenciones en las 24 máquinas Constructoras HF que ascienden a  $100556[min]$ , lo que se puede interpretar como mantener una de estas máquinas detenida durante 70 días aproximadamente, lo que representa un 27% del total de tiempos perdidos en HF, con una producción pérdida estimada en  $86652[neumáticos]$ , para el periodo de estudio (4

de julio al 9 de septiembre del 2017).

Luego se analizan las causas que originan las fallas por Componente Irregular (CI) en el periodo mencionado, se encuentra un total de 65 causas (ver Anexo A, Tabla A.2) dentro de estas causas se encuentran algunas posibles de agrupar como por ejemplo las fallas por Breaker, dado que la falla por Breaker 1 o 2 refieren al mismo componente y uso, así se obtiene un total de 49 causas, con ellas se realiza nuevamente un gráfico de Pareto, resultado mostrado en la Figura 6.1, en donde se muestran solamente 16 causas que generan el 80 % tiempos perdidos, el resto de las 33 causas entra en la categoría “Otros”.

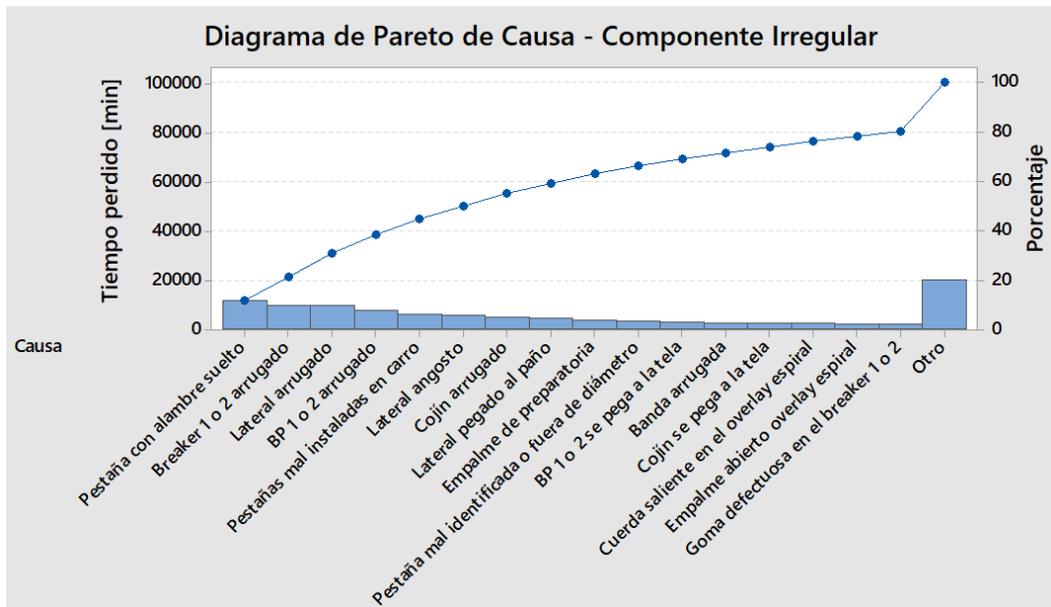


Figura 6.1: Gráfico de Pareto para la causas de tiempos muertos en máquinas HF por Componente Irregular.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Goodyear Chile.

Las 16 principales causas de tiempos perdidos por CI, que se muestran en la Tabla 6.1, en donde la principal causa de pérdida de tiempo de producción, es “Pestaña con alambre suelto”, este es un componente del neumático que es producido y utilizado inmediatamente por las mismas máquinas Constructoras HF, este problema se encuentra bajo estudio por un equipo de Goodyear, es por esto que un análisis sobre esta causa queda descartado. Por otro lado, la causa “Breaker 1 o 2 Arrugado” es la segunda causa que genera más tiempo perdido por Componente Irregular, siendo prácticamente un 10 % del total de tiempos perdidos por CI, interpretable como mantener detenida una

HF por 6,8[días], con una pérdida de producción de 8264,7[neumáticos] (en el periodo de estudio), es por esto que se selecciona este problema para realizar un análisis de mayor profundidad. La causa “Lateral Arrugado” queda pendiente para un próximo análisis a la espera de los resultados del estudio aquí presente, ya que dada la similitud de la falla podría generar soluciones aplicables en ambas causas. Luego las demás causas no se estudiarán hasta disminuir las pérdidas presentes en las fallas más críticas.

Tabla 6.1: Principales causas de tiempos perdidos por Componente Irregular.

Causa	Tiempo perdido [min]	% individual
Pestaña con alambre suelto	11645.57	11.58 %
<b>Breaker 1 o 2 arrugado</b>	<b>9779.37</b>	<b>9.73 %</b>
Lateral arrugado	9519.3	9.47 %
BP 1 o 2 arrugado	7644.51	7.60 %
Pestañas mal instaladas en carro	6191.97	6.16 %
Lateral angosto	5434.37	5.40 %
Cojín arrugado	4942.55	4.92 %
Lateral pegado al paño	4235.68	4.21 %
Empalme de preparatoria	3765.7	3.74 %
Pestaña mal identificada o fuera de diámetro	3382.33	3.36 %
BP 1 o 2 se pega a la tela	2612.8	2.60 %
Banda arrugada	2600.17	2.59 %
Cojín se pega a la tela	2529.75	2.52 %
Cuerda saliente en el overlay espiral	2258.27	2.25 %
Empalme abierto overlay espiral	2100.33	2.09 %
Goma defectuosa en el Breaker 1 o 2	1979.47	1.97 %
Total restante	19933.22	19.82 %
<b>Total</b>	<b>100555.36</b>	<b>100.00 %</b>

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Goodyear Chile.

Se ha determinado el área conflictiva, y la causa que se atacará, pero para poder seguir con la definición del problema, se vuelve necesario responder a las preguntas claves mencionadas en el marco teórico.

### 6.1.1. Definición

En el área de Construcción HF se encuentran pérdidas tanto de materiales, como de tiempo de producción, producto de Componentes Irregulares que entran a las máquinas constructoras, siendo en este sentido la causa a atacar la Arruga de Breaker, este problema genera detenciones aproximadas en 3, 4[días] mensuales (en una de las 24 máquinas constructoras), una producción pérdida de 4133[neumáticos] en el mismo periodo, y 990[kg/mes] en desperdicios no reciclables en la misma planta, todo esto con un costo total aproximado que asciende a 147512,6[USD/mes] (desglose Tabla A.3, en apéndices) aproximadamente.

El Breaker es una capa del neumático que al igual que las demás capas, ingresan en forma de rollos que son posicionados en las máquinas constructoras, las arrugas del Breaker se observan cuando las constructoras retiran Breaker de sus correspondientes rollos. Es de esperar que se utilice la totalidad del rollo, pero al presentarse la arruga (ver Figura 6.2), el resto de este es rechazado.

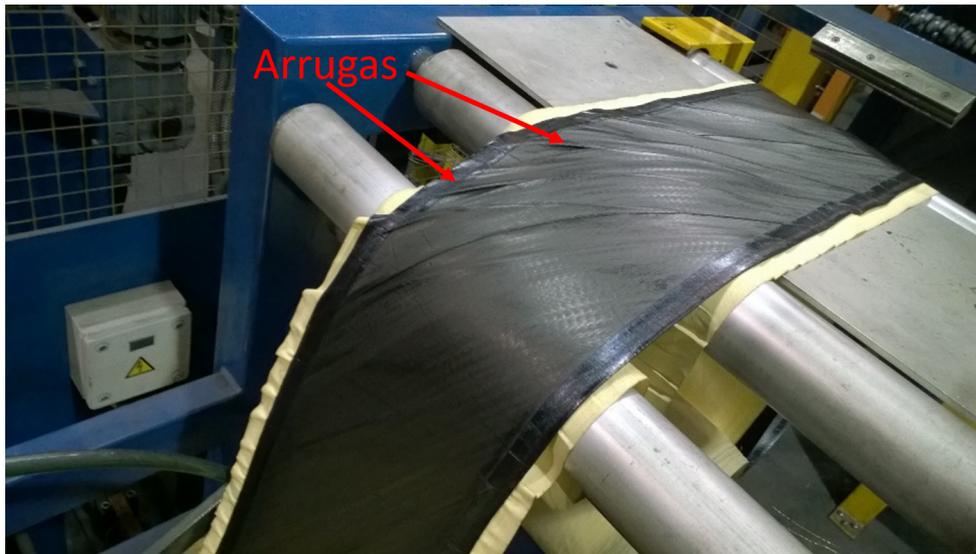


Figura 6.2: Arruga de Breaker presentada en el desenrollado en maquina HF.

Esta falla impacta a los indicadores de dos áreas, dado que el Breaker se produce en la máquinas Steelastic (del área Preparatoria), la falla se puede originar en la producción y enrollado del Breaker en las máquinas mencionadas, o en el desenrollado de este al ser utilizado por las Constructoras HF. Entonces, identificando en HF fallas de materiales provenientes de Steelastic, se determina que afecta a estos últimos en sus niveles de

producción, y genera diversos costos asociados, por otra parte, HF se ve afectado en sus niveles de producción, ya que al presentarse la arruga, la producción de neumáticos en verde se detiene por completo para sustituir el rollo con Breaker, generando una gran cantidad de desperdicios, lo que está en contra de la política de mitigar desperdicios en Goodyear.

Por todo lo anterior es de suma importancia buscar una solución a dicho problema, dado que no tan solo afecta económicamente a la compañía, sino que también afecta al medio ambiente, además si la arruga no es detectada a tiempo, se podría producir un neumático por fallas estructurales, lo que presenta un riesgo inminente para el consumidor.

Para entender la relación entre todas las partes involucradas, se desarrolla un diagrama SIPOC (por sus siglas en ingles), en donde se ven las relaciones entre Proveedores (Suppliers), Entradas (Inputs), Proceso (Process), Resultados (Output), y Clientes (Costumers), este diagrama se aprecia en la Figura 6.3.

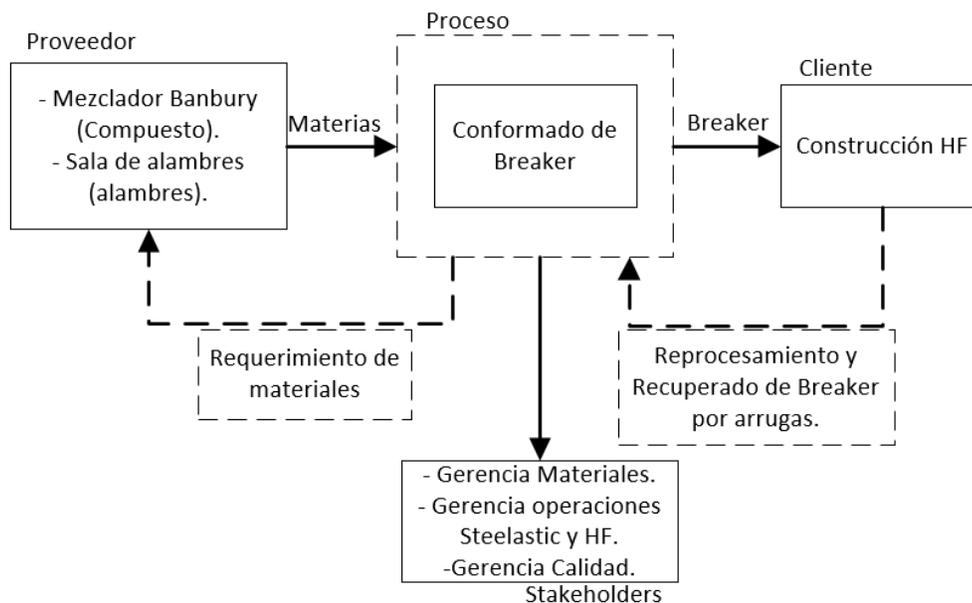


Figura 6.3: Diagrama SIPOC del proceso.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos de Goodyear Chile.

## **6.2. Medir**

Como ya se mencionó, la Arruga de Breaker afecta a dos sectores en la producción del neumático (HF y Steelastic), cuya relación se puede ver en el diagrama de flujo de la Figura B.1 (anexo B), en donde a Steelastic (o máquinas conformadores de Breaker) entran dos materiales principales (compuesto de caucho y alambres de acero) para producir Breaker enrollado en casetes (denominados Spool) que son almacenados para luego ser usados según corresponda por las máquinas Constructoras HF que, junto a otras partes del neumático, se produce neumáticos en verde para luego ser vulcanizados. A continuación se analiza y mide el impacto en cada área, además de explicar el proceso que se realiza en cada una.

### **6.2.1. Proceso conformado de Breaker**

Después de que los materiales han pasado por Mezclado y Extrusión, al sector de las máquinas conformadoras de Breaker (Steelastic) llega el compuesto de caucho en forma de grandes y gruesas láminas, las que entran a una última y pequeña extrusora que le da la forma básica al Breaker, extruyendo caucho que envuelve a las hebras de acero provenientes de la sala de alambres (en donde se enhebran y se mantienen a temperatura y humedad constante para evitar su oxidación), el proceso de fabricación de Breaker se puede apreciar en la Figura 6.4, y una ilustración con todas sus partes y equipos correspondientes se puede encontrar en la Figura B.2 (ver anexo B).

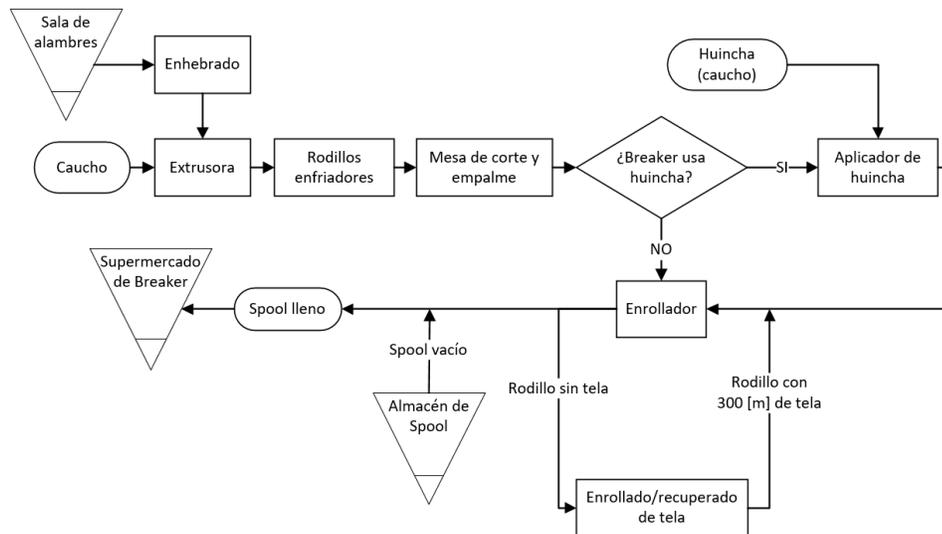


Figura 6.4: Diagrama de flujo de proceso de producción de Breaker en Goodyear.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos de Goodyear Chile.

El compuesto con acero en su interior sale aproximadamente a  $84[^\circ C]$  de la extrusora, a esta temperatura el caucho es pegajoso y difícil de trabajar, es por esto que pasa por una serie de rodillos enfriadores que lo llevan a temperatura ambiente antes de entrar a la mesa de corte y empalme, en donde se le da la inclinación deseada a las hebras de acero según sea necesario (generalmente en torno a los  $24[^\circ C]$ ), realizando cortes de un mismo largo e inclinación y empalmado estas secciones dando la forma deseada. Luego según el neumático que se esté fabricando, el Breaker necesitará o no una huincha lateral plana o envolvente, la cual es fabricada de caucho (siendo un compuesto mas pegajoso). En caso de necesitar esta huincha se configura el aplicador para que la ponga a medida que el Breaker avanza, si no es necesario, el Breaker pasa de igual manera por los rodillos del aplicador pero no se aplica la huincha llegando directo al enrollador de donde sale un Spool lleno con Breaker.

En esta última parte se enrollan alrededor de  $250[m]$  de Breaker en un Spool, pero dada la textura del Breaker, se necesita una tela que se enrolle junto a este, de forma que no se pegue el Breaker sobre si mismo, debido que al enfriarse, este se pegaría sobre si mismo volviéndose imposible separar. El Enrollador cuenta con dos secciones en donde poner el Spool, en una se instala uno en donde se parte enrollando la tela, mientras que el segundo termina de enrollar Breaker y tela, luego se alternan. El Spool lleno de Breaker con tela se lleva a la zona de almacenaje de Breaker en donde espera a ser utilizado por las máquinas constructoras.

## Arruga de Breaker por Steelastic

En la planta, actualmente se encuentran seis máquinas conformadoras de Breaker, todas diferentes, pero con configuraciones similares, gracias a esto último es muy factible estudiar solo una de ellas y entender el comportamiento del resto de las máquinas, y dado que todas son capaces de producir Breaker con las mismas especificaciones, se vuelve necesario estudiar cual de todas es la que podría generar más Arruga de Breaker, identificando la máquina crítica.

Si bien la arruga se puede originar tanto en Steelastic como en HF, es mucho más fácil identificarla en las máquinas constructoras, es por esto que se pide la ayuda de los operadores de estas últimas para registrar en el momento de la ocurrencia de la falla que Steelastic produjo el Breaker que presenta arruga en dicho momento, pero dado lo complejo que es coordinar a todos los operadores de las 24 máquinas constructoras, se seleccionan las cinco en las que se han encontrado más arrugar de Breaker (ver Tabla B.1), siendo éstas las HF 201, HF 202, HF 203, HF 405, y HF 102, (cuyo impacto se aprecia en la Figura 6.5), tan solo en estas cinco máquinas se concentra un 36 % de los tiempos perdidos por arruga de Breaker.

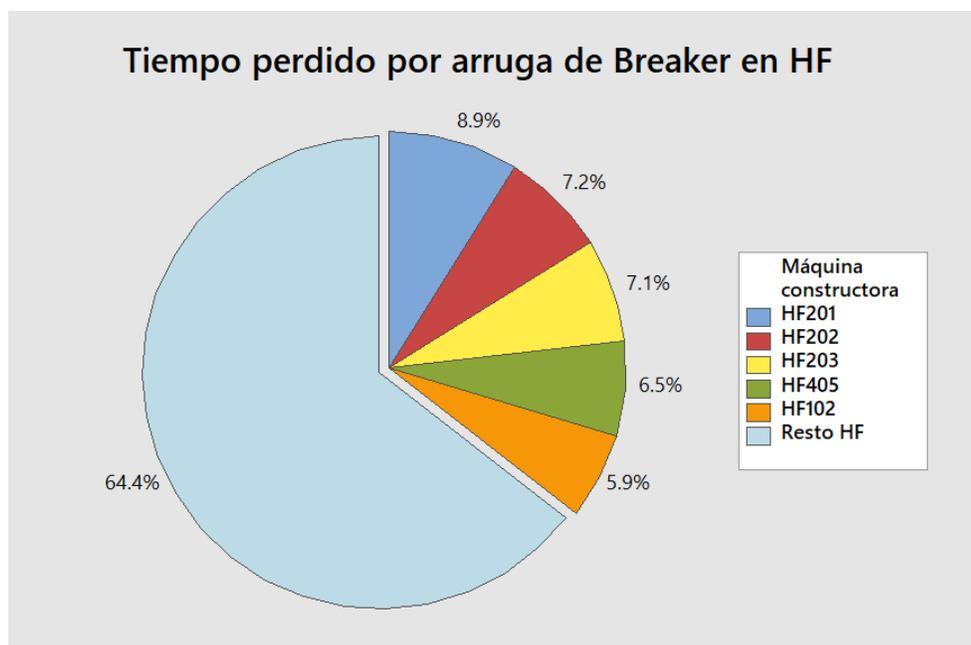


Figura 6.5: Gráfico de torta que muestra el impacto en tiempo perdido en cinco máquinas constructoras.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Goodyear Chile.

La ayuda mencionada se coordina con el jefe de producción del área HF, y se le hace entrega de planillas (ver anexo, Figura B.3) destinadas a ser llenadas por los operadores las máquinas correspondientes, luego de una semana de registro se obtienen datos que indican cuál es la Steelastic que podría producir más arruga. No se logra obtener una gran participación por parte de los operadores, obteniendo solamente 21 registros de detenciones por arruga de Breaker (ver anexo, Tabla B.2) pero los resultados concuerdan con la experiencia de todos los operadores en ambas áreas, que como se indica en la Figura 6.6, la conformadora de Breaker que podría producir más arrugas en la número cuatro (Steelastic 4 o ST 4).

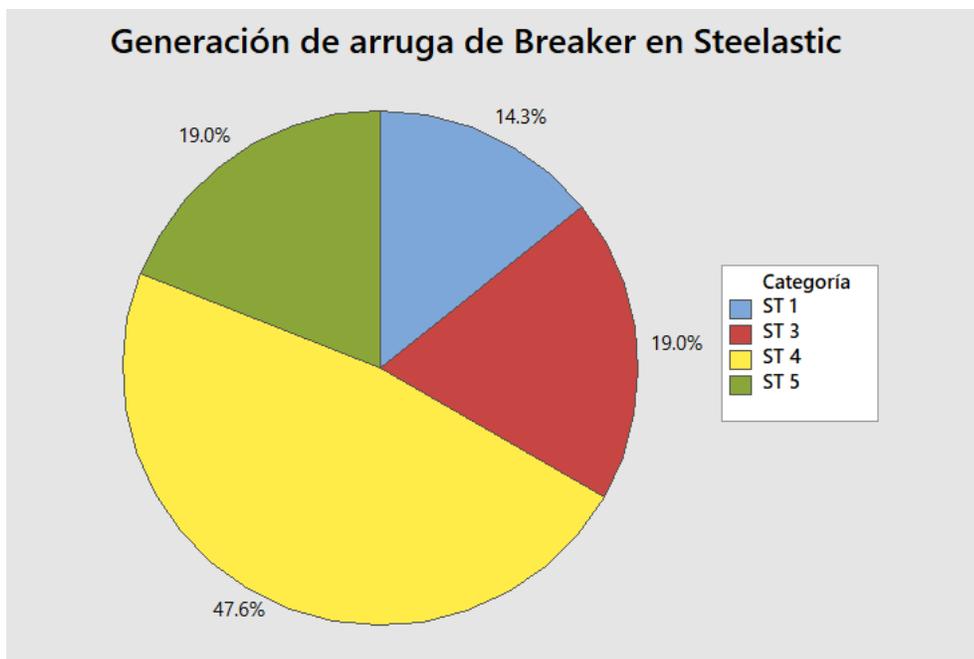


Figura 6.6: Generación de arruga de Breaker en Steelastic, registrado en HF.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar por lo registrado, la ST6 no presenta arruga, pero en la realidad si lo hace, pero en menor cantidad, esto dado que esta máquina en particular es foco de mejora continua en la planta, y es una máquina modelo, en la cual se destina mayor tiempo y recursos en su mantenimiento, por esto con la práctica, esta máquina presenta una menor generación de arruga, pero no un 0 %, .Luego las demás máquinas conformadoras de Breaker (ST 1, 3 y 5) tienen una menor generación de arruga, hecho que se estudiará mas adelante, por su parte la ST 2 en el periodo de registro, si produjo arrugas, solamente que esto no fue registrado por los operadores, y se estima que las

podría haber generado en proporciones similares a las tres máquinas anteriores. Con esto se puede acotar el análisis que se realizará en la siguiente etapa a una sola de las seis máquinas.

### **Linealidad en medición de tensión**

Por parte de operadores de Steelastic, se comenta que históricamente la arruga se produce gracias a una falla en la uniformidad de la tensión con la que se enrolla el Breaker, considerando esto, se realizarán mediciones de la tensión con la que se enrolla el Breaker en el Spool, para posteriormente poder estudiar el efecto de las distintas variables en el proceso a adecuado control de la tensión.

Con el fin de entender el comportamiento y la influencia de la variación de tensión mencionada y a su vez tener un sistema de medición confiable, se realiza un estudio de linealidad de la lectura de tensión en la tela usada en el enrollado, usando el mismo método que se utiliza para calibrar el controlador PID. La máquina en operación lleva enhebrada la tela por polines que ayudan a la tensión y centrado de esta, para la calibración se sustituye la tela por un cable de acero cuyo extremo se une a una parte fija de la máquina, y el otro queda colgando con un peso patrón, de esta manera se simula la tensión que se genera en estado de operación, y el controlador PID señala la tensión en la celda de carga según el peso patrón utilizado.

Para el estudio, primero se calibra la máquina asegurando que la información sea la correcta, luego se utilizan cuatro pesos patrón, registrando 10 mediciones con cada uno con la ayuda del técnico a cargo de la operación de calibración (ver Tabla B.3 en anexo B), al ingresar dichos registros al software Minitab [5], se obtiene el informe de linealidad y sesgo que se muestra en al Figura B.4.

En un estudio de linealidad y sesgo como el anterior, obtener una pendiente baja indica una buena linealidad, y que las mediciones no presentan un sesgo grande con respecto al valor de referencia, en este caso la pendiente es lo suficientemente baja (2,5 %) como para determinar una buena linealidad en el sistema de medición, con lo que se obtiene que el sistema de medición de tensión entrega respuestas acorde al peso patrón con una baja variabilidad. Por otro lado, el %*Sesgo* obtenido es bajo (0,4 %), lo que además indica que las mediciones se mantienen cercanas al valor de referencia.

Gracias a los resultados obtenidos, se concluye que se puede confiar en el sistema de medición, ya que al obtener una buena linealidad, indica que no presenta desviaciones en los registros de tensión, ni variaciones a medida que los valores crecen, es más, el

que la pendiente obtenida sea negativa, indica que a medida que los valores de tensión crecen, el sesgo obtenido es menor y el sistema de vuelve mas preciso. El sistema de medición queda validado para un rango de medición de 0 a 25[*lb*].

### Variables en enrollado

Considerando el resultado de investigaciones y conversaciones con operadores y mantenedores, se acude a la planta a realizar una revisión preeliminar del proceso de enrollado de Breaker, y se confirma que este no se enrolla de una forma continua, es decir, el Breaker no se enrolla en el Spool a una velocidad constante, sino que depende de la frecuencia de corte y largo de la sección cortada en la mesa de corte y empalme, esto dado que el avance del Breaker se detiene completamente para realizar el corte y luego avanza para empalmar los trozos, es por esto que se posicionan sensores ópticos o fotoceldas (ver Figura 6.7) que informan la posición del loop a un variador de frecuencia y este ordena la velocidad de avance de los rodillos del aplicador de huincha, luego un segundo loop vuelve a afectar a la continuidad del proceso, situado inmediatamente después del aplicador de huincha que ordena el avance dado por el giro del Spool. Por otro lado, se dispone de un freno neumático de disco, el cual es accionado por un controlador PID, que recoge información de tensión de la tela por medio de una celda de carga para así regular la presión del aire que acciona el freno de disco (se profundizará mas en el control de tensión y de velocidad en la sección análisis de la metodología).

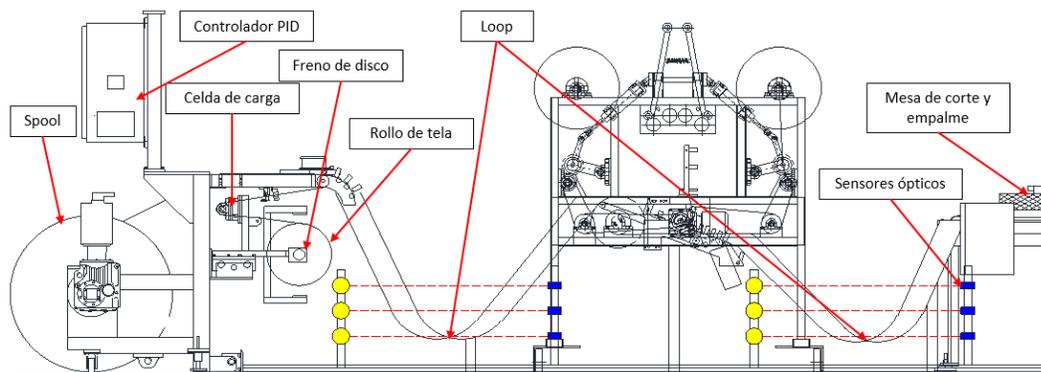


Figura 6.7: Esquema de aplicador de huincha y enrollador de ST4.

Fuente: Elaboración propia.

Por la gran cantidad de elementos que influyen en la continuidad del enrollado del Breaker, y una posible baja capacidad de respuesta del controlador PID que alcance

a regular la tensión de la tela de forma óptima, se plantea la hipótesis de que se presenta una gran variación en la tensión con la que se enrolla el Breaker y la tela en el Spool, teniendo zonas enrolladas a una elevada tensión y otras estando muy destensadas, pudiendo esto inducir a arrugas de Breaker en la sección de este ya enrollado, es por esto que se vuelve necesario realizar una medición de la tensión durante el proceso de enrollado completo de un Spool, para estudiar y analizar las posibles variaciones comentadas, junto con mediciones de como varía la presión en el freno para complementar las mediciones.

Para realizar la medición se necesita registrar la tensión de la tela indicada por la celda de carga en todo momento y en paralelo la presión de frenado, pero por un lado la lectura que se tiene de la tensión gracias al PID va desfasada con la acción real, y muestra una variación cada intervalos de dos a cinco segundos, sin obtener información de una posible variación dentro de dicho intervalo de tiempo, es por esto que dispone de un dispositivo de adquisición de datos en tiempo real, llamado Labjack [18], el cual permite tomar una “copia” de la señal enviada por la celda de carga al controlador PID, y llevar un registro con una frecuencia modificable de adquisición de datos, los que son guardados instantáneamente en un computador para su posterior análisis, se conecta dicho dispositivo a la celda de carga de la máquina Steelastic con una frecuencia de adquisición de datos de  $200[H\text{z}]$ , de la misma forma se registra la señal de control que envía el PID al transductor I/P para accionar el freno neumático de disco y así obtener el valor de la presión de frenado en tiempo real.

En primera instancia se toma registro de la tensión de tela y presión de frenado en la ST 4, que, como se comentó anteriormente es la máquina que genera mas arrugas de Breaker para luego poder analizar el comportamiento de estas variables. Luego, también se registra la tensión y presión en la ST 5, que es una de las máquinas que presenta menos arrugas.

El dispositivo de adquisición de datos comentado necesita entradas de señales de  $\pm 10[V]$ , y estos valores de voltaje son registrados, y luego por valores obtenidos en la calibración inicial, se calcula proporcionalmente los valores de tensión y presión registrados. Obteniendo así los datos registrados en la Figura 6.8.

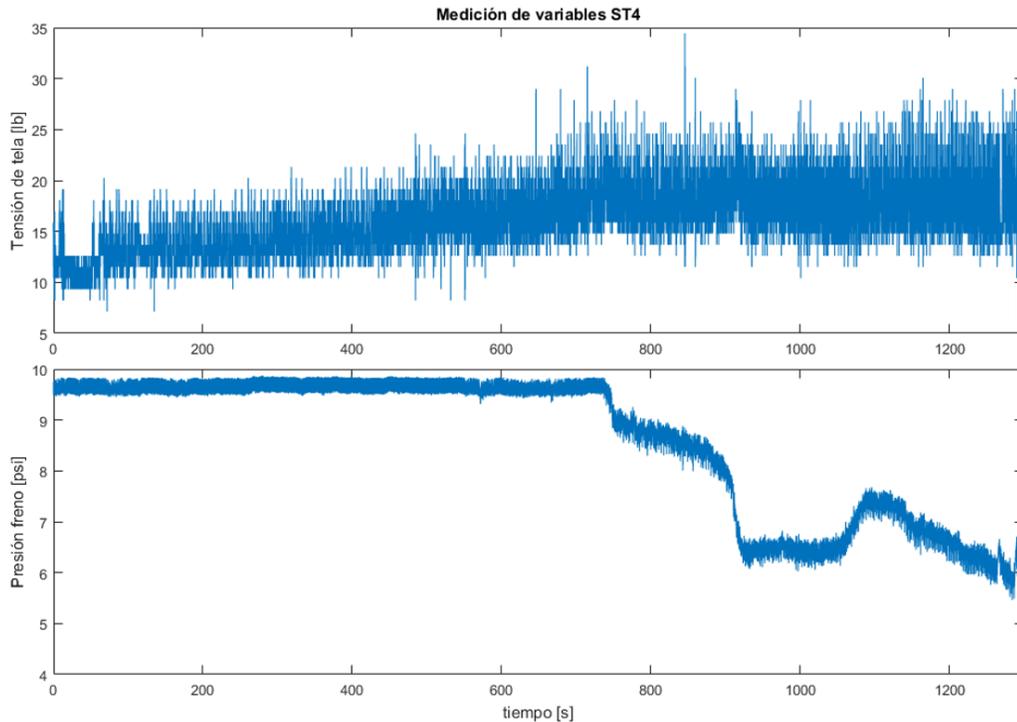


Figura 6.8: Medición de tensión de tela y presión de aire en freno de disco durante un enrollado de Breaker completo en Steelastic 4.

Fuente: Elaboración propia.

En las mediciones de la Steelastic 4, la tensión presenta una gran variación como era de esperar por información recopilada de parte de los operadores, variación que no es tan grande en los valores registrados de presión, en donde se observa que la presión tiende a ser constante en torno a los  $9,65[psi]$ , hasta los  $687,4[s]$  ( $11,5[min]$ ) periodo en el cual la tensión presenta una tendencia al alza partiendo en torno a las  $10lb$ ) con la variabilidad comentada. Luego la tensión presenta una tendencia a mantenerse constante en torno a las  $18[lb]$ , pero con una variabilidad que se escapa de los límites esperados ( $\pm 0,5[lb]$ ) hasta el fin del enrollado, periodo en el cual la presión desciende hasta casi  $5,5[psi]$ .

El comportamiento esperado es que la tensión de enrollado presente poca variabilidad promediando alrededor de  $18 \pm 0,5[lb]$  durante todo el enrollado, mientras que la presión tiene que presentar una pendiente negativa en su tendencia en todo el proceso, esto viene dado a las características del fenómeno de enrollado, se profundizará más en este análisis en la siguiente sección de la metodología.

Luego replicando el mismo procedimiento se toma registro de las mismas variables

en la máquina Steelastic 5, cuyos resultados se pueden ver en la Figura 6.9

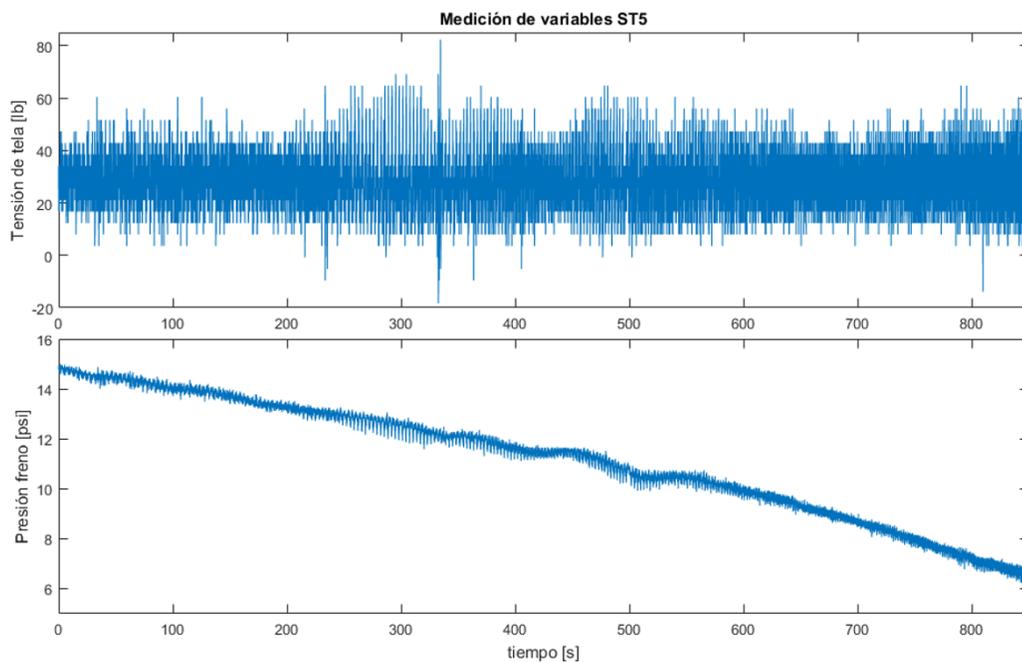


Figura 6.9: Medición de tensión de tela y presión de aire en freno de disco durante un enrollado de Breaker completo en Steelastic 5.

Fuente: Elaboración propia.

Como se comentó anteriormente se espera que en promedio la tensión se mantenga constante, en este caso lo es, pero alrededor de las  $30[lb]$ , tensión demasiado elevada y según lo esperado en planta, y con una gran variabilidad que se puede apreciar en el gráfico, si bien se presentan un punto de elevada tensión, este hace referencia a una intervención por parte del operador en la máquina, luego la presión del aire que acciona el freno de disco, tiene también un comportamiento según lo esperado, que como se comentará mas adelante en promedio presenta una pendiente negativa para mantener la tensión en promedio constante.

Por otro lado, en esta máquina se está en presencia de un proceso mas o menos estable al analizar la tensión, al cual se le realizará un estudio de capacidad, para conocer la amplitud de la variabilidad del proceso de enrollado y determinar cuan satisfactorio es con respecto a los límites naturales del proceso o según el cumplimiento de las especificaciones dadas.

El proceso de enrollado dura  $850[s]$  por lo que al tener una adquisición de datos con una frecuencia de  $200[Hz]$ , se tienen 170000 datos, luego se realizan 1700 sub

grupos de 100 datos, con lo que se tiene un muestreo de la tensión cada  $0,5[s]$ , así se busca determinar la normalidad de la distribución de los datos para realizar el estudio mencionado, encontrando un “p valor” inferior a 0,005 (ver Figura A.2 en anexos), que indica que no corresponde a una distribución normal (valor de referencia  $> 0,1$ ), por lo que se utilizando la Transformación de Johnson (opción disponible en el Software Minitab) se obtiene un grupo de datos normalizado se le puede realizar un estudio de capacidad [19] (ver Figura A.3).

Si los límites de especificación inferior (LEI) y superior (LES) son  $17,5[lb]$  y  $18,5[lb]$ , al ser normalizados estos valores pasan a ser  $-2,183$  y  $-1,989$  respectivamente, y como se puede ver en la Figura A.4, se tiene un proceso que se encuentra totalmente descentrado, con una gran variabilidad por lo que indican los valores  $C_p$  y  $C_{pm}$ .

El valor del índice  $C_p$  es igual a 0,04, lo que según Gutierrez y Salazar, 2004 [2], indica que el proceso no es el adecuado para el trabajo, requiriendo modificaciones muy serias para cumplir con las especificaciones, cabe destacar que el valor  $C_p$  se calcula mediante la Ecuación-6.1.

$$C_p = \frac{LES - LEI}{6\sigma} \quad (6.1)$$

Por ende el hecho de tener un valor tan inferior a uno indica que la variabilidad del proceso es por mucho mayor a los límites de especificación.

Luego el valor  $C_{pm}$ , realiza un análisis muy similar, pero considerando que tan centrado está el proceso, mediante la Ecuación-6.2.

$$C_{pm} = \frac{LES - LEI}{6\tau} \quad (6.2)$$

En donde  $\tau = \sqrt{\sigma^2 + (\mu - N^2)}$ ,  $\mu$  en la mediana y  $N$  el promedio entre LES y LSI, obteniendo así un valor de 0,01 al ser menor a uno, se tiene nuevamente una gran variabilidad, y al ser menor que el indica  $C_p$  muestra la incidencia lo descentrados que se encuentran los datos.

## 6.2.2. Proceso Constructoras HF

El Breaker terminado es llevado al supermercado de Breaker, en donde es almacenado para luego ser usado por las máquinas constructoras según se necesite. El proceso de conformado o armado de neumáticos en verde se puede apreciar en la Figura 6.10.

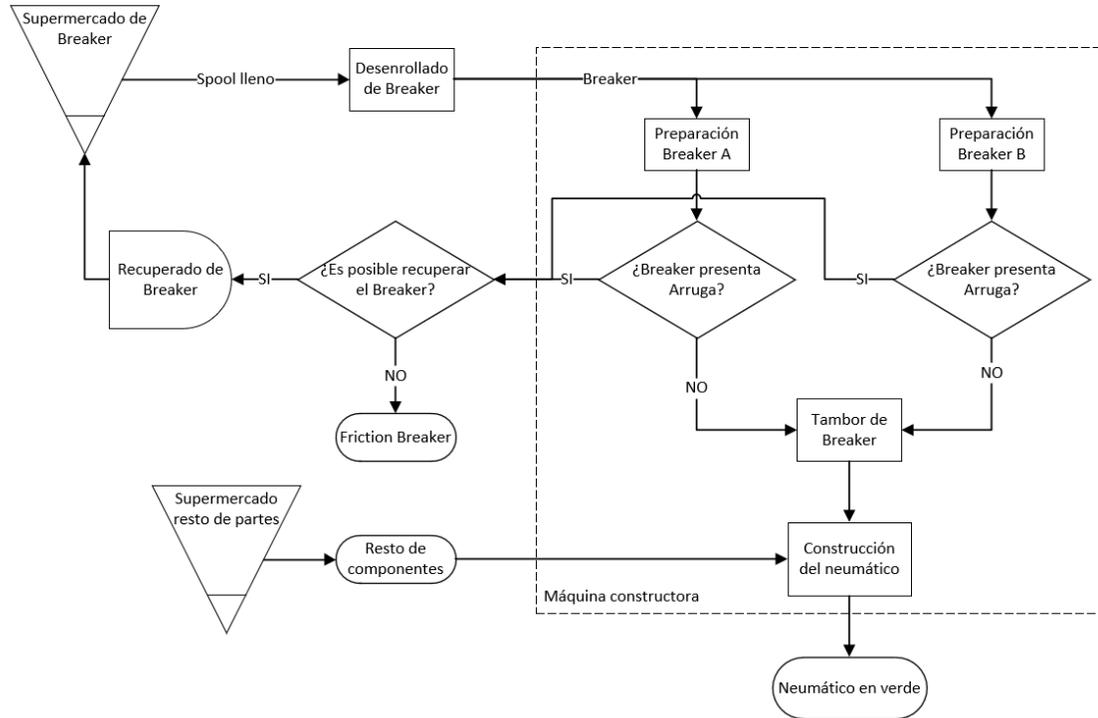


Figura 6.10: Diagrama de flujo de proceso de producción de neumáticos en verde en Goodyear.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Goodyear Chile.

Este proceso comienza con la solicitud de las partes necesarias según el neumático que se esté fabricando, tomando las partes correspondientes de los distintos puntos de almacenamiento de productos internos terminados, cabe destacar que en la parte de este proceso en que se profundizará es en la que se ve involucrado el Breaker, como se puede apreciar en la figura anterior, y donde el tratamiento de las demás partes del neumático es muy similar.

Al tomar un Spool lleno de Breaker es posicionado en un cassette, el cual se acopla en la máquina constructora para desenrollar el Breaker, (se posicionan dos Spools iguales pero en orientación distinta para hacer el Breaker 1 y 2). El Breaker entra por cintas que avanzan según la necesidad de material que necesite el neumático en fabricación,

y en esta misma cinta se secciona el Breaker según el largo necesario y se inspecciona si presenta arrugas. En caso de no presentar arrugas, pasa a una segunda cinta que lo posiciona en un tambor en donde se arma el neumático junto a los demás componentes de este, para luego unirlos a alta presión y obtener el neumático en verde. Si el Breaker presenta arrugas se detiene la producción, para inspeccionar el motivo de la detención, el Breaker con arruga en el Spool es llevado a la zona de recuperado, para analizar si es posible recuperar parte del Breaker enrollado, de ser así es llevado de vuelta al supermercado de Breaker, en caso contrario es catalogado como desperdicio, y un operario tiene que desenrollar el Breaker con arrugas en el Spool y recuperar la tela para un nuevo enrollado.

Como se puede apreciar, la generación de arruga no tan solo detiene la producción de neumáticos en verde, sino que también implica invertir tiempo en realizar el recuperado del Breaker y desenrollado por parte de un operador, siendo estos últimos, gastos inútiles, es por esto que se vuelve fundamental disminuir la cantidad de producción de Breaker con arruga.

### 6.3. Análisis de causa raíz

El análisis comienza con el diagrama de Ishikawa presente en la Figura 6.11, en donde las ramas principales corresponden a cinco de las seis variables que afectan a un proceso (ver Marco Teórico). Las causas descritas aquí presentes fueron validadas en una lluvia de ideas realizada en conjunto con operadores, mantenedores, ingenieros, y especialistas del área Construcción HF y Steelastic, con el fin de no dejar de lado ninguna posible causa probable proveniente de distintas ideas. En el diagrama se encuentran señaladas posibles causas que afectan tanto a HF como a ST.

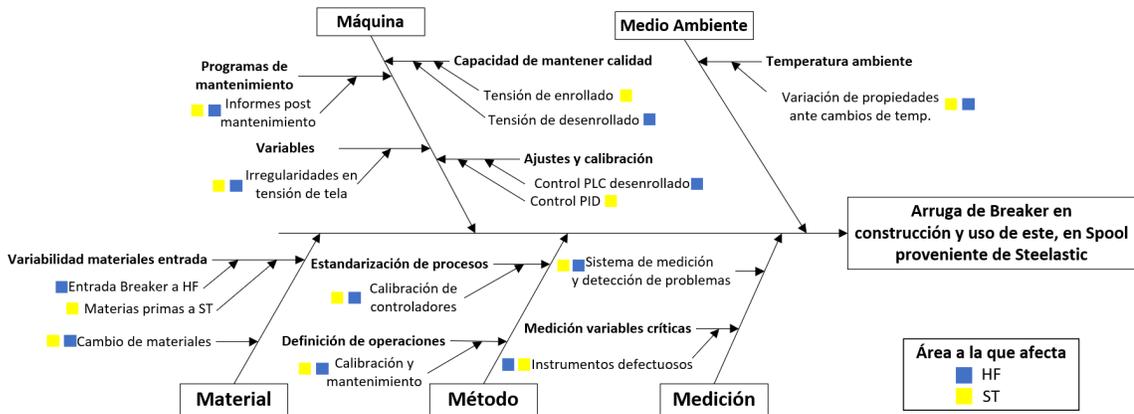


Figura 6.11: Diagrama de Ishikawa de posibles causas en cinco de las seis M.  
 Fuente: Elaboración propia.

#### 6.3.1. Factores considerados

De las seis M que teóricamente se tienen que analizar, en este diagrama queda fuera la correspondiente a Mano de obra, dado que la falla se presenta independiente del conocimiento, entrenamiento, habilidades o capacidades del operador.

A continuación se estudia cada una de las causas que se encuentran en el diagrama por cada una de las ramas del mismo.

#### Medio Ambiente

##### Temperatura y humedad ambiente

Las propiedades del caucho y por ende del Breaker varían dependiendo de la temperatura a la que se encuentren, es por esto además que, como se muestra en la Figura

B.2 (Anexo B), el Breaker pasa por rodillos enfriadores, que llevan a este a una temperatura ambiente, pero análisis realizados en las máquinas, se llega a la hipótesis de que la presencia de arrugas puede tener un origen en las variaciones de temperatura en el sector tanto de Steelastic como HF.

Por un lado esta variación disminuye en HF, dado que ésta área se encuentra en el interior de la planta sujeta a condiciones de temperatura más controladas, sin ser afectada por variaciones climáticas externas.

Luego el sector Steelastic, se encuentra en la periferia de la planta, por lo que podría verse afectado por condiciones climáticas externas. Se informa por parte de operadores y mantenedores, que al momento de realizar la calibración de los controladores de las máquinas, se registra la temperatura y humedad ambiente en el sector, la calibración se realiza como mínimo una vez por semana. En la Figura 6.12, se muestra cómo varía la temperatura durante todo un año, el registro se realiza a distintas horas del día.

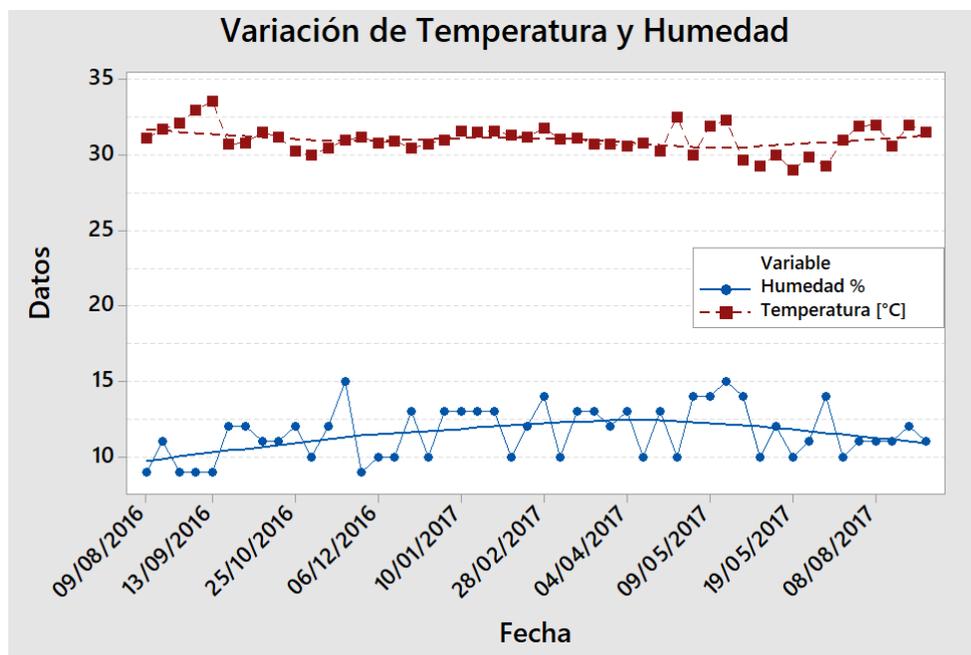


Figura 6.12: Variación de temperatura y humedad en el sector de las máquinas Steelastic durante un año.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en el gráfico anterior, la temperatura presenta una lógica alza, junto con una disminución de la humedad en los meses cercanos al verano, variación esperable pero mínima, encontrando una diferencia de temperatura máxima

de  $4,6[^\circ C]$ , y tan solo 6 puntos de humedad relativa. La baja variación presentada no afecta a las propiedades del caucho, y por otro lado no se presencia una tendencia de incremento o disminución de aparición de arrugas de la mano con las tendencias de variación de temperatura y humedad, por lo que queda descartado una influencia de aspectos ambientales en la generación de arruga.

## **Máquina**

### **Variables**

La variable con la que se puede regular la calidad con la que el Breaker es enrollado y utilizado, es la tensión de este al enrollarlo en el Spool y luego al ser utilizado en HF, como se mencionó en la Sección-6.2, el control de la velocidad de enrollado en Steelastic es fundamental para mantener una tensión constante de enrollado y así no producir altas tensiones en la tela.

Si bien se encuentra un control de tensión de la tela, este podría no ser capaz de regular la tensión con eficacia si la velocidad de alimentación es muy variada, es por esto, que la variable velocidad de enrollado se considera fundamental en las irregularidades en tensión de tela, un análisis mas profundo de la influencia de esta variable se estudiará en la sección 6.3.2.

### **Capacidad de mantener la calidad**

El parámetro que se desea mantener controlado en tanto la tensión de enrollado como de desenrollado, entonces definiendo esta tensión como variable de control, se estudia si tanto las máquinas Steelastic, como Constructoras son capaces de mantener esta variable controlada.

En Steelastic, como ya se comentó, se cuenta con un controlador PID y que recibe una señal de una celda de carga que mide la tensión y el controlador regula la presión de aire que alimenta al freno neumático, el cual en óptimas condiciones es capaz de tensar por sobre las  $10 \pm 0,5[lb]$  que son requeridas. Por su lado HF cuenta con un control similar automatizado en un PLC, que regula un freno neumático en el desenrollando capaz de llegar a las  $20[lb]$  de presión, sistema el cual se encuentra desconectado, en la Sección-6.3.5. Por ende se considera que en ambos sectores las máquinas cuentan con instalaciones que las capacitan para mantener la calidad, pero estas no están funcionando como deberían.

### **Ajuste y calibración**

Como ya se mencionó, las máquinas en ambos sectores son capaces de mantener la calidad del proceso, pero bajo condiciones de operación óptimas, y estando bien calibradas y/o ajustadas.

En Steelastic se cuenta con un controlador PID Cygnus-DIN, el cual está diseñado exclusivamente para el control de tensión en el enrollado de cualquier material, por ende posee propiedades que se pueden configurar para lograr un mejor control según posibles variaciones en el enrollado. El proceso evidenciado posee características específicas, las cuales podrían ser configuradas en el controlador y actualmente no lo están. Un mayor análisis de estas características se encuentra en la sección 6.3.4.

Por otro lado, la calibración del controlador PID es un proceso necesario para el aseguramiento de la calidad, pero no existe un procedimiento estándar para realizar esta actividad, y actualmente se realiza según los conocimientos de un solo técnico, el cual en caso de su ausencia, la calibración del controlado no se realiza.

Como se comentó, HF también cuenta con un control de tensión controlado por un PLC, actualmente dicho sistema se encuentra desconectado de todas las máquinas por no poseer un programa adecuado que lo regule, entonces el freno que se aplica a Spool en el desenrollado es constante y no controlado, generando que este gire en banda produciendo tensiones elevadas en la tela aumentando la generación de arrugas en el interior del Breaker enrollado.

### **Programas de mantenimiento**

Actualmente tanto ST como HF cuentan con programas de mantenimiento a seguir, y al ser ambos sectores distintos, que responden a distintas divisiones, cada una tiene su equipo de mantenimiento encargado de realizar las actividades descritas en dicho plan.

En ambos sectores se trata de seguir este plan al pie de la letra, en ellos se indica paso a paso las acciones a realizar en el mantenimiento, además se tiene la frecuencia con la cual realizarlas, y el responsable de llevarla a cabo. El problema surge al momento de encontrar fallas al realizar tareas de mantenimiento preventivo, dichas fallas son anotadas en hojas de registro, las cuales se archivan y no quedan sujetas a revisiones, por ende en numerosas ocasiones la información no escala debidamente para tomar las acciones necesarias. Esto se evidencia al revisar los historiales de mantenimiento y encontrar informes de fallas en las máquinas que datan de meses atrás, y actualmente se mantiene la misma falla, por ejemplo filtraciones de aire en alimentación a frenos neumáticos en ST, o instrumentos de medición defectuosos en ambos sectores.

## **Material**

### **Variabilidad en materiales de entrada**

El material que entra a Steelastic viene de procesos anteriores ya analizados, procurando que la materia prima que se utilice para confeccionar el Breaker cumpla con especificaciones claras, de esta forma se evitan retrasos inesperados en la producción de Breaker por fallas de material (Componentes Irregulares), por ende el material entrante a ST no es causante de arrugas.

Por otro lado al entrar el Breaker a HF, no se tiene conocimiento sobre el estado de este, es decir si posee arrugar o viene con condiciones para la generación de la misma, entonces HF no cuenta un método de control de Breaker que asegure que el Spool con Breaker instalado en la máquina esté en perfectas condiciones o en su defecto un control en la salida de ST que informe el estado del Spool, aumentando así la probabilidad de encontrar arrugas en el Breaker, generando retrasos en el proceso

### **Cambio de materiales**

Es posible que la arruga se genere por cambios de materiales utilizados en la confección del Breaker, enrollado o uso de este, pero esta causa se descarta dado que los materiales no cambian, solamente la composición del caucho utilizado, pero no se encuentra una relación entre la generación de arruga y los distintos compuestos de caucho utilizados, produciéndose la arruga independientemente del tipo de neumático que se esté construyendo.

## **Método**

### **Estandarización de procesos**

Como se mencionó en el factor Máquina, la calibración del controlador PID, la conoce un técnico solamente y no se realiza si este no se encuentra presente en la planta, esto dado que no existe un proceso estandarizado de calibración del controlador.

De la misma forma no existe una estandarización en HF del PLC que regula la tensión de desenrollado, ni en su defecto de la presión que regula el freno involucrado, agregando variaciones al proceso en el que está involucrado el Breaker.

### **Definición de operaciones**

Actualmente se realizan operaciones de calibración y mantenimiento, de las cuales muchas de ellas fueron estudiadas y analizadas para definir cómo realizarlas, pero

como se ha podido apreciar, en casos como el control de tensión en ambas áreas, o configuraciones extras del controlador PID, no han sido bien definidas, haciendo que subsistemas de las máquinas funcionen de manera errónea siendo un factor de posible generación de arrugas.

## **Medición**

### **Sistema de medición y detección de problemas**

Como se mencionó en el factor material, no se tiene un control sobre los Spools que podrían presentar arrugas o condiciones propicias para que estas se generen, si bien la implementación de un sistema así no evitaría la pérdida de materiales, se podría estudiar mejor el comportamiento de la generación de arrugas, y se evitaría el tiempo perdido en la construcción de neumáticos en verde.

### **Medición de variables críticas**

Como ya se comentó, la tensión de enrollado y desenrollado es la variable crítica a seguir, teniendo un monitoreo continuo de ella se podría actuar ante una posible variación de esta, y se conocería mejor el comportamiento de la máquina pudiendo estudiar distintas variables que afecten al enrollado. Actualmente se cuenta con diversos manómetros en los frenos de las máquinas que permiten la lectura de los parámetros de frenado, pero gran parte de ellos se encuentran defectuosos, impidiendo una óptima regulación de la máquina.

### **6.3.2. Efectos de la velocidad de enrollado**

La hipótesis planteada hasta el momento indica que la variación de velocidad en la alimentación de Breaker influye en la generación de arrugas, dado que al no ser constante la alimentación de Breaker, se generan "tirones" por parte del motor que hace girar al Spool, y esto provoca grandes aumentos de tensión en la tela, produciendo posible arrugas en el interior del Breaker ya enrollado, como la tensión se eleva, el freno controlado por un PID se suelta para regular la tensión, al mismo tiempo se desacelera el enrollado aflojando demasiado la tela enrollado Breaker con tela destensada, luego el ciclo se repite, y se siguen produciendo arrugas en su interior.

## Diagramas del fenómeno

En la Figura 6.13, se muestran los subsistemas que influyen en el enrollado y tensado de la tela y Breaker, además de identificar las variables del proceso que se utilizarán para el análisis.

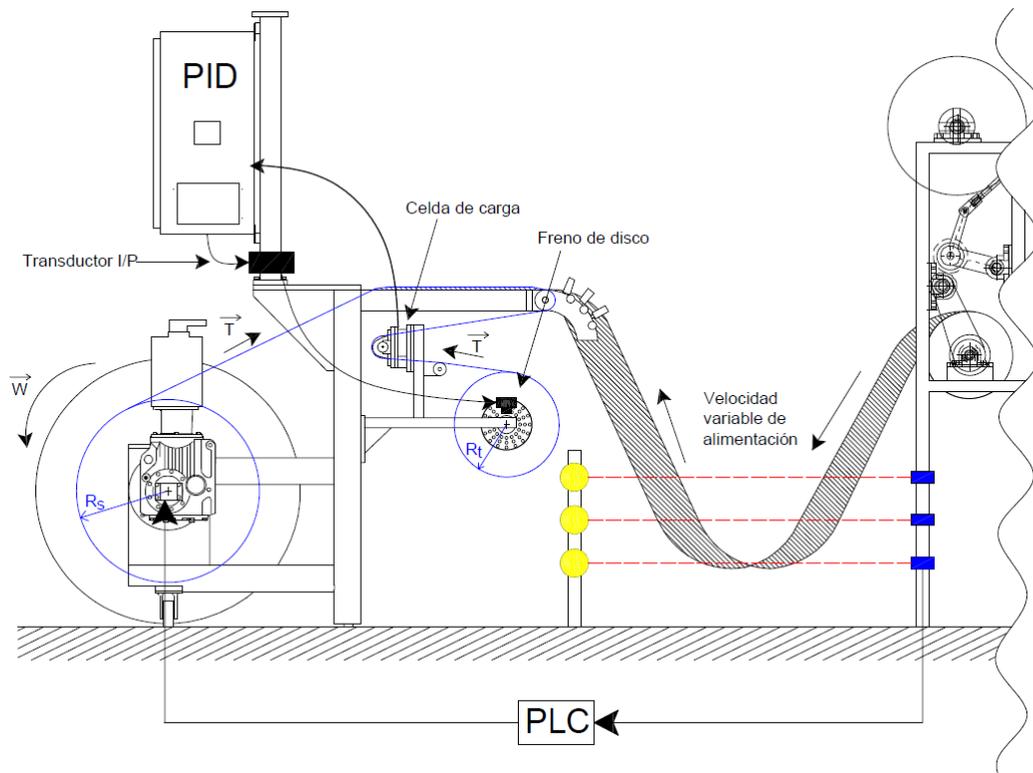


Figura 6.13: Diagrama del enrollado de tela y Breaker en ST 4.

Fuente: Elaboración propia.

En azul se representa la tela, que se posiciona en una eje unido al freno de disco, el radio de este rollo de tela se denominará  $R_t$ , posteriormente la tela pasa por la celda de carga que comunica la tensión al PID y esta regula por medio del transductor I/P la presión de frenado. Luego la tela se une con el Breaker en la mesa del enrollador, y juntos se enrollan en el Spool, su giro es controlado por un motorreductor, que a su vez es accionado según la información entregada por el PLC que toma tres señales de posición del Breaker para ajustar su avance, el radio da la tela junto al Breaker en el Spool se denominará  $R_s$ .

VARIABLES A CONSIDERAR:

- $R_s$ : Radio del rollo de tela mas Breaker enrollados en Spool.
- $R_t$ : Radio del rollo de tela.
- $W$ : Velocidad angular de enrollado de tela mas Breaker (Velocidad angular de Spool), asignada por el motorreductor.
- $T$ : Tensión de la tela.
- $V$ : Velocidad de avance del Breaker.

Por otro lado, el funcionamiento del controlador PID se observa en la Figura 6.14 [20], en donde se muestra que ante la perturbación de la velocidad de alimentación del Breaker (por ende aceleración de la tela en la misma medida) provoca variaciones de tensión, que son medidas por la celda de carga, enviando la información al controlador PID que mediante una salida de corriente de  $4 - 20[mA]$  a un transductor I/P que regula la presión para actuar el freno neumático de disco con una presión entre  $3$  y  $15[psi]$ . El controlador PID controla la tensión  $T$  a un valor consigna de  $18[lb]$ .

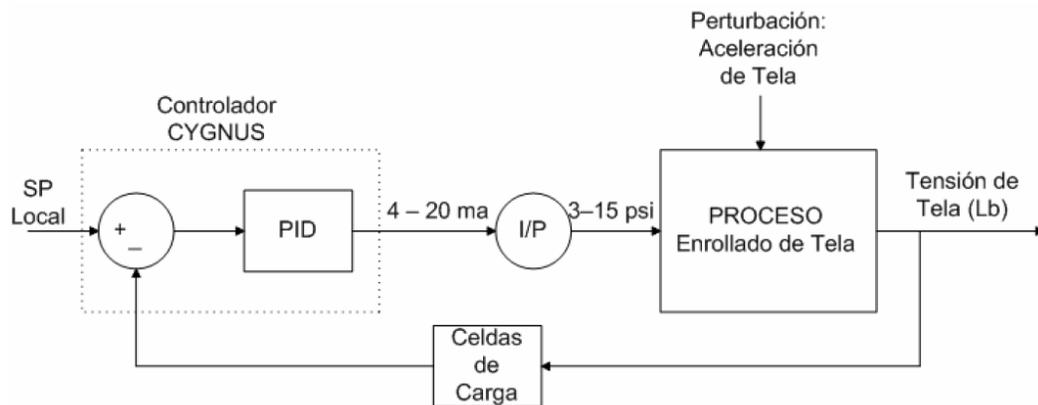


Figura 6.14: Diagrama de funcionamiento de controlador PID en el proceso de enrollado de tela y Breaker.

Fuente: O & R Ingenieros S.A. 6.14

## Simulación variación de tensión

Para comprender los efectos de la inestabilidad en la velocidad de alimentación del Breaker en la generación de arruga, se realiza una simulación del fenómeno tomando ciertas consideraciones que lo simplifican con el fin de obtener solamente una representación del comportamiento de la tensión del enrollado. Cabe destacar que el comportamiento general de la máquina es muy similar independiente de la velocidad promedio que se esté trabajando, en planta se sugiere trabajar a una velocidad de  $13[m/s]$  aproximadamente, velocidad promedio a la que se realiza la simulación.

Consideraciones del modelo:

- Es de esperar que en promedio la velocidad y tensión de enrollado se mantengan constantes en todo el proceso, el cual puede durar entre  $13$  y  $18[min]$ , es por esto que se simula un punto medio del enrollado, teniendo el rollo de tela y en Spool medianamente llenos, lo que indica un radio del Spool  $r_s = 0,36[m]$ , lo que incluye  $0,15[m]$  de núcleo del Spool más  $0,17[m]$  de Breaker y tela enrollados.
- En la Figura 6.15 se muestra la simulación del comportamiento de la velocidad, se simulan solamente  $2[s]$  de los  $20[s]$  señalados, luego los resultados se replicara durante  $20[s]$ , tiempo en el cual la inercia de los rollos no varían considerablemente, y es posible mantener este parámetro constante.
- Como se apreciará mas adelante, las velocidades a las que se trabajan son bajas, trabajando a no mas de  $14[rpm]$ , por ende el par motor aplicado no varía considerablemente, asumiendo así un par prácticamente constante correspondiente al par de arranque  $M_a$  según catálogo (ver Tabla C.1) [21].
- En planta se dispone de distintos carretes de enrollado (Spool), de distinta masa, es por esto que se selecciona el tipo de carrete mas común (ver plano en Figura C.1), sin tapas laterales que tiene una inercia de  $3,0327[Kg/m^2]$  (ver propiedades en Tabla C.2).

Se comienza buscando una representación del comportamiento de la velocidad con la que avanza el Breaker por la máquina, si bien, como se comentó anteriormente la velocidad de salida del Breaker desde los rodillos enfriadores es constante, al pasar por la mesa de corte y empalme, comienza la gran variabilidad del proceso, en esta sección del proceso, el avance por la mesa llega a una velocidad máxima alrededor de

los  $30[m/s]$  en poco menos de  $2[s]$  y luego se detiene casi completamente para realizar el corte y posterior empalme e iniciar nuevamente el avance del Breaker, este proceso se reitera durante todo el enrollado.

Después de pasar el Breaker por el aplicador de huincha, en control de velocidad actual permite que la velocidad no llegue a  $0[m/min]$ , logrando llegar a una velocidad mínima de avance de  $2[m/s]$ , para luego aumentar hasta los  $27[m/s]$  aproximadamente en menos de dos segundos, disminuir y llegar nuevamente a la velocidad mínima de avance en dos segundos, luego este proceso se repite durante todo el enrollado, en la Figura 6.15 se puede apreciar el comportamiento del avance del Breaker al ser enrollado.

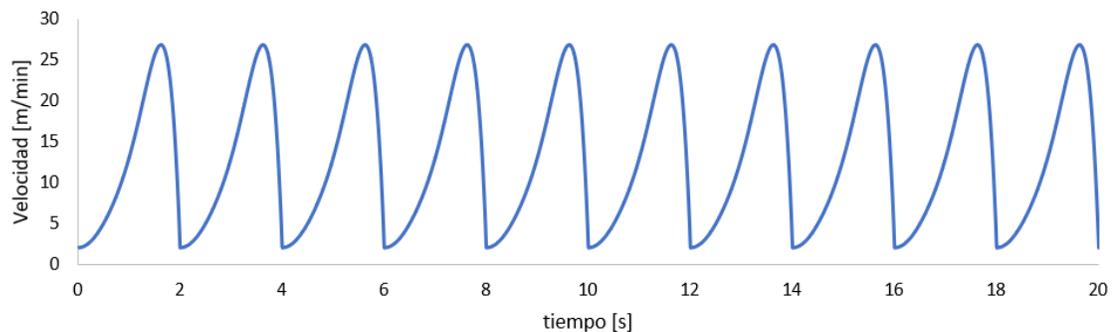
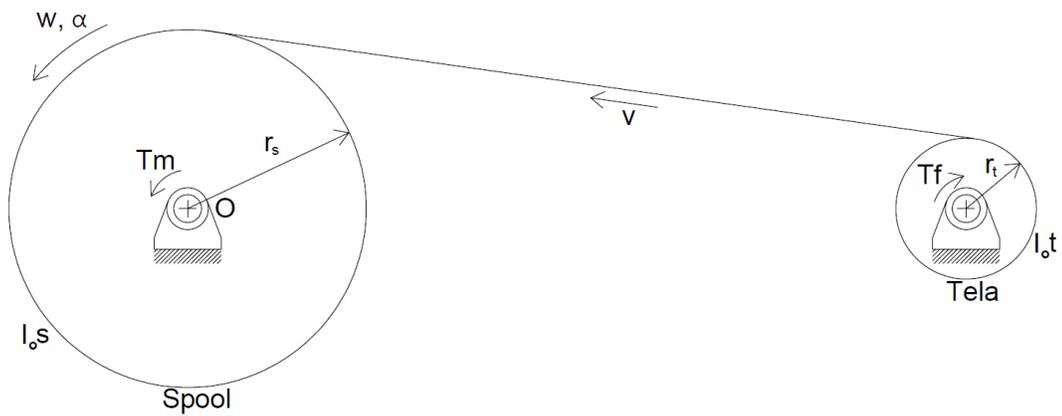


Figura 6.15: Gráfico de simulación velocidad de avance del Breaker al momento de entrar en el enrollador.

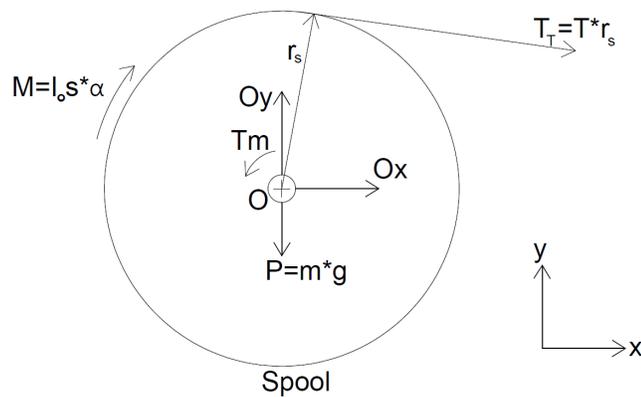
Fuente: Elaboración propia.

Luego, siendo esta la velocidad de entrada del Breaker al enrollado, a su vez también es la velocidad con la que avanza la tela, misma velocidad tangencial que tienen al tela en el rollo de esta, y en el Spool. Así, al tener una velocidad variable, la tensión de la tela no es constante, por ende se necesita realizar un análisis dinámico del fenómeno de enrollado de tela más Breaker.

En la Figura 6.16(a), se aprecia una representación simplificada del sistema de enrollado indicando las variables a considerar para realizar la simulación. Luego como la tensión en este problema es una, se puede separar el sistema y analizar el comportamiento desde las variables del Spool o desde el rollo de tela, se decide tomar la primera opción por el conocimiento que se tiene de las variables involucradas, quedando el problema representado como se muestra en el diagrama de cuerpo libre en la Figura 6.16(b).



(a) Sistema



(b) DCL

Figura 6.16: (a) Representación simplificada del sistema de enrollado. (b) Diagrama de cuerpo libre del Spool.

Fuente: Elaboración propia.

Este problema puede ser analizado estudiando la cinética de un cuerpo rígido, con ayuda de las ecuaciones 6.3 de movimiento de la rotación alrededor de un eje fijo [22].

$$\begin{aligned}
 \sum F_n &= m(a_G)_n = m\omega^2 r_G \\
 \sum F_t &= m(a_G)_t = m\alpha^2 r_G \\
 \sum M_O &= I_O \alpha
 \end{aligned}
 \tag{6.3}$$

El problema se complicaría si el Spool estuviera en traslación y rotación al mismo tiempo, pero en este caso en particular se encuentra solamente en rotación, y además en centro de masa se encuentra en el eje de rotación, por lo que tanto la aceleración normal y tangencial son nulas, siendo útil la sumatoria de momento en torno al punto

O, quedando como se muestra en la Ecuación-6.4.

$$\sum M_o = I_o \cdot \alpha; \quad T_m - T_T = M = I_o \cdot \alpha \quad (6.4)$$

En donde  $T_m$ , es el torque aplicado por el motor que, como se mencionó se asume constante e igual al par de arranque del motor ( $T_m = M_a$ ),  $T_T$  corresponde a al torque generado por la tensión de la tela que se puede expresar como  $T_T = T \cdot r_s$ , donde  $T$  es la tensión de la tela y  $r_s$  es el radio enrollado de Breaker mas tela en el Spool, Finalmente  $M$  es el momento de inercia producido al acelerar el Spool por acción del motorreductor quedando expresado como  $M = I_o \alpha$ . Como la variable a estudiar es la tensión de la tela ( $T$ ), esta queda expresada de la siguiente forma.

$$T(t) = \frac{M_a - I_o \cdot \alpha(t)}{r_s} \quad (6.5)$$

El motorreductor utilizado es un SEW SA67 DRS90M4 (Ver características en Tabla C.1), con una potencia nominal de  $P_n = 1,5[kW]$ , par nominal  $M_n = 10,3[Nm]$ , y relación par de arranque  $M_a/M_n = 10,3$ , con lo que el par de arranque tiene un valor de  $M_a = 23,7[Nm]$ .

Para poder observar el comportamiento de la Ecuación-6.5, en necesario obtener el comportamiento de la aceleración angular obtenido a continuación.

Al graficar la Ecuación-6.6 para  $t \in [0, 2][s]$ , y repetir este comportamiento hasta  $t = 20[s]$  se obtiene el gráfico de la velocidad de avance del Breaker (o velocidad lineal de enrollado Ver Figura 6.15). El estudio que aquí se realiza es para  $t \in [0, 2][s]$  (para analizar un periodo de variación), y luego los resultados se replican como ya se comentó .

$$V(t) = 2,763 \sin\left(\frac{\pi}{2}t\right)(t^5 + 3t) + 2, \quad t \in [0, 2] \quad (6.6)$$

Luego la velocidad angular obedece a la relación  $\omega(t) = V(t)/r_s$ , y la aceleración angular  $\alpha$  se obtiene derivando la velocidad angular obtenida. En la Figura 6.17 se aprecia el comportamiento de la velocidad, velocidad angular y aceleración angular, en donde la velocidad angular mantiene la misma forma que la velocidad lineal, pero variando en amplitud, llegando a su punto máximo en torno a  $t = 1,6[s]$ , para luego descender a la velocidad mínima en  $t = 2[s]$ , es este periodo también la aceleración angular toma valores negativos por la disminución de velocidad de giro, además al ser este cambio tan repentino se aprecia que los valores descienden rápidamente tomando

valores demasiado elevados.

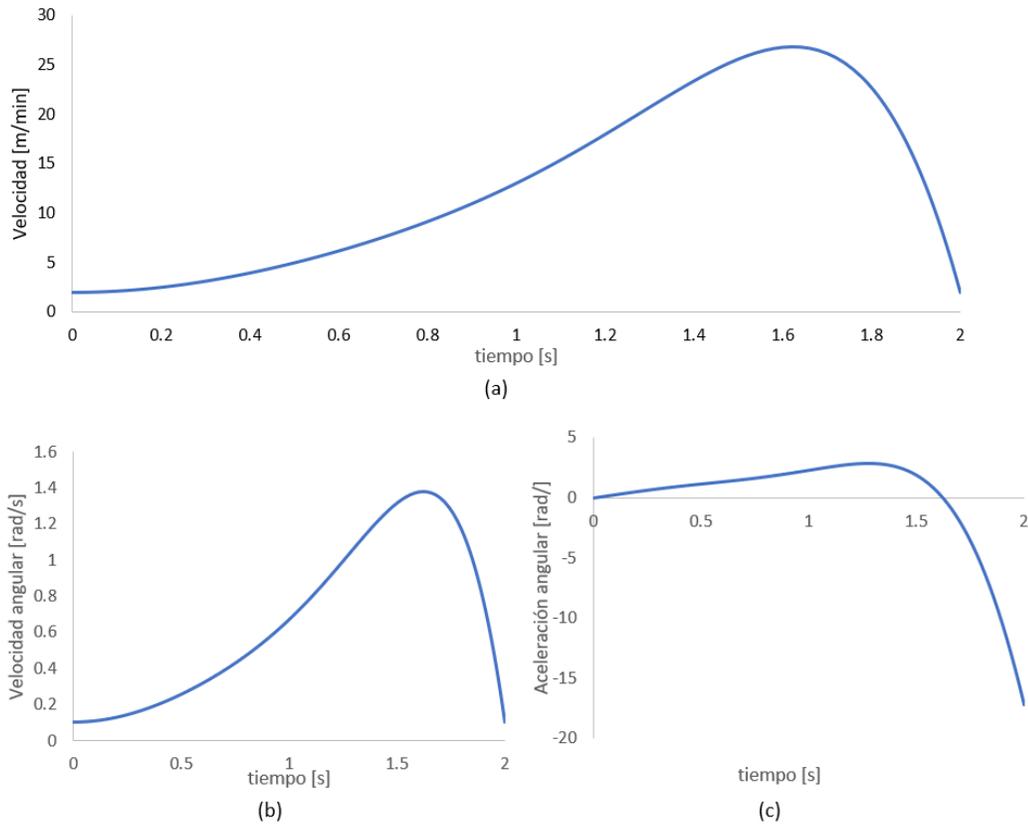


Figura 6.17: (a)Velocidad lineal del Spool.; (b)Velocidad angular de Spool.; (c)Aceleración angular del Spool.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6.2 se muestran los datos utilizados para el cálculo de inercia del Spool a la mitad de su capacidad, para esto se necesita el peso por unidad de longitud de Breaker y tela enrollados, esto genera un anillo con una masa total enrollada (entre tela y Breaker  $m_e = 80,85[kg]$ ) (Ver Figura 6.18), inercia del Spool vacío, y finalmente utilizando el Teorema de Huygens-Stainer de ejes paralelos se obtiene la inercia total, así la inercia se calcula según la Ecuación 6.7.

$$\begin{aligned}
 \text{Inercia masa enrollada} &= I_{m_e} = \frac{1}{2}m_e(r_i^2 + r_e^2) \\
 \text{Inercia total} &= \text{Inercia Spool} + \text{Inercia masa enrollada}
 \end{aligned}
 \tag{6.7}$$

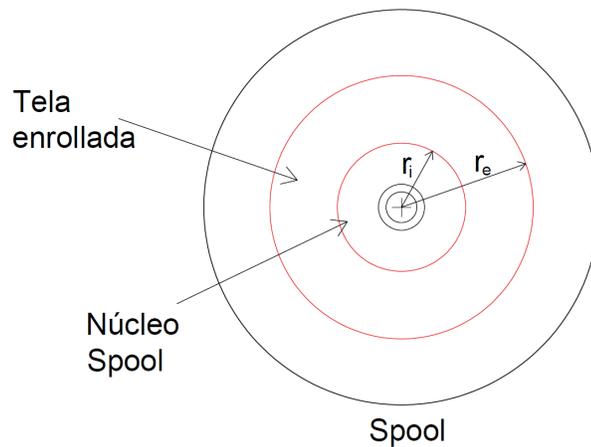


Figura 6.18: Representación de la tela enrollada con el Spool a media capacidad;  $r_i$  =radio interior,  $r_e$  =radio exterior del Breaker y tela enrollados.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.2: Calculo de inercia.

	Breaker	Tela
Masa[kg/m]	0.506	0.033
Largo[m]	150	150
Masa enrollada [kg]	75.855	4.995
Radio interior [m]	0.150	0.150
Radio Exterior[m]	0.325	0.325
Inercia Breaker mas tela [kg m <sup>2</sup> ]	5.179	
Inercia Spool [kg m <sup>2</sup> ]	3.303	
Inercia Total [kg m <sup>2</sup> ]	8.482	

Fuente: Elaboración propia.

Con todas las variables ya determinadas, es posible encontrar el comportamiento de la tensión evaluando la Ecuación-6.5 en  $t \in [0, 2][s]$ , así se obtiene el gráfico de la Figura 6.19, en donde según el modelo, la tensión máxima alcanzada es de 116,67[lb] en  $t = 2[s]$ , momento en que la aceleración es máxima dado la disminución repentina de velocidad de Spool, y la mínima es de  $-0,40[lb]$  en  $t = 1,28[s]$ , instante en el cual la aceleración es máxima, por ende, en la Ecuación-6.5 el producto  $I_o \cdot \alpha(t)$  toma su máximo valor.

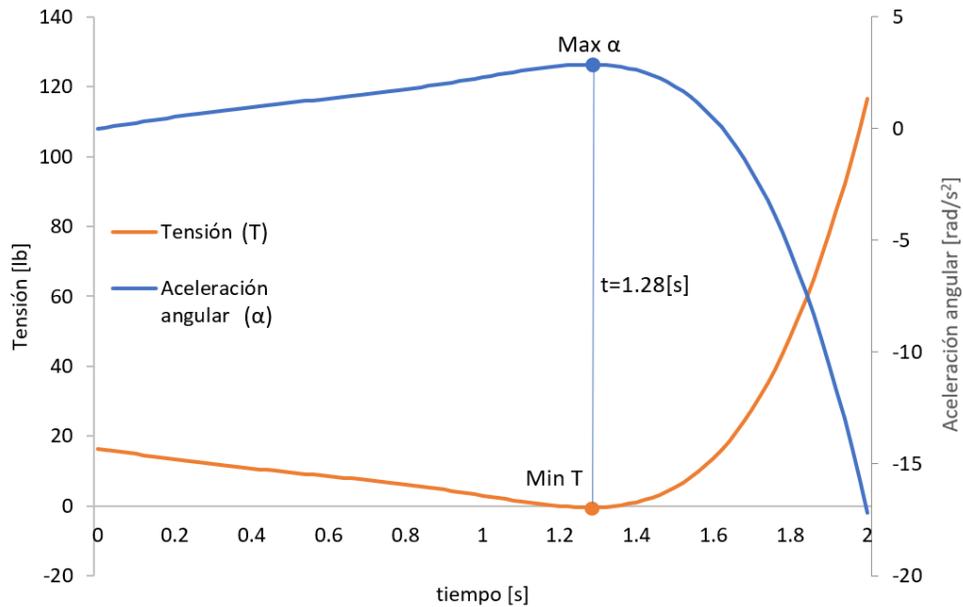


Figura 6.19: Tensión de la tela y aceleración angular de Spool durante el enrollado en un periodo de 2[s] en un instante de medio enrollado.

Fuente: Elaboración propia.

El promedio de tensión obtenido es de 16,89[lb], si bien es un valor de tensión óptimo dado que se espera que la tensión de enrollado se mantenga lo mas cercano posible a 18[lb], esta tensión presenta puntos en donde la tensión se eleva muy por encima de la tensión promedio o la tensión esperada, así se puede apreciar en la Figura 6.20, estos puntos de tensión elevada pueden provocar que el Breaker ya enrollado se apriete y fricione en su interior generando arruga, o por el contrario, enrollar zonas en donde el Breaker esta muy destensado, generando una oportunidad de arruga al elevar la tensión.

Luego repitiendo en un periodo de 20[s] los valores de tensión mostrados en la Figura 6.19 por medio de la ecuación 6.5, se obtiene el comportamiento mostrado en la Figura 6.20, comportamiento que, teniendo en cuenta los supuestos iniciales, es similar al comportamiento real de la tensión.

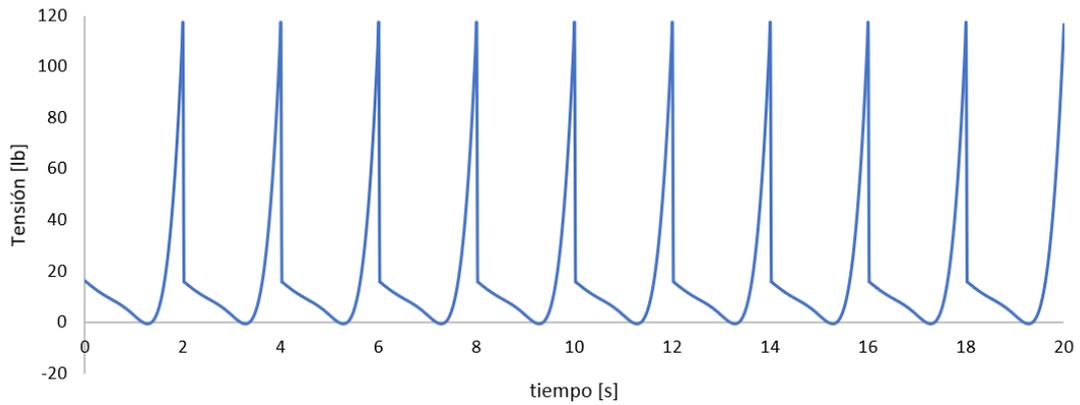


Figura 6.20: Tensión teórica de la tela durante el enrollado en un periodo de 20[s] en un instante de medio enrollado.

Fuente: Elaboración propia.

La máquina Steelastic 5 presenta un comportamiento general adecuado, pero con las variabilidades comentadas al momento de realizar el enrollado, es por esto que es posible comparar el comportamiento teórico obtenido en la Figura 6.20, con el comportamiento real de la tensión de dicha máquina para un mismo periodo de 20 segundos, que se encuentra en la Figura 6.21.

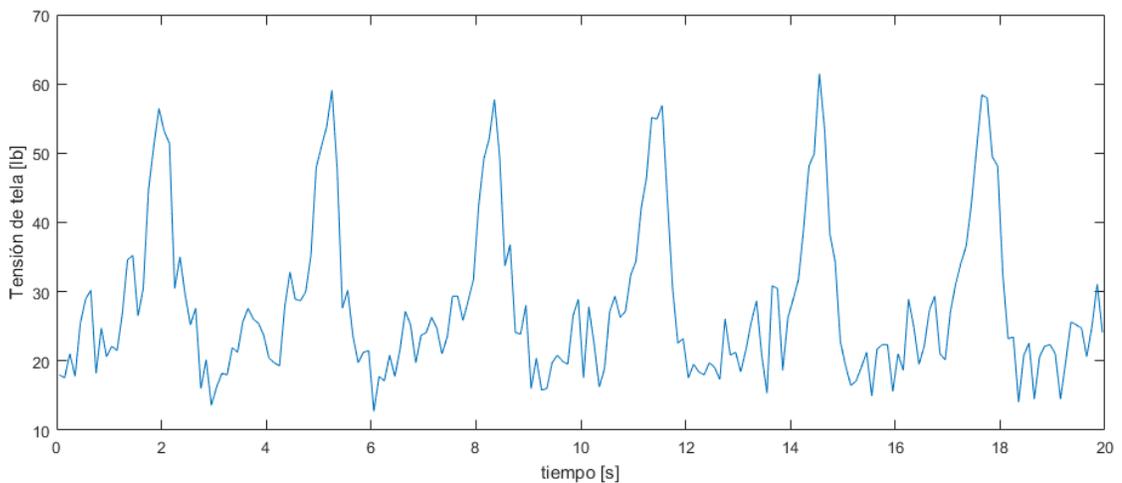


Figura 6.21: Tensión real de la tela durante el enrollado en un periodo de 20[s] en un instante de medio enrollado en ST 5.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que el comportamiento real de la tensión de la tela durante el enrollado, tiene un comportamiento general muy similar al teórico obtenido, presentando

zonas de baja tensión para luego obtener un punto de alta tensión que es provocado por la acción repentina del motorreductor, que se acciona ocasionalmente al no tener una velocidad de enrollado constante. Es decir, si se pudiera tener una velocidad de enrollado que está bajo control, sin variaciones de velocidad grandes se podría tener una tensión igual de controlada, esto se estudia a continuación.

### Tensión con velocidad controlada

Para el estudio de este caso se supone un sistema en el cual la velocidad de avance del Breaker es casi constante, siendo en promedio de  $15 \pm 0,06[m/s]$ , con un comportamiento sinusoidal cuyo periodo es de  $4[s]$  que se encuentra en al Figura 6.22.

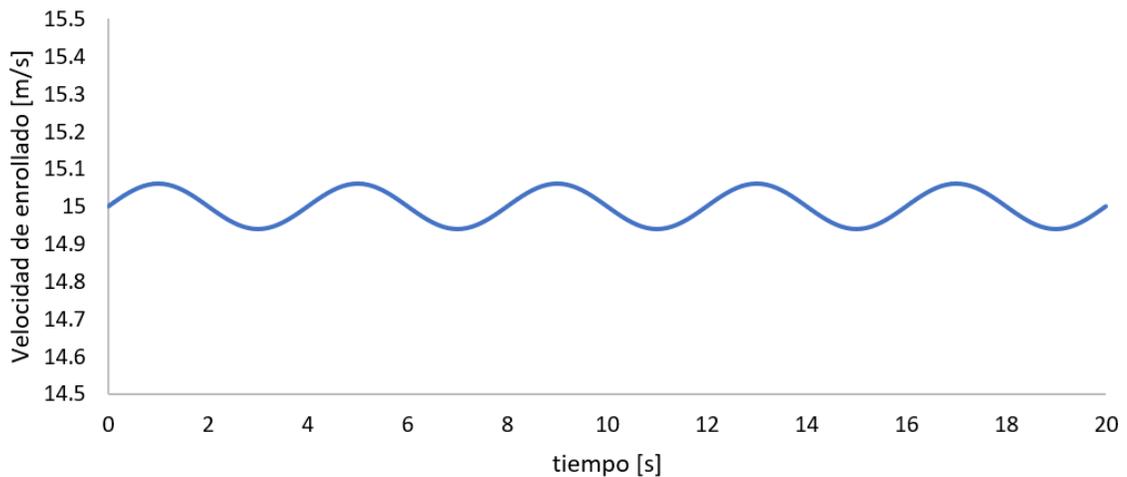


Figura 6.22: Gráfico de simulación de velocidad ideal de avance del Breaker al momento de entrar al enrollador.

Fuente: Elaboración propia.

Las demás consideraciones se mantienen constantes (radios, inercias y torque motor) en relación al caso estudiado anteriormente. Con esto es posible obtener la tensión de la tela con la nueva velocidad del Breaker, que se ve en la Figura 6.23.

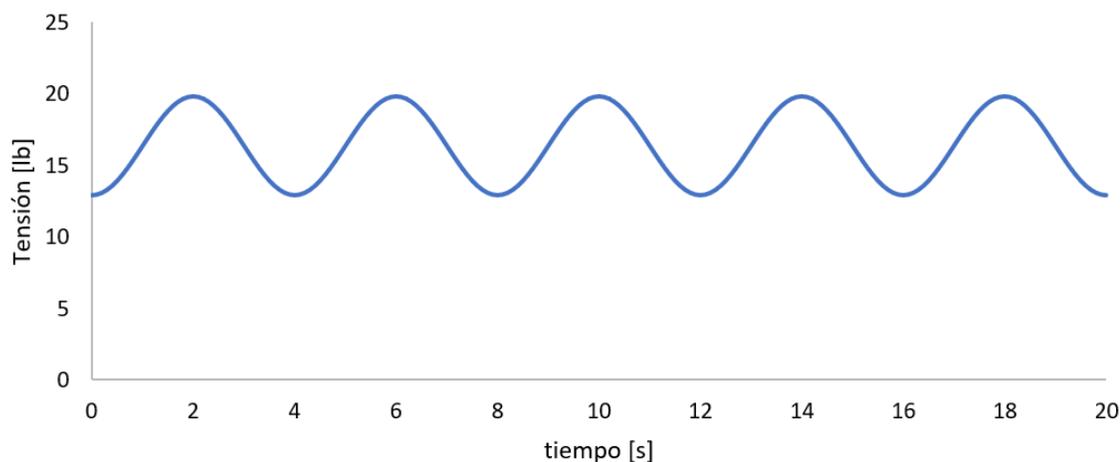


Figura 6.23: Tensión dieal de la tela durante el enrollado para una velocidad contorlada.  
Fuente: Elaboración propia.

La tensión ideal mostrada en la figura anterior, se encuentra mucho más controlada con respecto al caso anterior, en donde se registran puntos de tensión cercana a las 60[lb], en este caso la tensión máxima llega a las 19,8[lb] y la mínima es de 12,9[lb], con un promedio de 16,4[lb] siendo valores muy controlados, sin elevaciones de tensión repentinas, esto se logra gracias a que se mantiene la velocidad de enrollado constante, y al igual que en caso anterior, la tensión depende directamente de la aceleración del sistema, por lo que si se mantiene la misma variación de tensión, se puede elevar la velocidad media de avance manteniendo valores de tensión similares a los obtenidos. En resumen para lograr un control de velocidad, es necesario controlar la aceleración de sistema, tratando de que el sistema llegue a un punto de funcionamiento estacionario en donde no se tenga influencia de las fuerzas de inercia (que depende de la aceleración), sino que solamente del par que aplique el motorreductor.

### 6.3.3. Comportamiento Tensión-Presión

Como se puede apreciar en las Figuras 6.8 y 6.9, y por lo estudiado e investigado junto con operadores y mantenedores, se vuelve necesario buscar el real comportamiento de las gráficas de tensión y presión del aire en el sistema de control de tensión de tela en el enrollado de Breaker, dado que puede existir una directa relación entre estas variables que condicionen el enrollado en si.

Es de esperar que la tensión se mantenga a lo menos contante durante todo en enrollado, o sea mayor al inicio que al final para no generar zonas de baja tensión en

el centro del enrollado y luego al generar posibles alzas de tensión estas zonas no se arruguen al deslizar el Breaker sobre la tela. Dado esto, la ST 4 presenta un comportamiento contrario a lo esperado, desde el comienzo se aprecia una zona de baja tensión que se eleva hasta un punto en donde durante la segunda parte del enrollado mantiene constante, punto en el cual la presión se mantiene constante para luego bajar. Por otro lado, la ST 5 presenta un comportamiento en general adecuado, manteniendo la tensión en promedio constante, mientras que la presión disminuye en todo el enrollado.

Para estudiar la relación entre presión y tensión es necesario analizar una parte del sistema mostrado en la Figura 6.13(a), es decir la parte del sistema en donde esta enrollada la tela sin Breaker, cuyo diagrama de cuerpo libre se muestra en la Figura 6.24.

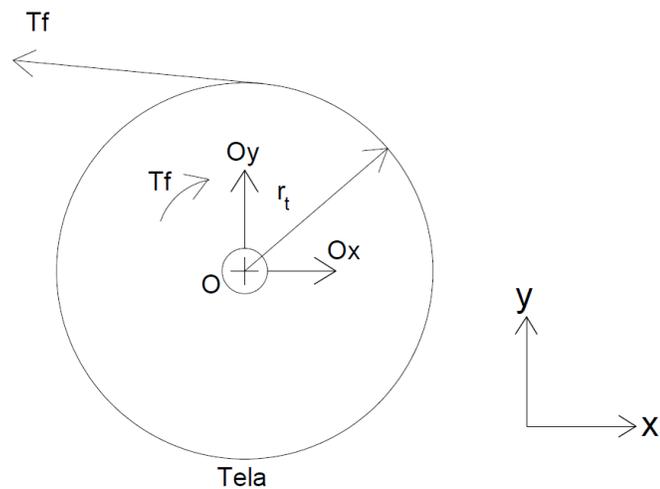


Figura 6.24: Diagrama de cuerpo libre de el rollo de en el proceso de enrollado de Breaker.

Fuente: Elaboración propia.

Como se mostró en el análisis anterior, las variaciones de velocidad afectan en el control de la tensión, y para simplificar este análisis, se supone que el sistema se encuentra en un estado estacionario, es decir a una velocidad constante a  $15[m/min]$ , por lo que no hay incidencia de los momentos de inercia, por otro lado se asume una tensión controlada constante de  $18[lb]$ .

Luego realizando sumatoria de momentos en torno al eje de giro del rollo de tela se obtiene la Ecuación-6.8, en donde  $T_T$  corresponde al torque generado por la tensión de la tela que se puede expresar como  $T_T = T \cdot r_t$  en donde  $T$  es la tensión de la tela y  $r_t$  es el radio de la tela.

$$\mathcal{O} + \sum M_o = 0; \quad T_T - T_f = 0 \quad (6.8)$$

En la ecuación anterior,  $T_f$  corresponde al torque generado por el freno de disco neumático, y tal como lo expresa Budynas y Nisbett (2012) [23], se expresa según la Ecuación-6.9 para freno de disco de zapata circular.

$$\begin{aligned} T_f &= f \cdot F \cdot r_e \\ F &= \pi \cdot R^2 \cdot p_{prom} \\ r_e &= \delta \cdot e \end{aligned} \quad (6.9)$$

En donde  $f$  corresponde al coeficiente de fricción de la zapata utilizada, y siendo su material metal sintetizado;  $f = 0,3$  (según Budynas y Nisbett (2012) [23], ver Tabla C.3), y  $\delta$  se obtiene mediante la relación  $\delta = r_e/e$  (Ver Tabla C.4).

Siendo el freno de la forma que se muestra en la Figura 6.25, la ecuación que describe el comportamiento de la presión para mantener una tensión constante en  $18[lb]$  se desprende de la Ecuación-6.8, dando como resultado la Ecuación-6.11.

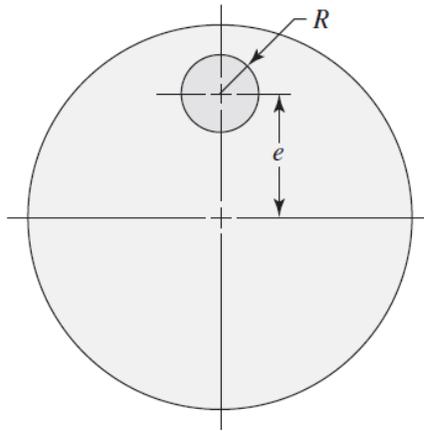


Figura 6.25: Geometría de la zapata circular de un freno de yugo o disco.

Fuente: Budynas y Nisbett (2012) [23].

$$T \cdot r_t - f \cdot \pi \cdot R^2 \cdot p_{prom} \cdot \delta \cdot e = 0 \quad (6.10)$$

$$p_{prom}(r_t) = \frac{T \cdot r_t}{f \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \delta \cdot e} \quad (6.11)$$

La ecuación anterior muestra el comportamiento de la presión en función del radio

de la tela, el cual va disminuyendo a medida que el enrollado avanza, los demás datos de la ecuación se muestran en la Tabla 6.3

Tabla 6.3: Parámetros y valores característicos del sistema analizado

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
$T$	18 [lb] 80 [N]
$f$	0.3
$R$ [mm]	35
$e$ [mm]	78
$R/e$	0.45
$\delta$	0.942

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Goodyear Chile.

Con estos valores es posible construir un gráfico que muestre cómo se comporta la presión promedio a medida que el radio disminuye, lo que se puede ver en la Figura 6.26. El gráfico se construye en función del tiempo asumiendo un comportamiento lineal de la disminución del radio en función del tiempo partiendo en un radio máximo de  $155[mm]$  hasta los  $65[mm]$ .

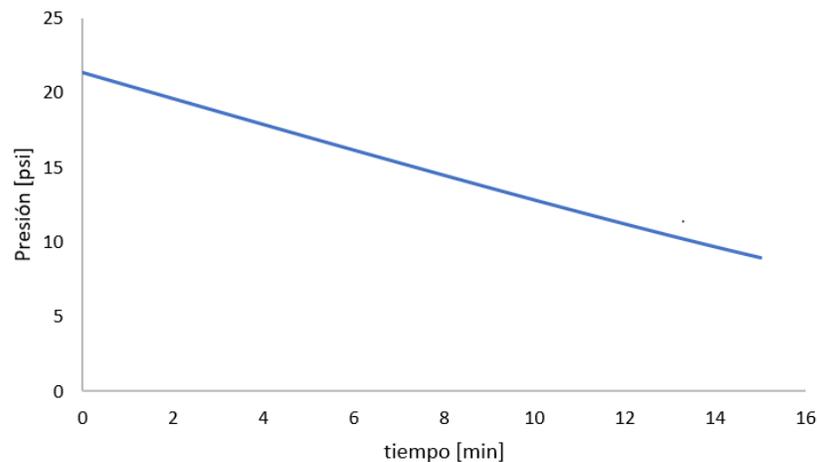


Figura 6.26: Variación de presión del freno durante el proceso en enrollado de Breaker.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver en la figura anterior, la presión parte de un valor máximo de  $21,4[psi]$ , para disminuir de manera constante hasta los  $8,9[psi]$ , punto en donde ter-

mina el enrollado, y el radio de la tela y Breaker enrollados en el Spool son máximos al termino del minuto 15.

Como se comentó en un inicio, el comportamiento teórico obtenido (considerando los supuestos iniciales), es muy similar a lo obtenido en la ST 5 (ver Figura 6.9), incluso obteniendo valores relativamente cercanos, por lo que es posible concluir que la presión de la máquina en cuestión se comporta según lo esperado.

Resumiendo, la presión tiene que partir elevada para alcanzar desde un inicio la tensión necesaria en la tela y de esta manera mantenerla constante durante todo el enrollado, luego debido a las variaciones de los radios de los rollos, la presión tiene que disminuir para que el torque ejercido por el freno de disco sea menor y se mantenga la tensión contante, de lo contrario se obtiene lo que se aprecia en la ST 4 (Ver Figura 6.8), en donde durante la primera mitad del enrollado no se logra llegar a la tensión promedio ideal, luego durante la segunda mitad la presión tiene un comportamiento más acorde con lo esperado teóricamente, periodo en el cual se tiene una tensión en promedio constante, todo este control ha de llevarlo a cavo el controlador PID.

### **Análisis falla presión**

Dada la presente falla en la capacidad de la ST 4 de alcanzar presión óptima para mantener una tensión de tela constante, se realiza un completo análisis de la máquina, comenzando por una inspección visual de la máquina y luego profundizar en ella.

Se comienza del hecho de que la planta en su objetivo de excelencia operacional, y búsqueda de la calidad, implementa en sus instalaciones la filosofía 5S, que busca el mantenimiento integro del entorno de trabajo por parte de todos, esto ayuda a identificar mas rápido posible fallas y averías.

Al realizar la inspección visual en torno a la máquina ST4, con foco en torno al sistema de control de tensión se encuentran averías en el sistema de conexión y distribución de aire en la máquina, encontrando filtraciones de aire en mangueras y acoples de las mismas dañados, que al parecer llevan tiempo en ese estado, siendo reparados en terreno con huincha aislante (como se puede ver en al Figura 6.27), esto provoca que el sistema presente pérdidas y que la presión máxima a la que pueda llegar el sistema sea por debajo de los 10[psi].

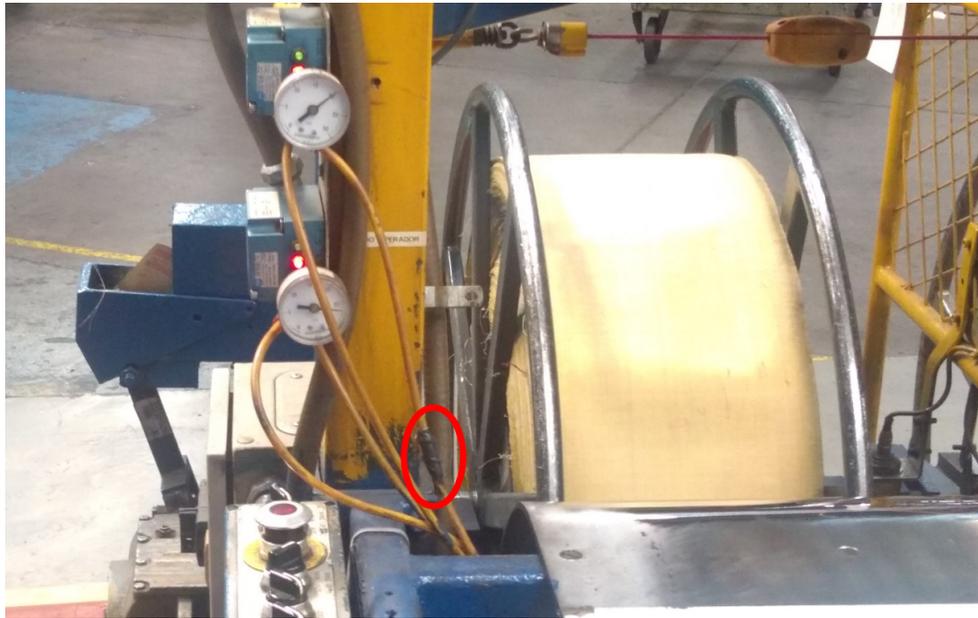


Figura 6.27: Filtración reparada con huincha aislante ST 4.

Fuente: Goodyear Chile S.A.I.C.

Es por filtraciones como esta que el sistema tiene una presión máxima baja, con la cual no se tensa lo suficiente el comienzo del enrollado, y luego cuando la presión logra generar un torque que produzca la tensión esperada, se genera una tensión mayor que al comienzo provocando deslizamientos de la tela y Breaker ya enrollados generando arrugas.

### **Historial de mantenimiento**

Por otro lado en la búsqueda de componentes y características de la máquina, se solicitan piezas a bodegas para ver su estado en no uso de estas, y se encuentran repuestos, como las pastillas de freno de los discos, que no presentan existencia en bodega, y cuya orden de compra tiene un retraso de tres meses, siendo obvia la situación de no recambio de pastillas en la máquinas afectando a su funcionamiento.

Luego profundizando en el historial de cartillas de mantenimiento preventivo realizadas que se encuentran archivadas, se encuentra registro de hace más de un año de las fugas anteriormente mencionadas. Dicho aviso no escaló como se debería para ser asignado como un trabajo de reparación. Luego, se encuentran rutas de inspección no realizadas, en general por un solo motivo sin mas explicación (“no se realiza por falta de recursos”). En este aspecto, si bien es posible dejar de lado una inspección rutinaria

por atender una falla de emergencia de algún equipo más crítico, este estado de rutas se encuentra en un 25,2 % del total de 318 rutas asignadas para la ST 4 durante el primer semestre del 2017 como se puede ver en la Tabla 6.4.

Tabla 6.4: Estado de cartillas de mantenimiento emitidas durante el primer semestre del 2017 para la Steelastic 4.

<b>Cartilla mantenimiento</b>	<b>Total</b>	
Realizada	209	65.7 %
No realizada por falta de recursos	80	25.2 %
No realizada, sin justificación	27	8.5 %
No realizada por prioridad	2	0.6 %

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Goodyear Chile.

Además se tiene un total de 109 cartillas que equivalen al 34,3 % del total de ordenes no realizadas, dentro de las cuales se encuentran inspecciones a todo el sistema neumático de la máquina.

Al consultar por mayor información sobre la no ejecución de las tareas por falta de recursos, se comenta que esto se debe en su mayoría a falta de tiempo para realizar las tareas asignadas. Por un lado, esto no afecta tan solo al nivel del cumplimiento de las tareas del área, sino que también impacta en el rendimiento de la máquina en general, dado que no se inspeccionan elementos críticos de la máquina tales como el sistema de aire del freno que genera arrugas en el interior del Breaker enrollado.

En los análisis realizados se estudió a profundidad el funcionamiento del sistema de enrollado y tensado, pero se vuelve necesario estudiar y analizar el controlador utilizado en este proceso, es por esto que en la siguiente sección se analizará en controlador PID utilizado.

#### **6.3.4. Configuración controlador PID - Cygnus-DIN**

El controlador PID de Cygnus, es un controlador diseñado específicamente para el control de tensión en rollos, independiente del material, es por esto que se usa en esta aplicación. Al ser diseñado específicamente para este uso, trae consigo configuraciones (opcionales) que van mas allá de solamente utilizar control de tensión mediante un PID para llegar a un valor de tensión estipulado durante todo el proceso de enrollado. Dichas configuraciones se pueden encontrar en el manual del controlador [24].

El rollo de Breaker generado tiene dos características principales, una gran masa (que lleva consigo una gran inercia), y un gran diámetro, ambos en la fase final del enrollado, esto genera variaciones que no están consideradas en el sistema de control actual.

En primer lugar, el tener un rollo con gran inercia afecta negativamente a la detención e inicio del sistema, por lo que al presentar detenciones en el enrollado (como se estudió en secciones anteriores), se tienen variaciones en la tensión provocadas por la inercia del Spool. Para evitar este problema, el controlador posee una configuración llamada “Compensación de inercia/aceleración”.

Luego la presencia del aumento significativo del diámetro, mantener la tensión constante durante todo el proceso, y el tipo de material utilizado, puede generar que los centro de los rollos o núcleos se arruguen dado que a la misma tensión y mayor diámetro se aumenta el torque que general la tela sobre el Spool. Es por esto que el controlador posee una configuración que regula la tensión para disminuirla gradualmente a medida que el diámetro aumenta, llamada “Tensión canónica”, en donde se selecciona el porcentaje de disminución de tensión durante el enrollado.

La última configuración opcional útil para un buen control de la tensión es el “Ajuste de la ganancia”, que regula los parámetros del control PID automáticamente según la variación del diámetro del rollo, para mantener un ajuste óptimo.

Tanto el Ajuste de ganancia como la Tensión canónica, necesitan de una lectura del diámetro del rollo, la cual se puede ingresar y configurar en el controlador CYGNUS, para esto se utiliza un sensor ultrasónico que no está actualmente instalado en ninguna de las seis máquinas Steelastic. Si bien la configuración de estas configuraciones opcionales no aseguran la desaparición completa de las arrugas, disminuiría oportunidad de generación de arrugas mediante el enrollado de un centro más apretado y un exterior mas suelto y compensaciones a las variaciones de velocidad .

### **6.3.5. Control de Frenado en HF**

Al ver el proceso de conformado de neumáticos en verde, en específico en la parte de la máquina que realiza el desenrollado de Breaker, se aprecia que en ninguna de las 24 máquinas constructoras el proceso está controlado.

El avance del Breaker por la máquina constructora dependerá de la necesidad de Breaker de la misma, cortando secciones de Breaker de aproximadamente  $1,5[m]$ . Al momento de realizar el corte, el avance se detiene durante aproximadamente un mi-

nuto (duración aproximada de la construcción de un neumático) para luego avanzar nuevamente para cortar una sección de Breaker. El desenrollado se controla de forma similar al control de enrollado de Steelastic, con dos fotoceldas (Ver Figura 6.28), que le indican cuando avanzar al motorreductor que permite el giro del rollo de tela. Este motorreductor permite solamente tres opciones de velocidad. Al ser accionado, se tira de la tela para que el Breaker avance sin restricciones, y cuando esto sucede se desenrolla desde el Spool, el cual está acoplado a un freno de disco neumático.

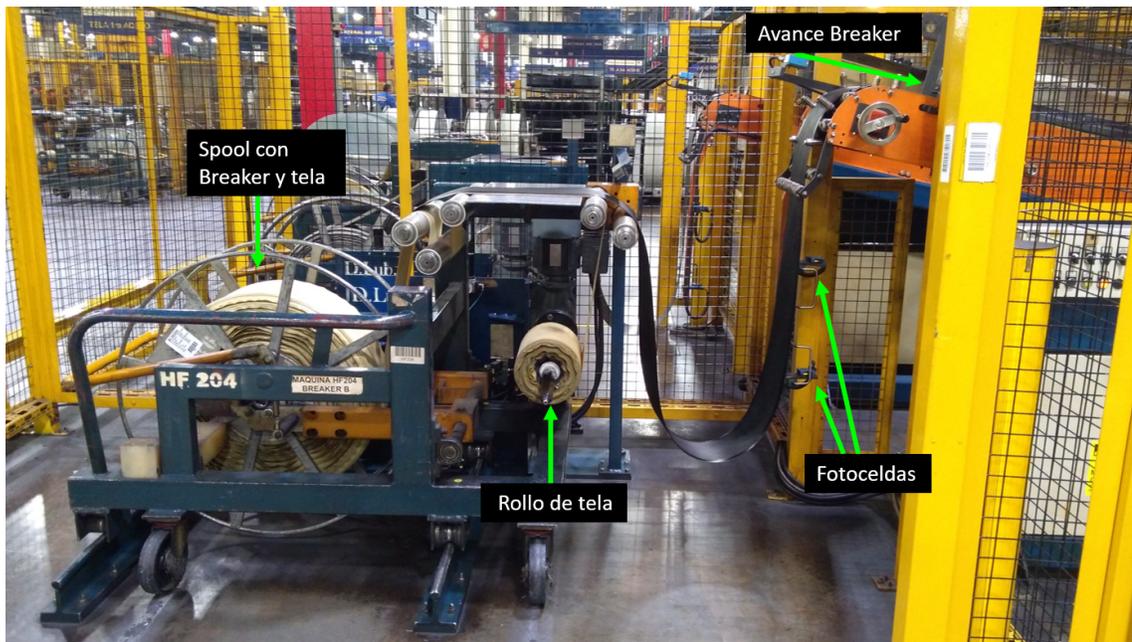


Figura 6.28: Sistema de desenrollado de Breaker en HF.

Fuente: Goodyear Chile S.A.I.C.

La presión con la que se acciona el freno no presenta ningún tipo de control, y por lo apreciado, se mantiene constante según lo necesite el operador de la máquina, variando de operario en operario, por esto se le sugiere a los operadores mantener el freno con una presión dada.

El problema radica en que si la presión es muy elevada, al comienzo no se obtendrá una tensión tan elevada, pero cuando el radio del rollo disminuye, la tensión aumentará apretando lo que quede de Breaker produciendo arrugas, la probabilidad de ocurrencia de este fenómeno se eleva considerando lo estudiado en la sección 6.3.3. En caso de tener presión que lleve a la tensión por sobre el valor al cual se enrolló, provocará a su vez que desde un comienzo del desenrollado se tenga un centro arrugado.

## Freno HF

El freno utilizado es un freno de disco simple de accionamiento neumático Boschert modelo ESB 30-40 (características generales se puede encontrar en anexos Figura C.2 [25]), con un torque de frenado máximo de  $40[Nm]$  a  $5[bar]$ .

Con los datos del freno y realizando un calculo similar al realizado en la sección 6.3.2 para el torque generado por el freno, es posible calcular el torque que genera el freno a diferentes presiones (ver en anexos Tabla C.5), esto considerando el radio equivalente  $r_e$  (Ecuación 6.12) como lo describe Budynas y Nisbett (2012) [23], para el caso de freno de presión uniforme.

$$r_e = \frac{2(r_o^3 - r_i^3)}{3(r_o^2 - r_i^2)} \quad (6.12)$$

Luego dado que el sistema trabaja a velocidades muy bajas, se asume un estado de trabajo estacionario, en donde hay incidencia de la fuerza de inercia del sistema, la ecuación de momento en torno al eje de giro del Spool pasa a ser una igualdad entre el torque generado por el freno y el producto entre la tensión de la tela y el radio del Spool. Así es posible calcular la tensión de la tela durante todo el proceso, y a diferentes presiones de trabajo. En especial en la Figura 6.29, se muestra la tensión de la tela para un enrollado en tres casos con distintos radios (radio inicial =  $0,45[m]$ , radio medio =  $0,30[m]$ , radio inicial =  $0,15[m]$ ), y a diferentes presiones.

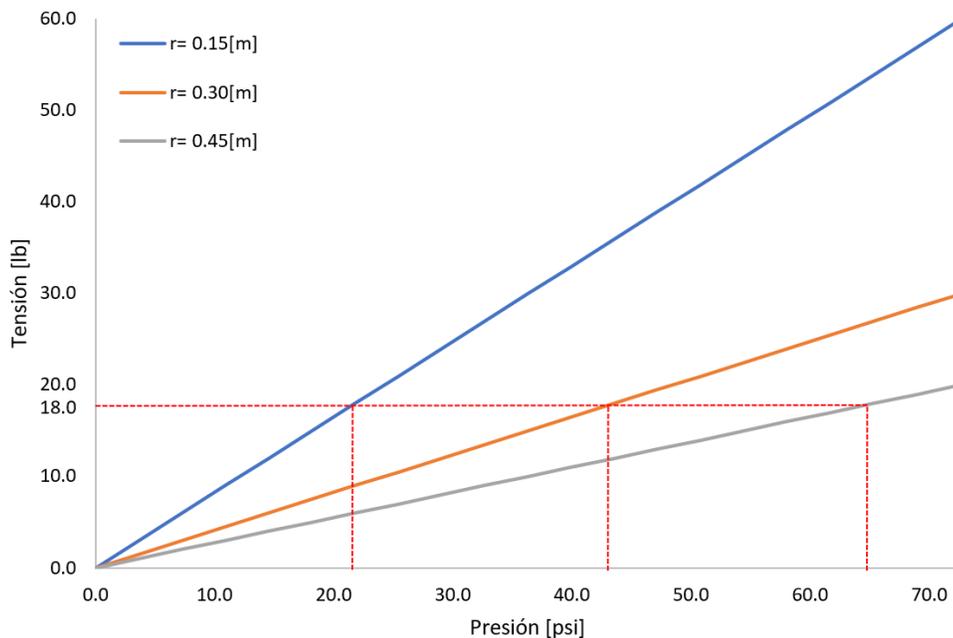


Figura 6.29: Tensión de la tela durante el desenrollado del Breaker en distintos momentos, a distintas presiones de trabajo.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver en la figura anterior, para lograr una tensión de la tela al inicio de  $18[lb]$  (que es el valor al que se tensa la tela al enrollarla) se necesita lograr una presión inicial de  $65,27[psi]$ , y como esta presión no se controla durante el proceso, la tensión aumentaría hasta las  $54[lb]$  aproximadamente al disminuir el radio, en donde es muy probable que se generen arrugas o la tela se corte, por otro lado en la figura se señala que es posible mantener la tensión constante en  $18[lb]$  iniciando el proceso con la tensión mencionada y disminuirla alrededor de  $22[psi]$ . Esto es posible de realizar con un controlador que tome registro del radio del Spool en todo momento y mediante un control PLC indicar la presión de frenado correcta.

Luego, como el desenrollado no tiene que presentar una tensión constante ni igual a la de enrollado, es posible controlar el freno a presiones mas bajas, o hasta mantener la presión constante por ejemplo a  $14,5[psi]$  ( $1[bar]$ ), con lo que se obtendría una tensión máxima de  $12[lb]$  y una mínima de  $4[lb]$ .

### Elementos de la máquina

Al realizar una inspección de los componentes de la máquina, tanto piezas mecánicas como instrumentos de medición, se encuentran en distintas máquinas manómetros

con regulador para ajustar la presión de freno desconectados o defectuosos, como se muestra en la Figura 6.30(a), lo que provoca que el Spool lleno gire con una gran inercia al no estar controlado y dañe componentes mecánicos como se muestra en la Figura 6.30(b).

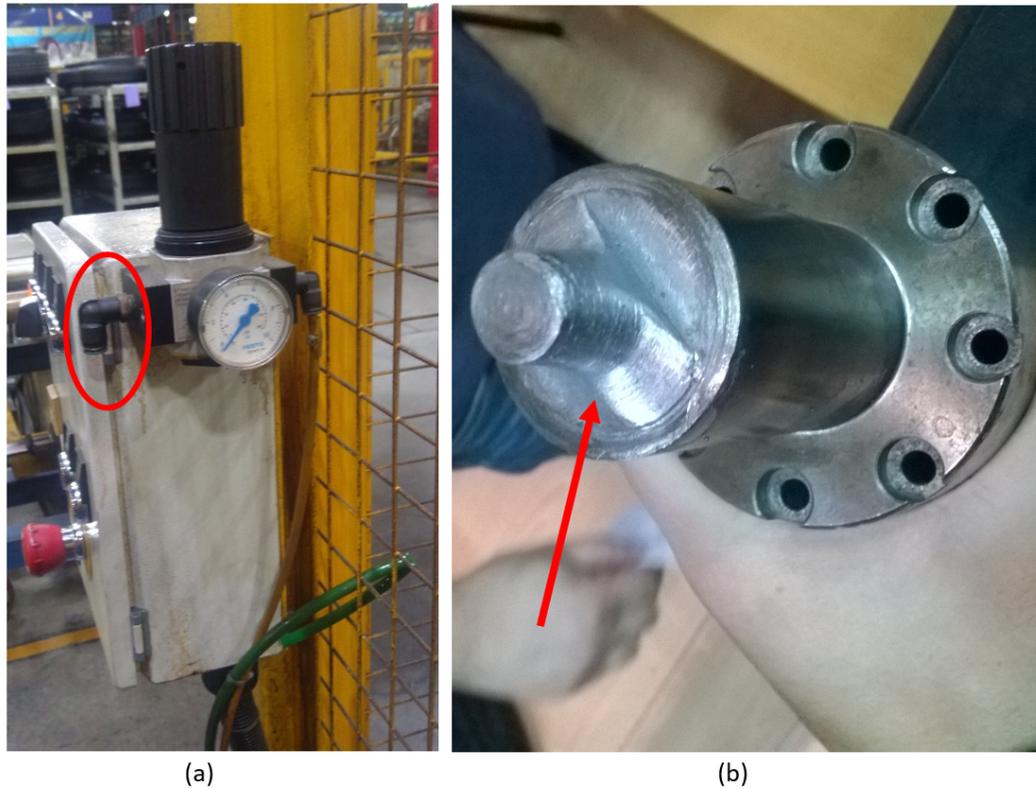


Figura 6.30: (a) Manómetro desconectado en HF; (b) Acople entre Spool y freno desgastado.

Fuente: Goodyear Chile S.A.I.C.

Al funcionar de forma aparentemente correcta la máquina, operadores no realizan el aviso de la avería del manómetro o de otro componente, y esto genera que piezas mecánicas se dañen a tal punto aunque se tenga un control de la presión de frenado, el acople entre el Spool y el freno no se realice, siendo este completamente inútil.

### 6.3.6. Contramedidas

#### Control de velocidad en enrollado

Del estudio de la sección 6.3.2, se presenta la contramedida para atacar la variabilidad en el proceso de enrollado de Breaker en Steelastic de desarrollar un sistema de control de velocidad que se regule mediante la velocidad de los rodillos enfriadores.

Como se comentó, la regulación de velocidad se realiza mediante la lectura de tres fotoceldas que indican la velocidad de enrollado al Spool mediante un variador de fre-

cuencia, pero estas tres velocidades son las mismas independiente de la velocidad del resto de la máquina, por lo que ante un aumento de velocidad, generaría una mayor frecuencia de detención. A continuación se presentan dos opciones para lograr dicha regulación de velocidad.

### Fotoceldas y PLC:

La primera opción es utilizar uno de los controladores PLC que controlan el resto de la máquina, y en el crear un nuevo bloque de programación que tome la señal de la velocidad de avance de los rodillos enfriadores (la mejor señal utilizable) y la posición del Breaker en el loop antes de ser enrollado.

El sistema es similar al actual, en base a tres posiciones de loop, pero dos fuentes adicionales de información para realizar el control, como se muestra en la Figura 6.31. La primera fuente adicional de información es la lectura del radio del Spool, dado que para mantener una velocidad de enrollado constante, las RPM del motor tienen que disminuir proporcionalmente con el aumento del radio. Luego para lograr un enrollado constante, la velocidad máxima de enrollado no tiene que ser mayor que la de avance de la máquina. Es por esto que se necesita de la velocidad de avance de la línea, la cual se puede obtener directamente de la velocidad de los rodillos enfriadores, que es la que regula el operador, o por otro lado, obteniendo el dato de cortes por minutos que se realizan en la mesa de corte, y multiplicarlos por el largo estándar de corte.

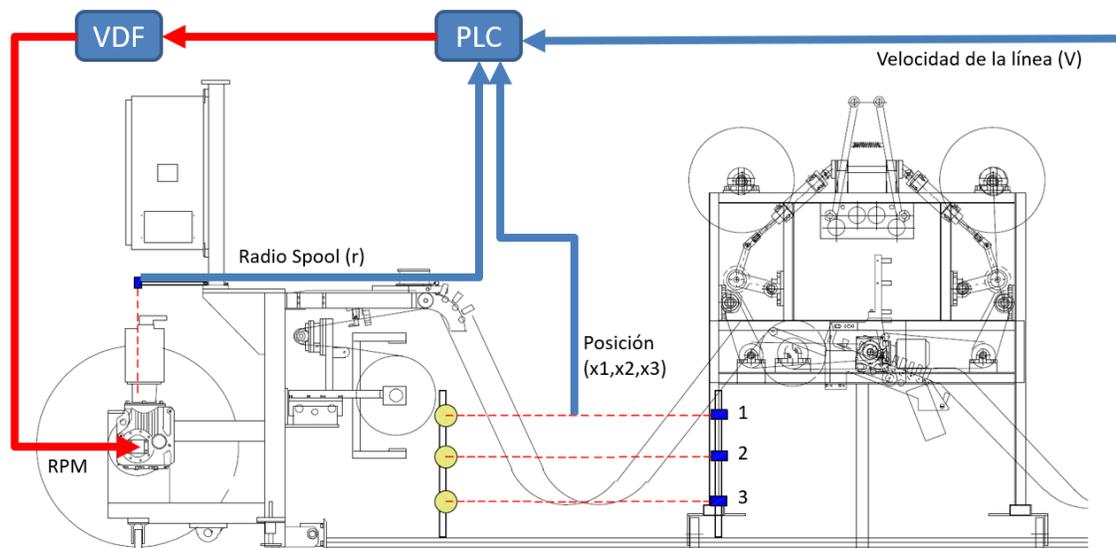


Figura 6.31: Esquema de sistema de control mediante PLC y fotoceldas.

Fuente: Elaboración propia

La programación del PLC se tendría que hacer en base a condiciones del sistema, que estarán en función del radio del Spool y de la posición del loop que indiquen las fotoceldas, así se proponen cinco estados (ver Tabla 6.5), el primero (E0) se acciona cuando no se encuentra material, luego E1 para un avance lento hasta alcanzar una posición de Breaker óptima en E2 en donde se tiene una velocidad de avance igual a la velocidad de la línea, luego E3 se acciona cuando aumenta ligeramente la cantidad de material para volver a la normalidad, luego E4 es un caso excepcional en el que el operador aumenta abruptamente la velocidad de giro para solucionar una acumulación de material, y por último PM que es una parada de emergencia para el operador.

Tabla 6.5: Condiciones para la configuración del PLC.

<b>Estados</b>	<b>X1</b>	<b>X2</b>	<b>X3</b>	<b>RPM</b>
<b>E0</b>	ON	ON	ON	0 GIRO
<b>E1</b>	OFF	ON	ON	0.9 GIRO
<b>E2</b>	OFF	OFF	ON	GIRO
<b>E3</b>	OFF	OFF	OFF	1.1 GIRO
<b>E4</b>	Exceso de material			2 GIRO
<b>PM</b>	Anomalía			0 GIRO

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6.5, el valor *GIRO* corresponde a la velocidad de giro que informa el PLC al variador de frecuencia a la cual tiene que girar el Spool por medio del motorreductor, se propone que esta velocidad tendría que obedecer a la relación presente en la Ecuación-6.13.

$$GIRO = \frac{V_l}{2\pi r} [rpm] \quad (6.13)$$

En donde  $V_l$  corresponde a la velocidad de la línea en metros por minuto, y  $r$  al radio del enrollado o del spool en metros.

La ventaja de esta opción es su bajo costo de implementación dado que necesita solamente de un sensor ultrasónico para conectar a un PLC ya existente en la ST4 pues, los demás recursos ya se están utilizando. El inconveniente radica en que no todas la ST presentan un PLC que permita la modificación, por lo para replicar la mejora se tienen que actualizar los equipos.

### Lectura continua y PLC

La segunda opción logra un control de velocidad de forma directa, prácticamente instantánea, y proporcional a la velocidad de la línea mediante una forma similar a la descrita anteriormente, pero esta vez se cambian las fotoceldas por un inclinómetro, o en su defecto un sensor ultrasónico, que informe la posición del Breaker en el loop en todo momento y así regular la velocidad de forma proporcional a la posición que indique y el radio del Breaker. En la Figura 6.32 se muestra un esquema del sistema de control propuesto.

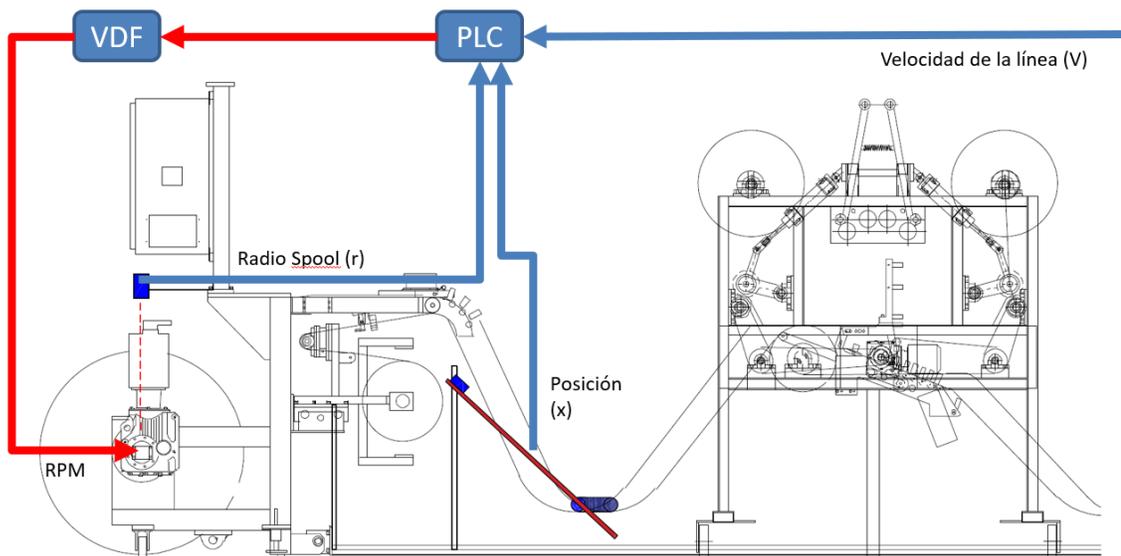


Figura 6.32: Esquema de sistema de control mediante PLC y lectura continua.

Fuente: Goodyear Chile S.A.I.C.

Este sistema de control presenta la ventaja de ser más preciso a la hora de asignar un valor de velocidad, con lo que prácticamente no se tendrían grandes variaciones de velocidad, pero tiene la desventaja de que su implementación es más costosa porque requiere implementar un nuevo sistema de lectura de posición del loop.

### Control de velocidad en aplicador de huincha

Para un total control de la velocidad de enrollado, es necesario controlar también la velocidad del aplicador de huincha. La propuesta para regular la velocidad de aplicador de huincha es prácticamente la misma, tomar la velocidad de la línea y posición del loop con las fotoceldas, para indicarle al VDF de rodillo de avance por medio de un PLC a qué velocidad tiene que girar, en esta ocasión, no es necesaria la lectura de radio, dado

que se mantiene constante, y no se realiza un enrollado. En caso de instalar la propuesta de lectura continua, en el aplicador de huincha es lo mismo, y nuevamente sin lectura de radio.

Se vuelve necesario realizar el mismo control de velocidad en el aplicador de huincha, para así evitar casi completamente las variaciones de velocidad de alimentación de Breaker y alterar las tensiones al enrollar este.

### **Configuraciones opcionales PID-Cygnus**

La selección de este controlador es la adecuada para el tipo de proceso que se tienen, pero no se están aprovechando las cualidades que este tiene como lo son las configuraciones opcionales que trae consigo. Se sugiere configurarlas, junto con la instalación de un sensor de radio de Spool para lograr la configuración completa, estas opciones son:

- Compensación de inercia/aceleración.
- Tensión canónica.
- Ajuste de ganancia.

Algunas de estas configuraciones necesitan de un sensor ultrasonico para medir el radio del enrollado, pero es un dispositivo que se necesita además para el control de velocidad, por lo que no tendría que ser implementación extra al sistema, esto junto con el manual de configuración de las opciones que se entregan, hacen que esta contra medida sea de fácil implementación (ver anexos Figuras C.3,C.4,C.5, y C.6).

### **Mantenimiento ST y HF:**

Como se pudo ver en la sección 6.3.3, para mantener una tensión constante de enrollado es fundamental disponer de un sistema en óptimas condiciones, de lo contrario no se logra la presión necesaria en el inicio del enrollado obteniendo un centro suelto que generará arrugas. Es por esto que se propone una inspección completa a todas las máquinas Steelastic con el fin de encontrar fallas, filtraciones o reparaciones como las de la Figura 6.27 con el fin de atenderlas inmediatamente. También sugiere una inspección minuciosa de las cartillas de mantenimiento en búsqueda de fallas mencionadas y no consideradas en las tareas de mantenimiento, junto con un análisis del procesamiento

de avisos de fallas, dado que al surgir el aviso, este no es planificado. Estas acciones se replican tanto a ST como HF, dado que en ambos casos se encuentran instrumentos de medición de variables importantes que están defectuosos o fuera de servicio.

En el ámbito de las cartillas de mantenimiento, se sugiere implementar mas procedimientos estandarizados a la hora de realizar tareas como la calibración del controlado PID (ver procedimiento sugerido en anexos, Figura C.7).

### Control de desenrollado en HF

Como se comentó en la sección 6.3.5, no se cuenta con un control de desenrollado de Breaker, dada la ausencia de un sistema que regule el proceso, junto con elementos mecánicos defectuosos que impiden el correcto funcionamiento del sistema. Por ende la propuesta de control para el sistema de frenado es como se muestra en la Figura 6.33, en donde por medio de un sensor ultrasónico, se le informe al PLC el radio en tiempo real del rollo de Breaker, y este pueda indicar al freno la presión óptima de frenado para no generar alzas de tensión en la tela.

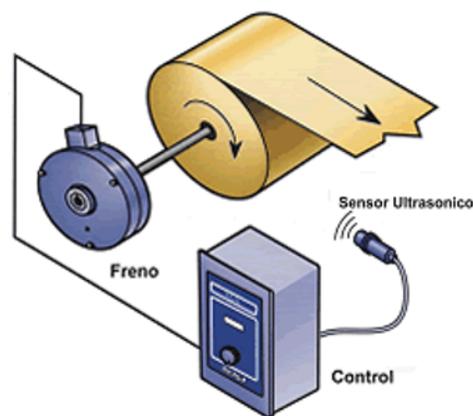


Figura 6.33: Esquema de sistema de control de frenado en HF.

Fuente: Goodyear Chile S.A.I.C.

En resumen el control y sistema es muy parecido a como funciona en control de tensión de la tela en Steelastic, esta vez cambiando el controlador PID por un controlador PLC.

Idealmente la presión al inicio del desenrollado ha de ser lo suficientemente alta como para que el Spool lleno no gire sin control, pero lo suficientemente baja para que la tensión no supere las 18[lb] a las que fue enrollado, luego la presión de frenado disminuirá proporcionalmente al radio del Spool según la lectura del sensor que informará al PLC.

Dentro de las 24 máquinas constructoras se tiene una (en específico la HF102), la cual dispone de los instrumentos y conexiones necesarias para realizar la configuración del sistema de control de freno, pero por falta de planificación y de un programador, no se ha realizado la programación del PLC, por lo que se propone realizar la programación de este y estudiar su comportamiento en el mediano plazo, para replicar al resto de las máquinas constructoras.

En el corto plazo se propone estandarizar una presión de desenrollado fija que evite tensiones altas al inicio y giros descontrolados durante el proceso. La presión propuesta para el freno es de 14,5[psi](1[bar]), para así obtener una tensión máxima de 12[lb] y una mínima de 4[lb], dado que no es necesario mantener una tensión constante de la tela.

### **Sistema de medición y detección de fallas**

En la sección 6.3.1, se vio que en Steelastic no se encuentran irregularidades en la entrada de materiales, dado que estos vienen de procesos anteriores en donde se ha corroborado la calidad de los materiales evitando retrasos, esto no pasa con el Breaker que entra a las máquinas constructoras.

Dado que la arruga se produce por condiciones generadas en Steelastic (variaciones de tensión, más centro de rollo no tensados) junto con fines de enrollado y desenrollados en HF a elevadas tensiones se vuelve necesario que los Spool con Beaker enrollado no tengan las condiciones para que se genere arruga en su interior, es por esto que se propone implementar un sistema de medición de tensión durante el enrollado que avise y agregue al informe al termino del proceso si el Spool tiene o no un centro enrollado a una tensión igual o mayor a la de su periferia, esto con el fin de detectar la condición que origina la falla antes de que entre a una máquina constructora generando tiempos muertos y desperdicio de material, pudiendo realizar nuevamente el proceso de enrollado del Breaker en el Spool detectado.

## 6.4. Mejorar

Para implementar las mejoras de forma correcta, es necesario priorizar las contramedidas explicadas en el capítulo anterior, para esto se utiliza una matriz de priorización idéntica a la utilizada por Goodyear Chile S.A.I.C. cuando desarrollan sus proyectos de mejoramiento [3].

### 6.4.1. Priorización de acciones de mejora

El orden obtenido mediante la matriz de priorización se muestra en la Tabla 6.6 (ver tabla completa en anexos Tabla D.1).

Tabla 6.6: Priorización de contramedidas para eliminar la arruga de Breaker.

Priorización	Acción
1	Estandarización de presión de frenado en todas las máquinas HF para relativo control de frenado.
2	Reparar manómetros y cambiar mangueras de aire dañadas en máquina ST 4.
3	Calibrar configuraciones opcionales en controlador PID por medio de procedimientos entregados.
4	Inspección completa de Steelastic y Construcción HF en búsqueda de fallas y planificar su reparación.
4	Sistema de control de velocidad mediante lectura de radio, posición de Breaker y velocidad de la línea.
5	Configuración y prueba de control de freno mediante PLC en HF 102.
6	Sistema de detección de condición de Spool para generación de arruga a la salida de ST.
7	Análisis de procesamiento de avisos en cartillas de mantenimiento y aviso de averías en máquinas en ST y HF.
8	Estandarización de procesos de calibración, y nuevo procedimiento estándar para la calibración de las nuevas configuraciones del controlador PID.

Fuente: Elaboración propia.

Se utiliza esta matriz por considerar factores claves en su construcción, como el impacto que genera, la dificultad de implementación, y a que nivel se realiza la acción.

La priorización se obtiene al ordenar de forma descendente el puntaje obtenido por cada una de las acciones de mejora, asignando valores del 1 al 6 para el nivel de realización de la acción, y del 1 al 3 tanto para dificultad e impacto y calculando el puntaje mediante el producto de estos tres factores.

Así, la primera acción corresponde a la estandarización de la presión de frenado en HF a 1[bar], contramedida que no lleva consigo una gran inversión de tiempo y su impacto podría ser muy significativo en la disminución de arrugas de Breaker, es por esto que se considera una acción “just do it”, al igual que la segunda acción. Luego en tercer lugar se prioriza una acción que podría llevar mas tiempo de ejecución, pero su impacto es lo suficientemente grande como para estar en esta posición.

#### **6.4.2. Plan de acción**

Con la acciones ya priorizadas, es necesario realizar un plan de acción, el cual nuevamente se realiza según la metodología utilizada por Goodyear Chile [3], en donde se informa para cada una de las acciones quien es responsable de llevarla a cabo, cuándo realizar la acción (entregando plazos), junto con información relevante para la acción. Dicho plan se encuentra en anexos Tabla D.2.

#### **6.4.3. Implementación de mejoras potenciales**

Expuesta la priorización de las contramedidas se decide realizar la implementación de ellas según el orden propuesto en el corto plazo, obteniendo los siguientes resultados:

##### **1.- Estandarización de presión de frenado en todas las máquinas HF para relativo control de frenado.**

Se logra la estandarización de la presión de frenado a 1[bar], realizando reuniones con los operadores de todos los turnos de todas las máquinas para informarles la importancia de no modificar este valor. Se da la posibilidad de modificar la presión previo aviso para estudiar el comportamiento ante una variación de la presión, esta modificación ha de ser debidamente justificada y notificada. Además se recomienda fijar en todas las máquinas mantener un valor constante de velocidad de desenrollado, configurando el motorreductor a la velocidad mínima. En todas las máquinas se dispone de un

informativo como el que te muestra en la Figura 6.34.

INFORMATIVO DE CALIDAD      ENERO/2018

**BOLETIN DE CALIDAD**

**DISMINUCIÓN DE FRICTION ACERO**

PARA CONTINUAR DISMINUYENDO EL FRICTION DE ACERO SE SOLICITA MANTENER LA PRESIÓN DE FRENO EN 1[BAR] Y LA VELOCIDAD 1 DE DESENROLLADO. **NO SE DEBE MODIFICAR**

EN CASO DE NECESITAR MODIFICAR PRESIÓN, DAR AVISO SIEMPRE AL MONITOR DE TURNO.

NOTA: ESTUDIOS REALIZADO EN ANÁLISIS DE FALLA DE ARRUGA, DEMUESTRAN QUE A MAYOR PRESION DE FRENO SE GENERA UNA MAYOR TENSIÓN AL FINAL DE SPOOL Y POR CONSECUENCIA EL PAÑO COMIENZA A EXTRANGULAR EL MATERIAL, FINALMENTE OBTENIENDO ARRUGA DE BREAKER.



Figura 6.34: Informativo dispuesto en cada una de las máquinas constructoras.

Fuente: Goodyear Chile S.A.I.C.

## 2.- Reparar manómetros y cambiar mangueras de aire dañadas en máquina ST 4.

El ideal de esta propuesta es comenzar con la ST 4, para posteriormente, replicar la acción al resto de las máquinas.

Se realiza un cambio completo de mangueras de aire en la ST4, procurando no emplear mangueras extremadamente largas como para que interfieran en otros sistemas, ni cortas como para que queden tirantes, luego se realizan mediciones del comportamiento general de la presión y tensión del sistema para comparar con los gráficos obtenidos

en un inicio (ver Figura 6.8). En la Figura 6.35, se puede apreciar el nuevo comportamiento de la máquina.

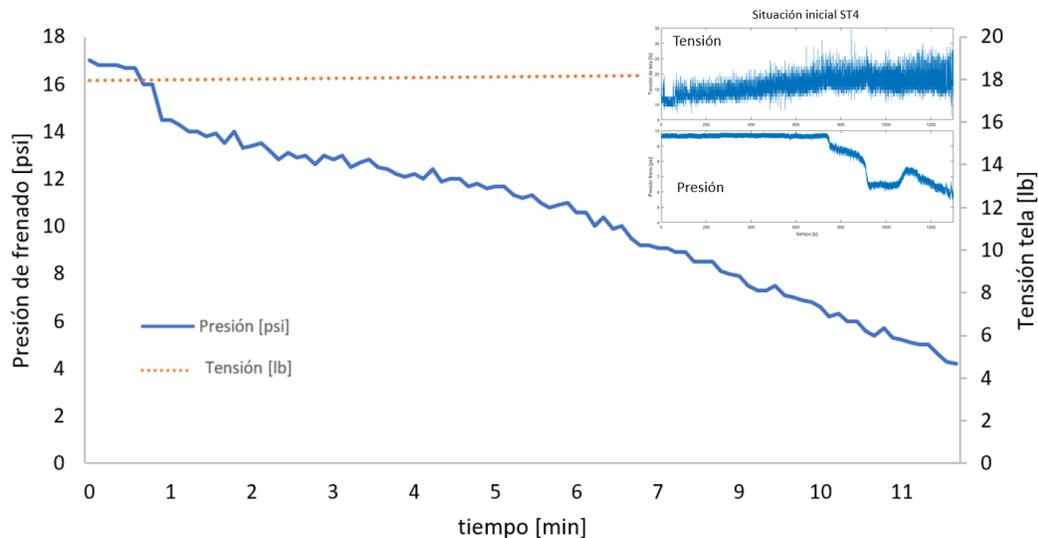


Figura 6.35: Comportamiento general de tensión y presión en ST4 después del cambio de mangueras.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Figura 6.35, después del cambio de mangueras y reparaciones menores de las filtraciones de aire, se obtiene un comportamiento ideal de la máquina, en donde la presión logra llegar a un valor cercano a los 18[psi], para luego disminuir manteniendo la tensión prácticamente constante durante el enrollado.

### 3.- Calibrar configuraciones opcionales en controlador PID por medio de procedimientos entregados.

Se desarrolló un manual para la calibración de las configuraciones opcionales del controlador PID, el cual fue entregado. Aun se está a la espera de la implementación de esta mejora.

### 4.- Inspección completa de Steelastic y Contrucción HF en búsqueda de fallas y planificar su reparación.

Se realizó una primera inspección visual en las máquinas Steelastic, en donde se encontraron fallas en las seis máquinas, estos se mencionan en la Tabla D.3 (ver anexos).

Se recomienda seguir con rutinas de inspección teniendo conversaciones recurrentes con operadores y mantenedores de todos los turnos en búsqueda de fallas no detectadas.

**5.- Sistema de control de velocidad mediante lectura de radio, posición de Breaker y velocidad de la línea.**

Se programó y asignó a las personas correspondientes la ejecución de esta actividad, pero se encuentran inconvenientes en la instalación de sensores ultrasónicos.

**6.- Configuración y prueba de control de freno mediante PLC en HF 102.**

Las tareas se encuentran asignadas, pero se presencia poco interés por parte del jefe de operaciones y mantenimiento para disponer de la máquina para realizar prueba de implementación del control de frenado mediante PLC.

**7.- Sistema de detección de condición de Spool para generación de arruga a la salida de ST.**

Tarea aun no ejecutada, en proceso de estudio para ejecución.

**8.- Análisis de procesamiento de avisos en cartillas de mantenimiento y aviso de averías en máquinas en ST y HF.**

Tarea aun no ejecutada, en proceso de estudio para ejecución.

**9.- Estandarización de procesos de calibración, y nuevo procedimiento estándar para la calibración de las nuevas configuraciones del controlador PID.**

Se entrega procedimiento estándar para la calibración de la tensión de referencia del controlador PID, y se esta a la espera de la finalización de la actividad tres, para desarrollar en caso de ser necesario mas procedimientos estándar de calibración.

## **6.5. Controlar**

Para sostener las mejoras en el largo plazo y obtener resultados que generen beneficios, es necesario implementar planes de control para velar por el cumplimiento de la calidad, para esto se desarrollan los siguientes planes.

### **6.5.1. Plan de sostenimiento**

Este plan está dirigido a las acciones de mejora de fácil implementación que han de ser sostenidas en caso de obtener buenos resultados, como la estandarización de la presión de frenado de HF. En los manómetros correspondientes se implementará una solución pokajoke, instalando válvulas de regulación con bloqueo para evitar manipulaciones no avisadas. Como se mencionó anteriormente, es factible modificar la presión de frenado, pero no sin antes generar un aviso.

En caso de obtener un enrollado controlado mediante las configuraciones opcionales del controlador PID, se ha de sostener en el tiempo, para esto, el mantenedor a cargo de realizar la calibración del valor de referencia de tensión, será el encargado de revisar en el controlador PID el correcto funcionamiento de esas configuraciones. Esta actividad será complementada en la orden de trabajo que indique la calibración del controlador.

### **6.5.2. Plan de seguimiento**

Se implementará un plan de seguimiento en las dos áreas involucradas, tanto en las máquinas constructoras críticas como en Steelastic.

#### **Plan de seguimiento HF**

Este plan está dirigido al seguimiento y control de la generación de arrugas en HF, que es el lugar en donde se observa la arruga, se ha de informar a los operadores de todos los turnos de las máquinas constructoras más críticas (comentadas al inicio) del debido llenado de una planilla de aviso de arrugas, de la cual se hará un registro digital para contabilizar la generación de arruga, en esta planilla se ha de identificar la sección del enrollado que presenta arrugas y cualquier información adicional importante. La planilla es similar a la ya utilizada para la etapa de definición del problema, se ha de recoger dicha planilla semanalmente.

Por medio de los resultados obtenidos de estos registros, será posible identificar en primer lugar si el control y monitoreo de condiciones a las salida de ST está cumpliendo su rol de impedir que un Breaker mal enrollado entre a HF, o si este está trabajando según lo esperado, y determinar cuál de las acciones de mejora aplicada a HF no se está cumpliendo.

Luego se debe estudiar nuevamente la criticidad de las máquinas HF, dado que la criticidad de estas puede variar al aplicar las mejoras propuestas.

### **Plan de seguimiento ST**

Con la implementación de la acción del sistema de detección de condición para el seguimiento de la generación de arrugas en la salida de ST, se puede llevar un registro en el área de recuperado de Breaker, para determinar cuántos Spool mal enrollados se generan en un determinado tiempo, se implementará una planilla de registro, la cual será llenada por los operadores de esta área. PARA ello, se realizará una capacitación con el fin de sensibilizarlos en cuanto a la importancia de este control para disminuir la generación de desperdicios. En esta planilla se ha de registrar de que máquina proviene el Breaker mal enrollado por distintas causas y qué operador lo produjo.

Con la implementación de este control se ayudará a determinar el correcto funcionamiento de las acciones de mejora implementadas en ST, y tomar las medidas necesarias en caso de no cumplir con el funcionamiento esperado, por ejemplo en caso de detectar centros no suficientemente tensados con respecto a la periferia del enrollado, se ha de revisar la correcta presión de frenado y revisar las conexiones de las mangueras.

# Capítulo 7

## Conclusiones

La aplicación de la metodología DMAIC necesita gran colaboración y apoyo de todas las áreas que se vean afectadas por el problema que se ataca, junto con una cooperación por parte de la alta dirección para apoyar la implementación de las mejoras obtenidas en el proyecto, y ayudar a la destinación de recursos para el desarrollo del estudio. En esta línea, se vuelve necesario que todos los involucrados en el proceso estén correctamente capacitados, e informados sobre el funcionamiento de la metodología para así desarrollar todas las etapas de esta, sin pasar por alto alguna de ellas, o dar por sentado alguna posible causa.

En la primera etapa del proceso (Medir), se logra identificar y definir el problema, determinando que en el sector de Construcción HF producto de componentes irregulares, la Arruga de Breaker genera detenciones que ascienden a  $3,4[\text{días/mes}]$ , en tan solo una de las 24 máquinas constructoras, con una producción perdida de  $4133[\text{neumáticos/mes}]$ , y  $990[\text{kg/mes}]$ , y además se identifican las áreas de la empresa afectadas. Este problema además va en contra de la política de la empresa de disminuir los residuos (siendo el Breaker uno de los pocos componentes no reciclables en el proceso), junto con un impacto al cliente afectando a la seguridad del usuario del neumático. En esta etapa fue fundamental el buen sistema de registro de detenciones y fallas que poseen las máquinas HF.

Dado que de la primera etapa se desprende que dos sectores son los que influyen en la generación de arruga, en primer lugar se identifica en Steelastic la máquina crítica que origina la condición inicial para la generación de arruga, y se realiza una medición completa del proceso de enrollado de Beaker para comparar con la máquina modelo del área. También en HF se estudia el proceso de desenrollado, y se identifican las

máquinas en donde se encuentra la mayor generación de arrugas, siendo 5, en donde se focalizó el estudio.

El análisis de causa raíz comenzó con un diagrama de Ishikawa, paso que fue fundamental en el desarrollo de la metodología, en esta etapa se solicitó la ayuda de operadores, mantenedores, y analistas de ambas áreas, en donde fue fundamental no dejar ninguna posible causa fuera sin antes analizar. Luego mediante análisis en profundidad de los fenómenos en cuestión, se determinaron las posibles causas, con las que se generaron las contramedidas.

Se logró priorizar las contramedidas utilizando una matriz que pondera estas según, tipo de medida, impacto, y dificultad, obteniendo las nueve contramedidas priorizadas.

Cabe destacar que de la priorización obtenida, las primeras acciones a realizar, fueron aquellas que eran mas simples de implementar generaron un gran impacto, encontrando acciones que se pueden ejecutar durante tan solo un día, pero lo importante de estas acciones es que se sostengan en el tiempo (como la estandarización de la presión de frenado en HF).

Luego se generó un plan de mejora en la etapa Mejorar, en donde se indicaron las fechas y responsables a cargo de la acción.

En la etapa final de la metodología (Controlar) se entregaron planes de sostenimiento y seguimiento para mantener la mejora, y lograr una clara disminución de la generación de Arruga de Breaker.

La metodología DMAIC es una potente herramienta para la resolución de problemas dado que entrega una estructura y pasos claros, los cuales al seguir de la manera correcta se pueden obtener buenos resultados. Pero exige estudio y compromiso por parte de todo el equipo involucrado, lo que involucra disponer de tiempo de capacitación y de reuniones para el proyecto. En especial en esta empresa, al involucrar a trabajadores de distintas áreas, se encuentran rivalidades que son en ocasiones difíciles de sortear, en donde el líder del equipo tiene que saber manejar la situación, como por ejemplo, equipo de Steelastic culpó al equipo de Contrucción HF por el mal uso del Breaker, y por su lado en HF indican que el Breaker proviene arrugado desde el proceso anterior, siendo que al final la arruga se produce por condiciones que se generan en Steelastic, y estas se agravan por el descontrol del proceso de desenrollado. También se requiere que el líder del proyecto sea un motivador que inste a los integrantes del equipo al cumplimiento de sus tareas.

Asimismo se presenta el conflicto típico entre mantenimiento y operaciones, en donde se culpan unos a otros del mal funcionamiento de los equipos y el no logro

de los objetivos. Esta rivalidad genera dificultades a la hora de buscar soluciones en conjunto, por lo que es imperativo una colaboración de ambas partes.

El alcance de este trabajo no abarca la obtención de resultados al aplicar las mejoras presentadas, por el tiempo por parte de la empresa que esto podría conllevar, pero se alcanza a registrar una notoria mejora en el proceso de enrollado de Breaker en la máquina Steelastic 4, esto gracias a la aplicación de una mejora de fácil implementación, por lo que se espera que esta mejora se replique en las demás máquinas.

Por último, acotar que las acciones de mejora propuestas, junto con los planes de seguimiento y sostenibilidad, ayudarán a mantener el problema controlado, ayudando a disminuir la generación de Arrugas de Breaker, y en caso de volver encontrar arrugas, será fácil identificar por qué se generan. De esta forma se recomienda tener un seguimiento y registro de la presencia de estas arrugas, para posteriormente volver a aplicar la metodología DMAIC, pero con algún grado de calidad Six Sigma.

# Bibliografía

- [1] Ministerio del medio ambiente. Ley 20.920. Santiago, Chile, 2016.
- [2] Gutiérrez Pulido, Humberto Vara Salazar, et al. Control estadístico de calidad y seis sigma. McGraw-Hill, 2004.
- [3] Inc. Milliken Desingn. Manual de campo, proyecto de mejora enfocada- Metodología DMAIC. 2013.
- [4] Hitoshi Kume. Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad. Editorial Norma, 1992.
- [5] Inc Minitab. Minitab release 17: statistical software for windows. Minitab Inc, USA, 2014.
- [6] Minitab Inc. Revisión general de diagrama de pareto. URL: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/quality-tools/how-to/pareto-chart/before-you-start/overview/>, 2017. Accedido 16-04-2018.
- [7] Robert Damelio. The basics of process mapping. CRC Press, 2011.
- [8] Minitab Inc. ¿qué es un estudio de linealidad y sesgo del sistema de medición? URL: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/supporting-topics/other-gage-studies-and-measures/what-is-a-gage-linearity-and-bias-study/>, 2017. Accedido 29-05-2018.
- [9] Escalante Edgardo. Seis-sigma metodología y técnicas. Ed. Limusa,, 2004.
- [10] Matías Colombo. Clase 15: Controlador Lógico Programable. 2017.

- [11] Karl Johan Åström and Tore Hägglund. Control PID avanzado. Pearson, Madrid, 2009.
- [12] The Goodyear Tire & Rubber Company. Charles goodyear. URL: [http://www.goodyear.cl/comp\\_info/history/](http://www.goodyear.cl/comp_info/history/), 2009. Accedido 12-04-2018.
- [13] Fulda. Entender los neumáticos. URL: [http://www.fulda.com/fulda\\_es\\_es/all-about-tires/understand-your-tire/caring-for-your-tires/](http://www.fulda.com/fulda_es_es/all-about-tires/understand-your-tire/caring-for-your-tires/), 2012. Accedido 28-03-2018.
- [14] Juan Carlos García Quesada. Tema 4. mezclado. Operaciones Unitarias del Procesado de Polímeros, 2008.
- [15] Rubiel Vargas, Roció Santiago, and M Patiño. Diseño y construcción de un controlador de temperatura programable para una máquina extrusora. Revista Colombiana de Física, 40(2):385–387, 2008.
- [16] The Goodyear Tire & Rubber Company. Componentes y fabricación de un neumático. URL: [http://www.goodyear.com.ar/tire\\_know/making\\_a\\_tire/](http://www.goodyear.com.ar/tire_know/making_a_tire/), 2009. Accedido 28-03-2018.
- [17] Inván Camilo Roa Aravena. Aplicación de la metodología dmaic al proceso de requerimiento de materiales caso aplicado empresa goodyear chile. 2016.
- [18] LabJack Corporation. U3 data sheet. URL: <https://labjack.com/support/datasheets/u3>, 2017.
- [19] Ingrid Juliana Lagos and Jose Alberto Vargas. Sistema de familias de distribuciones de johnson, una alternativa para el manejo de datos no normales en cartas de control. Revista Colombiana de Estadística, 26(1):25–40, 2003.
- [20] O & R Ingenieros S.A. Manual control de centrado y tensión. 2013.
- [21] SEW-EURDODRIVE. Manual-Conversion Guide DT/DV to DRS/-DRE/DRP Motors. 2010.
- [22] James L Meriam and L Glenn Kraige. Mecánica para ingenieros: Dinámica, volume 3. Reverté, 2000.
- [23] Richard G Budynas and J Keith Nisbett. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (9a ed.). McGraw Hill Mexico, 2012.

[24] Maxcess international companies. Instruction manual CYGNUS®. 2004.

[25] Boschert. Catalog - Safety Chucks. 2014.

# Anexo A

## Definición del problema

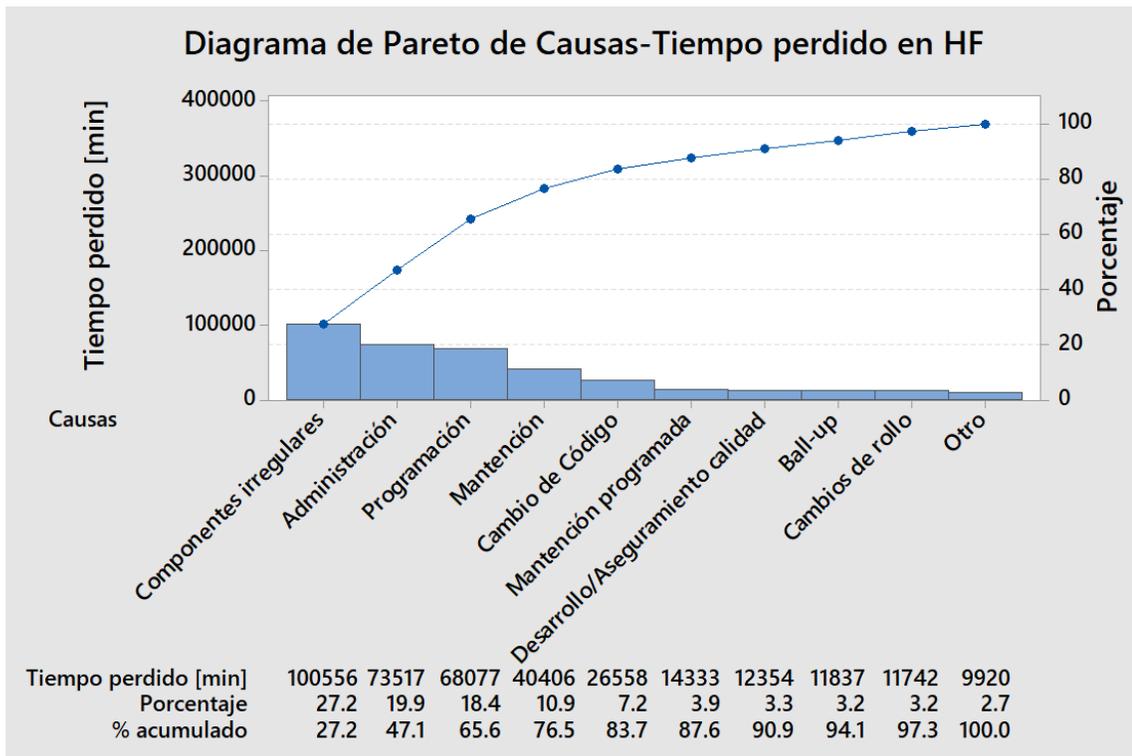


Figura A.1: Gráfico de Pareto para la causas de tiempo muerto en máquinas HF.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Goodyear Chile.

Tabla A.1: Tiempo y producción perdida en área Contrucción HF. (Fecha: 04/07/17 al 04/09/17)

<b>Causa</b>	<b>Tiempo perdido [min]</b>	<b>Producción perdida [neumáticos]</b>
Componentes irregulares	100555.56	86652.04
Administración	73516.71	62897.31
Programación	68076.97	62115.81
Mantenición	40405.99	35414.07
Cambio de Código	26558.33	23059.57
Mantenición programada	14332.65	13902.24
Desarrollo/Aseguramiento calidad	12354.34	10695.33
Ball-up	11837.15	10111.56
Cambios de rollo	11742.06	10061.81
Set-up	4360.61	3720.24
Cambio/Reparación de tambor	3376.49	2872.80
Servicios	1488.01	1265.88
IT/Redes	479.06	427.14
Medición de empalmes	215.91	183.29
<b>Total</b>	<b>369299.84</b>	<b>323379.09</b>

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Goodyear Chile.

Tabla A.2: Tiempo y producción perdida en área Contrucción HF por componentes irregulares. (Fecha: 04/07/17 al 04/09/17)

<b>Causa</b>	<b>Tiempo perdido [min]</b>	<b>Producción perdida [neumáticos]</b>
Pestaña con alambre suelto	11645.57	9625.2
Breaker 1 o 2 arrugado	9779.37	8264.7
Lateral arrugado	9519.3	8193.3
BP 1 o 2 arrugado	7644.51	6478.2
Pestañas mal instaladas en carro	6191.97	5309.4
Lateral angosto	5434.37	4651.5
Cojín arrugado	4942.55	4188.7
Lateral pegado al paño	4235.68	3554.3
Empalme de preparatoria	3765.7	3233.4
Pestaña mal identificada o fuera de diámetro	3382.33	2885.1
BP 1 o 2 se pega a la tela	2612.8	2195.6
Banda arrugada	2600.17	2204
Cojín se pega a la tela	2529.75	2145
Cuerda saliente en el overlay espiral	2258.27	1913.1
Empalme abierto overlay espiral	2100.33	1724.4
Goma defectuosa en el breaker 1 o 2	1979.47	1678.1
Pestañas/apexer, material no conocido	1681.5	1456.7
Banda angosta	1565.22	1332.2
Goma defectuosa en el cojín	1404.9	1200.3
Paño roto/cortado	1332.68	1140.9
Overlay no se despegar	1270.22	1048.2
Cojín ondulación	1255.82	1043.5
Breaker ancho	1096.1	926
Ángulo afuera de rango del breaker 1 o 2	1056.26	897.8
Breaker 1 o 2 se pega a la tela	975.15	838.5
Doble pestaña en carro	824.88	701.2
Cojín angosto	780.92	681.3
Empalme abierto BP 1 o 2	721.17	619.9
Cojín ancho	635.33	544.6
Banda contorno defectuoso	612.98	519.1

Falta goma sobre el BP 1 o 2	590.08	495.7
Agujeros en el foro del cojín	532.83	444.9
Empalme de preparatorio	503.83	449.8
Falta goma sobre el breaker 1 o 2	487.08	412.6
Faltan cuerdas BP 1 o 2	438.77	381.5
Breaker angosto	341.06	290.6
Otros	275.48	227.6
Banda con grumos o cuerpos extraños	250.72	205.3
Banda ancha	213.87	179.8
Falta goma en el overlay espiral	209.85	169.7
Empollas en el foro del cojín	192.78	167.9
Material desconocido BP 1 o 2	179.25	154.6
BP 1 o 2 angosto	137.63	112.6
Lateral ancho	109.1	94
Empalme de BP 1 o 2 ancho	81.45	71.8
BP 1 o 2 ancho	78.78	66.9
Overlay espiral angosto	78.2	66.2
Banda sin adhesión	12.93	10.5
Banda con separación de aleta	6.4	5.5
<b>Total</b>	<b>100555.36</b>	<b>85201.70</b>

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Goodyear Chile.

Tabla A.3: Desglose de costos producidos por falla de Arruga de Breaker.

Neumáticos en verde	
No fabricados [neumáticos]	4749.3
Costo neumático en verde [USD]	30.5
<b>Costo de oportunidad [USD/mes]</b>	<b>144853.7</b>
Materiales perdidos	
Desperdicios BR en HF [kg/mes]	2070
Recuperado acero BR [kg/mes]	-1080
Waste BR [kg/mes]	990
Costo Waste [USD/kg]	2.1
<b>Costo Waste [USD/mes]</b>	<b>2079.0</b>
Horas hombre recuperador	
<b>Costo HH [USD/mes]</b>	<b>579.9</b>
<b>Costo Total [USD/mes]</b>	<b>147512.6</b>

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Goodyear Chile.

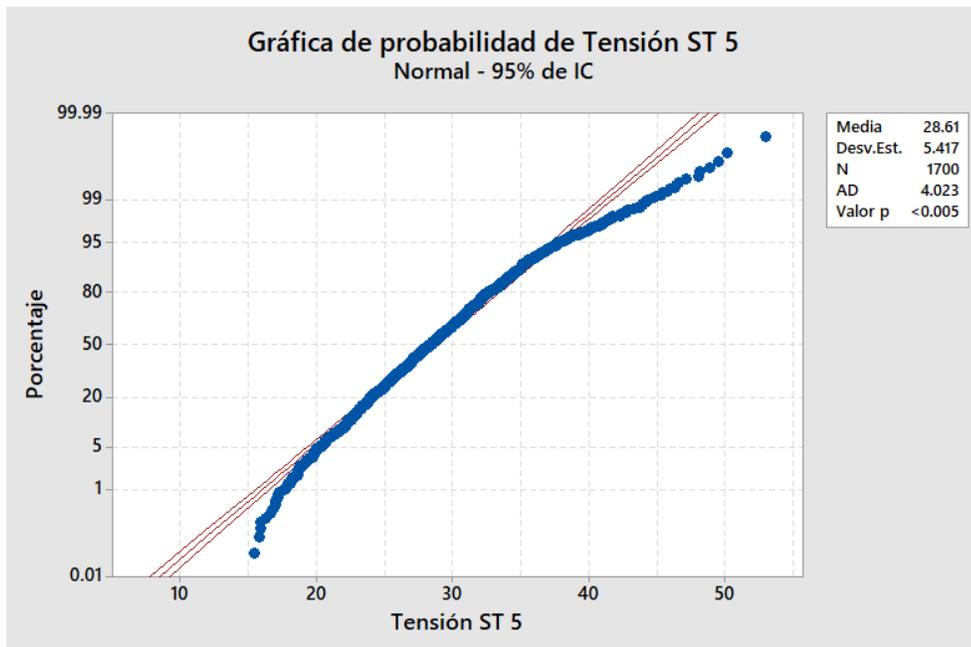


Figura A.2: Prueba de normalidad de datos de tensión en ST 5.  
Fuente: Elaboración propia.

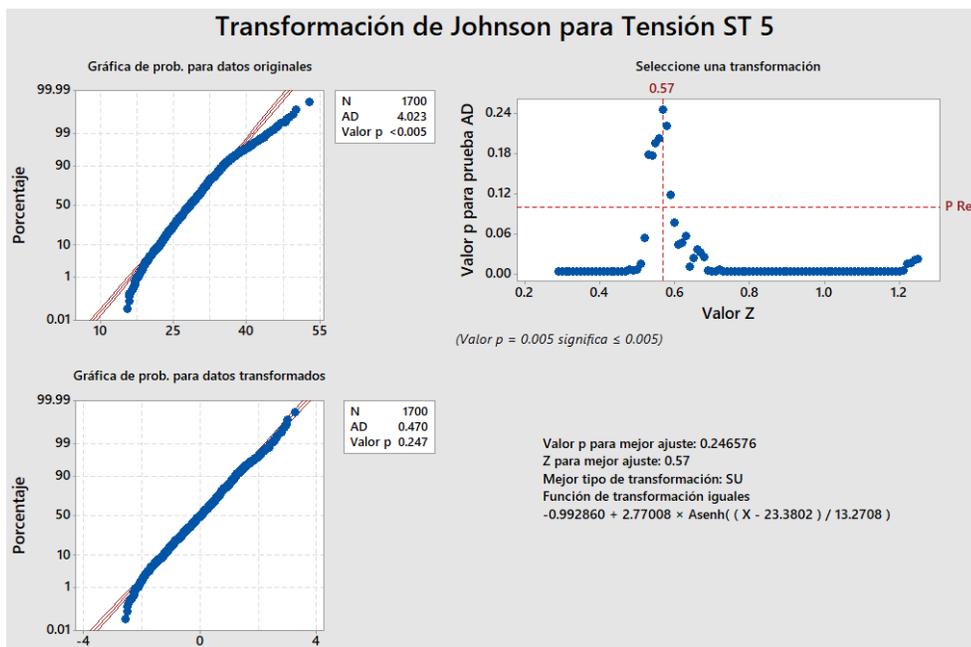


Figura A.3: Normalización de datos de tensión en ST5.  
Fuente: Elaboración propia.

### Informe de capacidad del proceso de Tensión ST 5 normal (utilizando 95.0% confianza)

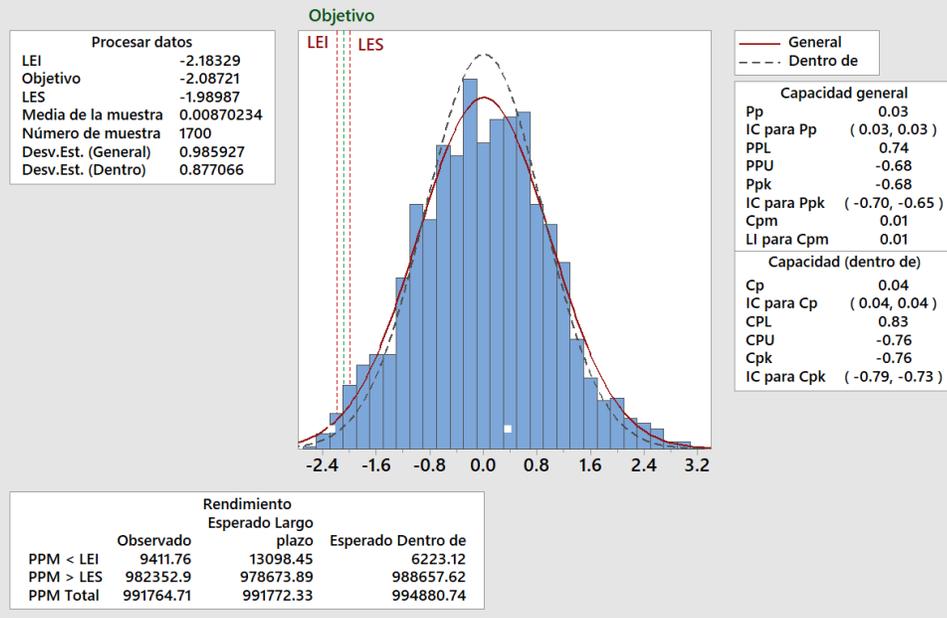


Figura A.4: Estudio de capacidad de variable tensión en ST 5.

Fuente: Elaboración propia.

## **Anexo B**

### **Medición de variables**

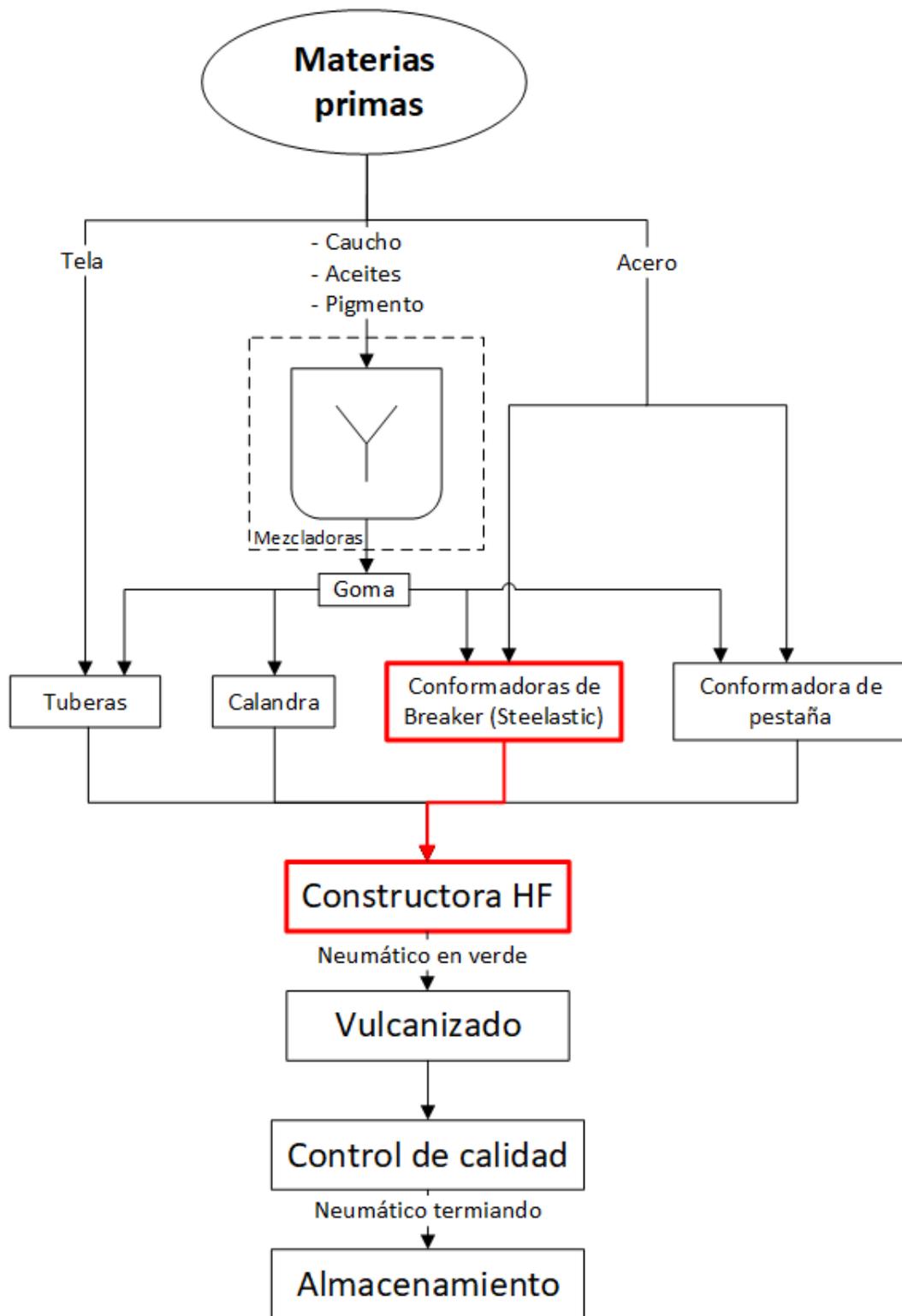


Figura B.1: Diagrama de flujo de proceso de producción de neumáticos en Goodyear.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos de Goodyear Chile.

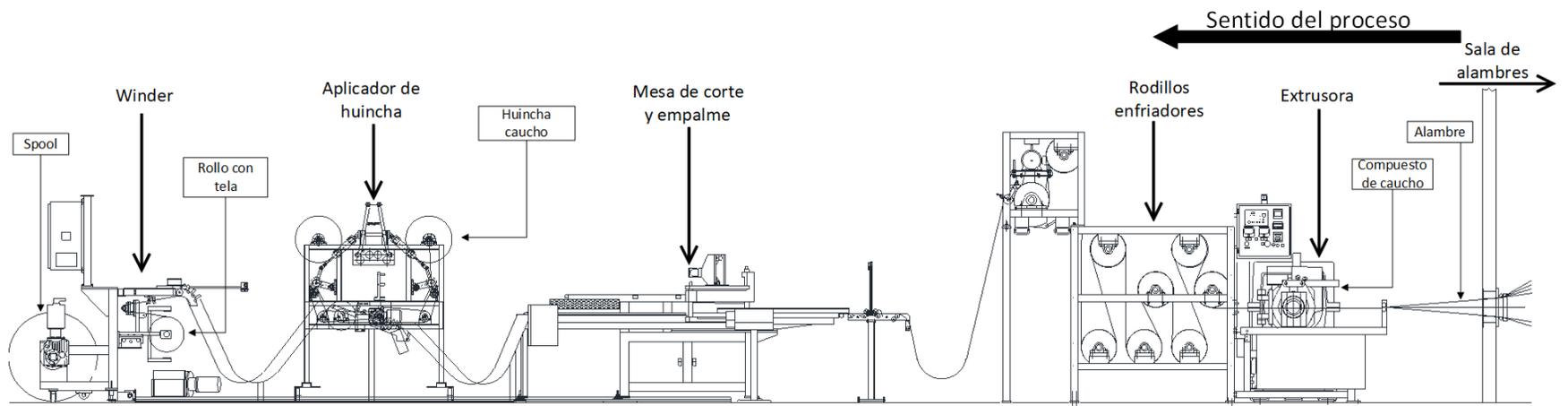


Figura B.2: Partes del conjunto de máquinas de Steelastic.  
 Fuente: Elaboración propia en base a datos de Goodyear Chile.

Tabla B.1: Tiempo perdido por cada máquina constructora por Arruga de Breaker. (Fecha: 04/07/17 al 04/09/17)

<b>Máquina Constructora</b>	<b>Arruga Breaker 1 [min]</b>	<b>Arruga Breaker 2 [min]</b>	<b>Total Arruga [min]</b>	<b>% ind.</b>	<b>% acum.</b>
HF201	741.47	161.82	903.28	8.90 %	8.90 %
HF202	480.12	254.73	734.85	7.24 %	16.14 %
HF203	271.52	445.03	716.55	7.06 %	23.20 %
HF405	402.93	254.08	657.02	6.47 %	29.67 %
HF102	213.92	383.98	597.90	5.89 %	35.56 %
HF101	446.05	150.70	596.75	5.88 %	41.44 %
HF103	235.85	349.00	584.85	5.76 %	47.20 %
HF403	176.10	381.07	557.17	5.49 %	52.69 %
HF206	356.55	164.52	521.07	5.13 %	57.82 %
HF503	233.68	181.32	415.00	4.09 %	61.91 %
HF306	212.50	197.35	409.85	4.04 %	65.94 %
HF406	227.38	162.17	389.55	3.84 %	69.78 %
HF506	216.82	133.28	350.10	3.45 %	73.23 %
HF504	225.00	107.72	332.72	3.28 %	76.51 %
HF505	200.27	127.75	328.02	3.23 %	79.74 %
HF304	207.72	88.40	296.12	2.92 %	82.66 %
HF205	70.45	220.03	290.48	2.86 %	85.52 %
HF305	96.15	177.52	273.67	2.70 %	88.21 %
HF303	158.82	96.18	255.00	2.51 %	90.73 %
HF404	98.47	103.98	202.45	1.99 %	92.72 %
HF104	75.30	122.67	197.97	1.95 %	94.67 %
HF106	140.72	56.32	197.03	1.94 %	96.61 %
HF105	130.07	47.68	177.75	1.75 %	98.36 %
HF204	135.12	31.22	166.33	1.64 %	100.00 %
<b>Total general</b>	<b>5752.95</b>	<b>4398.52</b>	<b>10151.4667</b>	<b>100.00 %</b>	

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Goodyear Chile.

<b>Fecha</b>	<b>Libro de seguimiento de arrugas HF 102</b>		
<b>08/09/2017</b>	<b>BL</b>	<b>Steelastic N°</b>	<b>Windup N°</b>
1	BL 63424	1	2
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
...			

Figura B.3: Planilla de registro de Arruga de Breaker en HF. BL: hace referencia al código con el cual se registra el Breaker, Steelastic: número de máquina de cual proviene el Breaker, Windup: Lado de máquina Steelastic del cual proviene (operador o no operador).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B.2: Registro de arrugas en HF. (Fecha: 04/07/17 al 04/09/17)

<b>Fecha</b>	<b>HF</b>	<b>BL</b>	<b>Steelastic</b>	<b>Windup</b>
08/09/2017	405	62419	ST 1	1
08/09/2017	405	51419	ST 3	2
08/09/2017	405	62678	ST 3	2
13/09/2017	203	58304	ST 4	-
13/09/2017	203	63526	ST 5	1
13/09/2017	203	63526	ST 1	1
12/09/2017	203	63526	ST 5	1
11/09/2017	203	58304	ST 4	2
11/09/2017	203	58304	ST 5	1
11/09/2017	203	58304	ST 4	2
09/09/2017	203	58304	ST 4	1
08/09/2017	203	58304	ST 4	1
12/09/2017	201	57312	ST 4	1
12/09/2017	201	57312	ST 4	-
12/09/2017	201	57312	ST 4	-
10/09/2017	201	57314	ST 4	2
10/09/2017	201	57312	ST 4	2
09/09/2017	201	63568	ST 5	-
08/09/2017	201	63424	ST 1	1
08/09/2017	201	64073	ST 3	-
08/09/2017	201	64073	ST 3	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B.3: Valores de mediciones de tensión para estudio de linealidad usando diferentes pesos patrones.

Medición	Valor de referencia [lb] ([kg])			
	5.6 (2,5)	11.0 (5)	16.5 (7.5)	22.0 (10)
1	5.6	11.4	16.8	22.2
2	6.0	11.2	16.4	22.0
3	5.8	11.4	16.5	21.9
4	6.0	11.4	16.8	21.8
5	5.8	11.3	16.8	22.1
6	5.9	11.2	16.8	22.0
7	5.8	11.0	16.4	21.8
8	5.7	11.5	16.7	21.9
9	5.8	11.2	16.1	22.0
10	6.0	10.9	16.1	21.9
<b>Promedio</b>	<b>5.8</b>	<b>11.3</b>	<b>16.5</b>	<b>22.0</b>

Fuente: Elaboración propia.

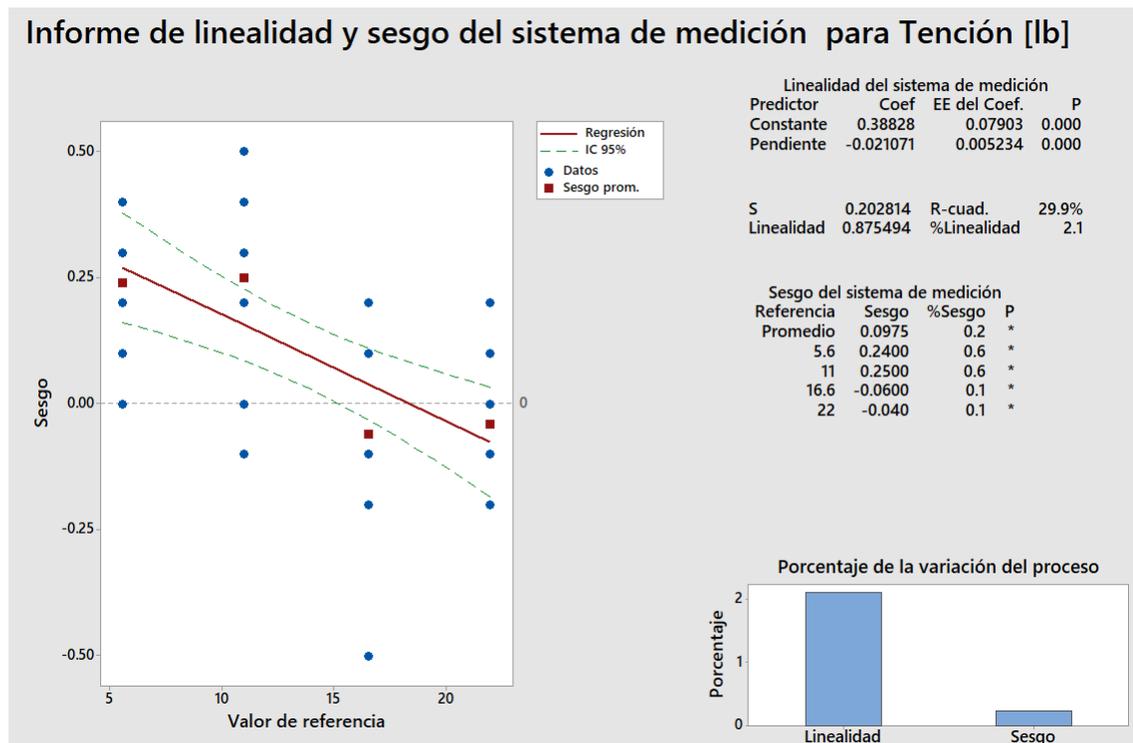


Figura B.4: Informe de estudio de linealidad de sistema de medición de tensión de tela.

Fuente: Elaboración propia.

# Anexo C

## Análisis de causa raíz

Tabla C.1: Extracto especificaciones motor SEW SA67 DRS90M4.

1.5 kW / 50 Hz	DT90L4	DRS90M4	
$M_N$ [Nm]	10.2	10.3	1.0 %
$n_N$ [rpm]	1410	1395	-1.1 %
$M_A/M_N$	2.6	2.3	-11.5 %
$M_H/M_N$	2.3	2	-13.0 %
$I_N$ [A]	3.7	3.3	-10.8 %
$I_A/I_N$	5.3	5	-5.7 %
$\cos \varphi$	0.78	0.82	5.1 %
$\eta$ 75% A [%]	80.2	82	2.2 %
$\eta$ 100% A [%]	79	79.6	0.8 %
$\eta$ 75% B [%]	80.2	82.4	2.7 %
$\eta$ 100% B [%]	79	80.2	1.5 %
$J_{Mot}$ [ $10^{-4}$ kgm <sup>2</sup> ]	34	35.5	4.4 %
$J_{BMot}$ [ $10^{-4}$ kgm <sup>2</sup> ]	40	40	0 %
$J_{2BMot}$ [ $10^{-4}$ kgm <sup>2</sup> ]	–	–	–
$J_{Mot+JZ}$ [ $10^{-4}$ kgm <sup>2</sup> ]	134	135.3	1.0 %
$m_{Mot}$ [kg]	18	18.4	2.2 %
$m_{BMot}$ [kg]	28	23	-17.9 %
$m_{2BMot}$ [kg]	–	–	–
$Z_{0BG}$ [1/h]	3000	2900	-3.3 %
$Z_{0BGE}$ [1/h]	7600	7500	-1.3 %
$Z_{0BGE\_2}$ [1/h]	–	–	–
S1 temp. [K]	50	65	30 %

Fuente: Sew Eurodrive, 2010.

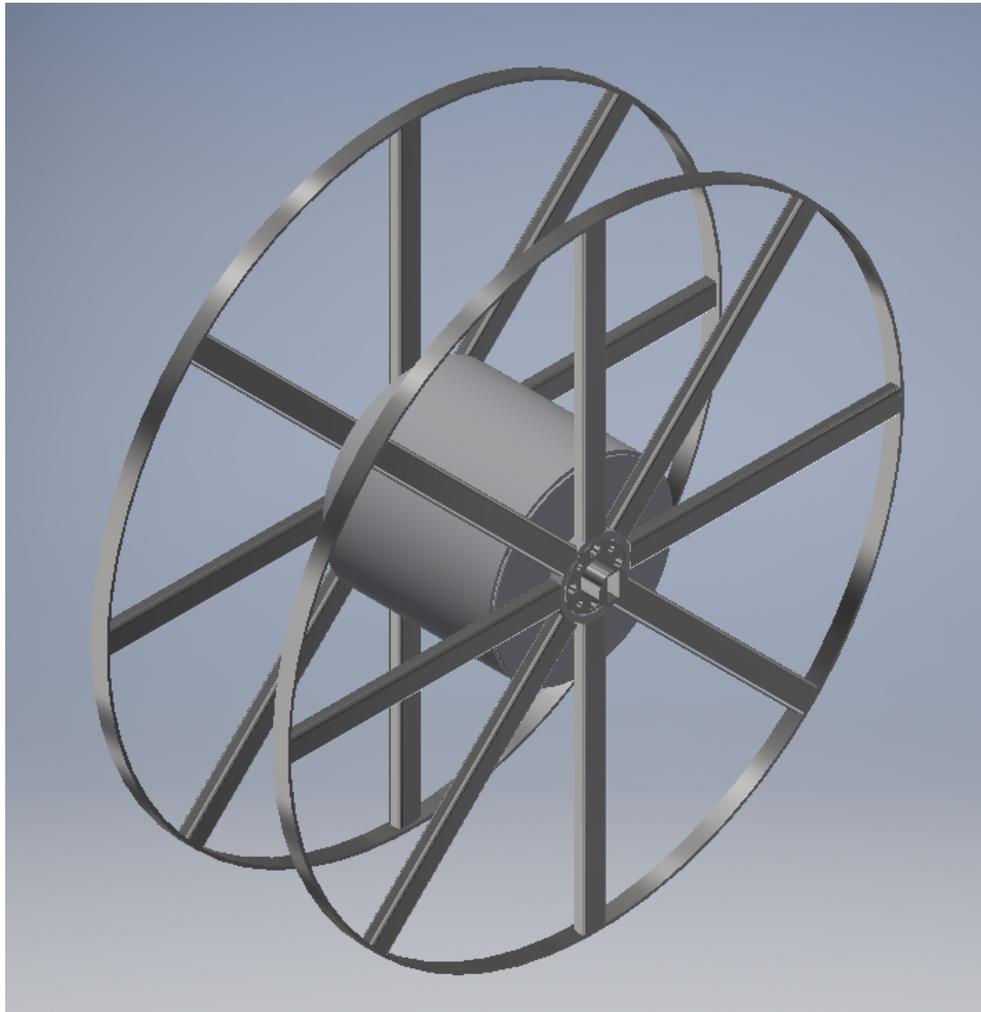


Figura C.1: Spool sin tapas laterales.  
Fuente: Elaboración propia.

Tabla C.2: Propiedades físicas de Spool sin tapas laterales.  
**Spool sin tapas**

---

<b>Propiedades generales:</b>	
Material:	Acero al carbono
Densidad:	7,850 [g/cm <sup>3</sup> ]
Masa:	41,921 [Kg]
Área:	2772132,172 [mm <sup>2</sup> ]
Volumen:	5340230,058 [mm <sup>3</sup> ]
<b>Principales momentos de inercia respecto al centro de gravedad:</b>	
I1:	2389985,776[Kg mm <sup>2</sup> ]
I2:	2389958,345[Kg mm <sup>2</sup> ]
I3:	3302670,786 [Kg mm <sup>2</sup> ]

---

Fuente: Elaboración propia.

Tabla C.3: Características de materiales de fricción para frenos y embragues.

Material	Coeficiente de fricción $f$	Presión máxima $P_{m\acute{a}x}$ , psi	Temperatura máxima		Velocidad máxima, $V_{m\acute{a}x}$ , pie/min	Aplicaciones
			Instantánea, °F	Continua, °F		
Cermet	0.32	150	1500	750		Frenos y embragues
Metal sinterizado (seco)	0.29-0.33	300-400	930-1020	570-660	3 600	Embragues y frenos de disco de yugo
Metal sinterizado (húmedo)	0.06-0.08	500	930	570	3 600	Embragues
Asbesto moldeado rígido (seco)	0.35-0.41	100	660-750	350	3 600	Frenos y embragues de tambor
Asbesto moldeado rígido (húmedo)	0.06	300	660	350	3 600	Embragues industriales
Zapatas de asbesto moldeado rígido	0.31-0.49	750	930-1380	440-660	4 800	Frenos de disco
Que no sea asbesto moldeado rígido	0.33-0.63	100-150		500-750	4 800-7 500	Embragues y frenos
Asbesto moldeado semirrígido	0.37-0.41	100	660	300	3 600	Embragues y frenos
Asbesto moldeado flexible	0.39-0.45	100	660-750	300-350	3 600	Embragues y frenos
Hilo y alambre de asbesto arrollado	0.38	100	660	300	3 600	Embragues de automóviles
Hilo y alambre de asbesto tejido	0.38	100	500	260	3 600	Embragues y frenos industriales
Algodón tejido	0.47	100	230	170	3 600	Embragues y frenos industriales
Papel resiliente (húmedo)	0.09-0.15	400	300		PV < 500 000 psi · pie/min	Embragues y bandas de transmisión

Fuente: Budynas y Nisbett, 2012

Tabla C.4: Parámetros de un freno de yugo de zapata circular.

$\frac{R}{e}$	$\delta = \frac{r_e}{e}$	$\frac{P_{\text{máx}}}{P_{\text{prom}}}$
0.0	1.000	1.000
0.1	0.983	1.093
0.2	0.969	1.212
0.3	0.957	1.367
0.4	0.947	1.578
0.5	0.938	1.875

Fuente: G.A. Fazekas, "On Circular Spot Brakes", en Trans. ASME, J. Engineering for Industry, vol. 94, serie B, núm. 3, agosto de 1972, pp. 859-863. en Budynas y Nisbett, 2012.

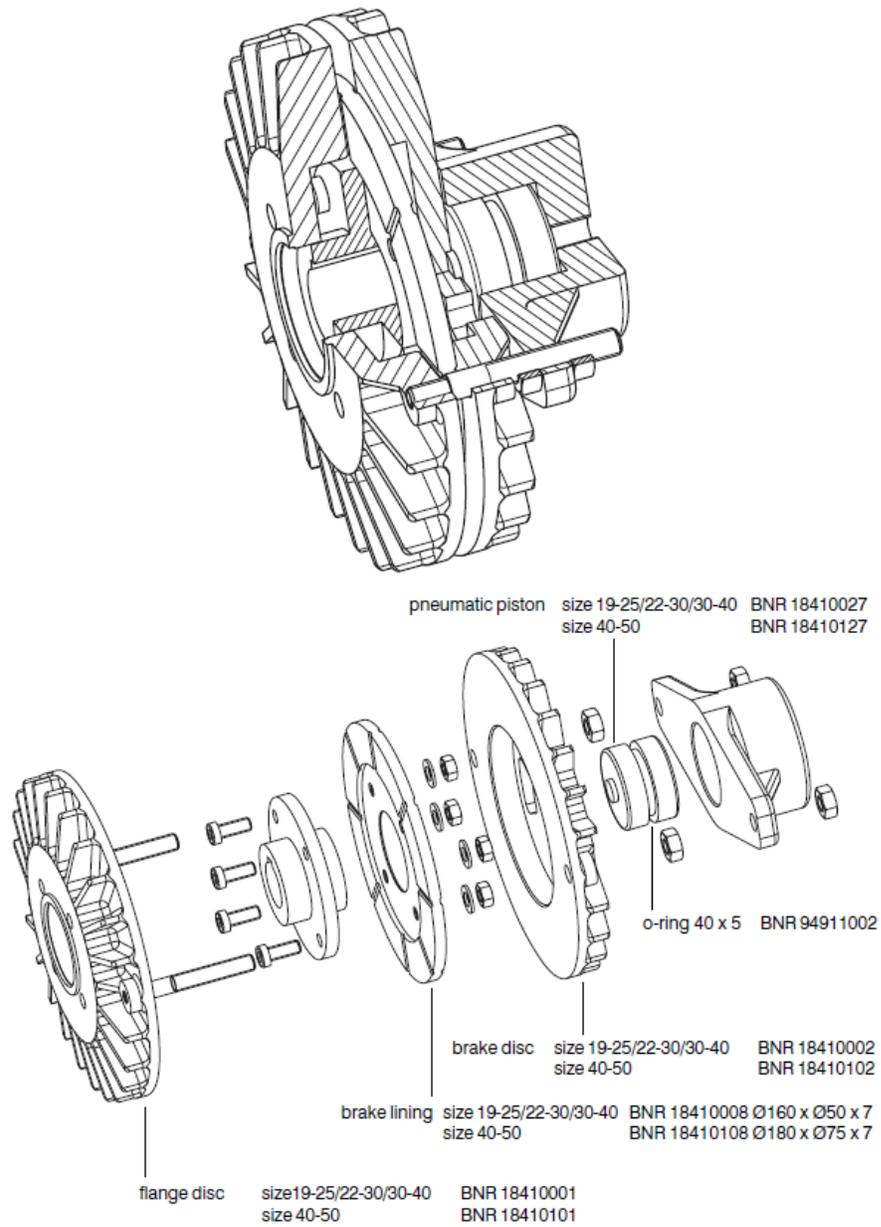


Figura C.2: Freno utilizado en máquinas constructoras HF en el desenrollado de Breacker.

Fuente: Boschert, 2014.

Tabla C.5: Torque generado por el freno en máquinas constructoras HF a diferentes presiones.

Presión Freno		Tensión tela 0.15m [N]		Tensión tela 0.30m [N]		Tensión tela 0.45m [N]	
Presión [bar]	Presión [psi]	[N]	r=0,15 [m]	[N]	[lb]	[N]	[lb]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	3.63	13.28	2.99	6.64	1.49	4.43	1.00
0.50	7.25	26.57	5.97	13.28	2.99	8.86	1.99
0.75	10.88	39.85	8.96	19.93	4.48	13.28	2.99
1.00	14.50	53.14	11.95	26.57	5.97	17.71	3.98
1.25	18.13	66.42	14.93	33.21	7.47	22.14	4.98
1.50	21.76	79.71	17.92	39.85	8.96	26.57	5.97
1.75	25.38	92.99	20.91	46.50	10.45	31.00	6.97
2.00	29.01	106.28	23.89	53.14	11.95	35.43	7.96
2.25	32.63	119.56	26.88	59.78	13.44	39.85	8.96
2.50	36.26	132.84	29.86	66.42	14.93	44.28	9.95
2.75	39.89	146.13	32.85	73.06	16.43	48.71	10.95
3.00	43.51	159.41	35.84	79.71	17.92	53.14	11.95
3.25	47.14	172.70	38.82	86.35	19.41	57.57	12.94
3.50	50.76	185.98	41.81	92.99	20.91	61.99	13.94
3.75	54.39	199.27	44.80	99.63	22.40	66.42	14.93
4.00	58.02	212.55	47.78	106.28	23.89	70.85	15.93
4.25	61.64	225.84	50.77	112.92	25.38	75.28	16.92
4.50	65.27	239.12	53.76	119.56	26.88	79.71	17.92
4.75	68.89	252.40	56.74	126.20	28.37	84.13	18.91
5.00	72.52	265.69	59.73	132.84	29.86	88.56	19.91

Fuente: Elaboración propia.

# Tensión canónica / Taper tension

- Regula la **reducción de tensión a medida que el diámetro del enrollado aumenta**, esto ayuda a la prevención de núcleos arrugados y rollos telescópicos.

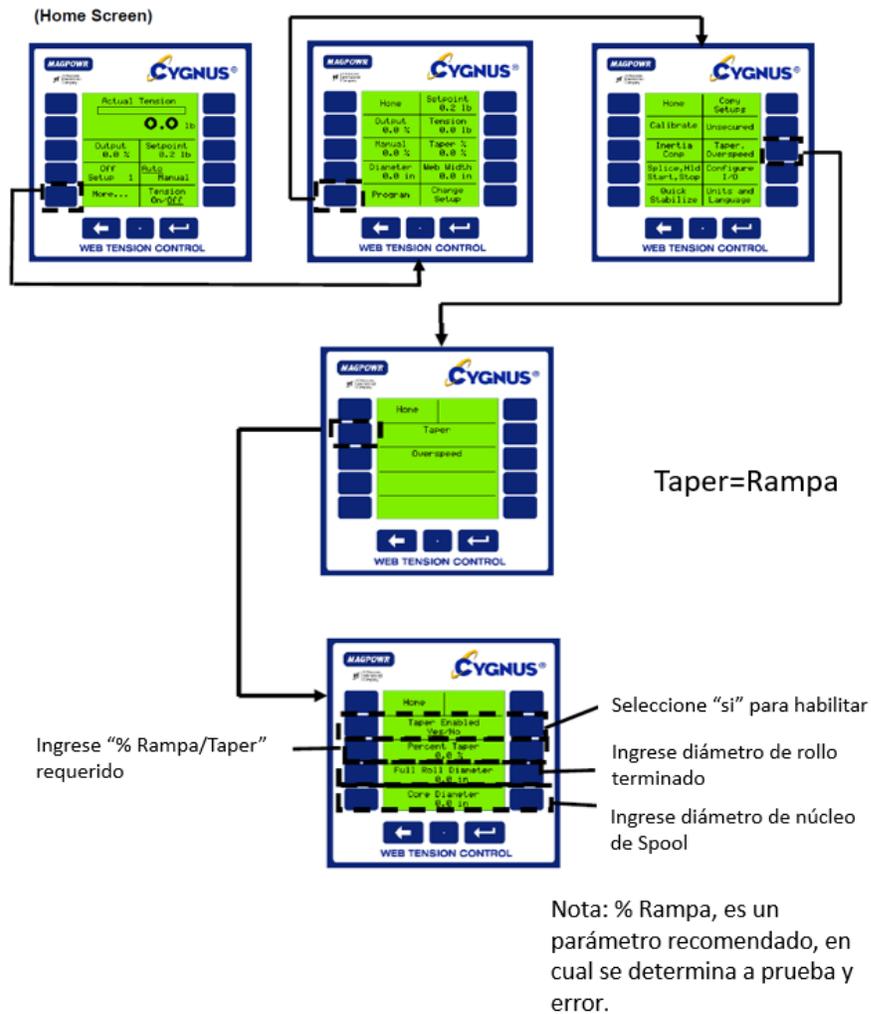


Figura C.3: Configuración de Tensión Canónica en controlador PID.

Fuente: Elaboración propia.

# Compensación de Inercia/aceleración

- Opción usada para rollos pesados, en donde la **inercia del rollo afecta negativamente** a la detención/inicio y aceleración/desaceleración del rollo.

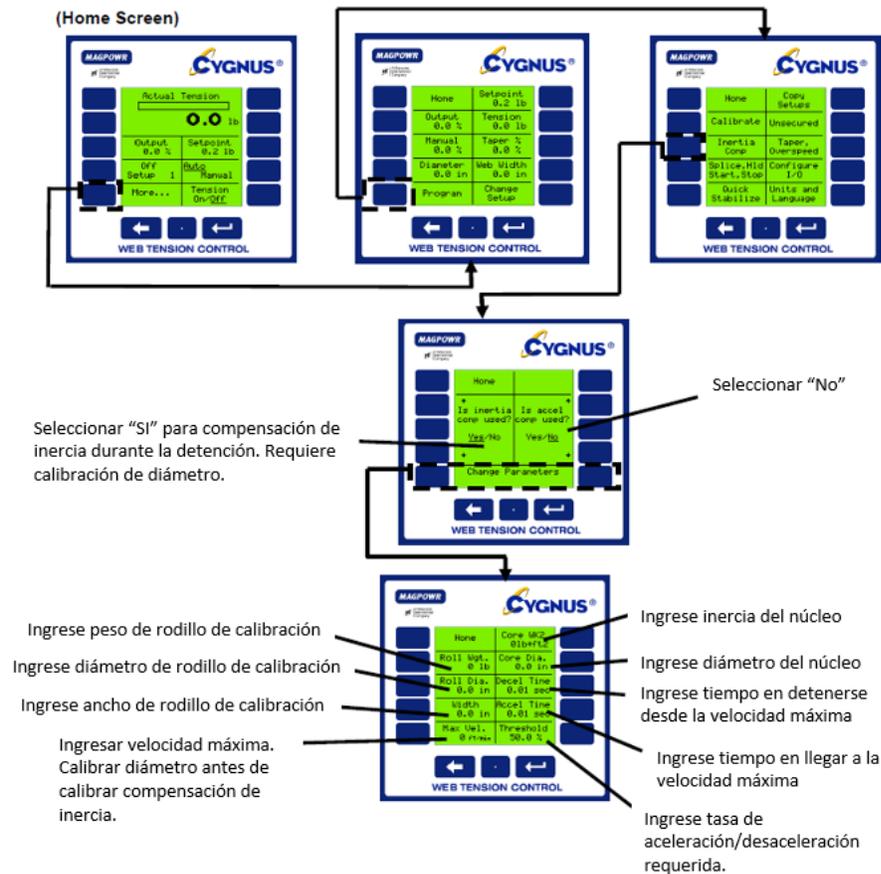


Figura C.4: Configuración de Compensación de Inercia en controlador PID.

Fuente: Elaboración propia.

# Ganancia

- NOTA: Esta función requiere entrada de diámetro y, por lo general, se usa con construcciones de rollo grandes.
- Permite **ajustes automáticos de parámetros según variación del diámetro del rollo** para mantener el ajuste óptimo.

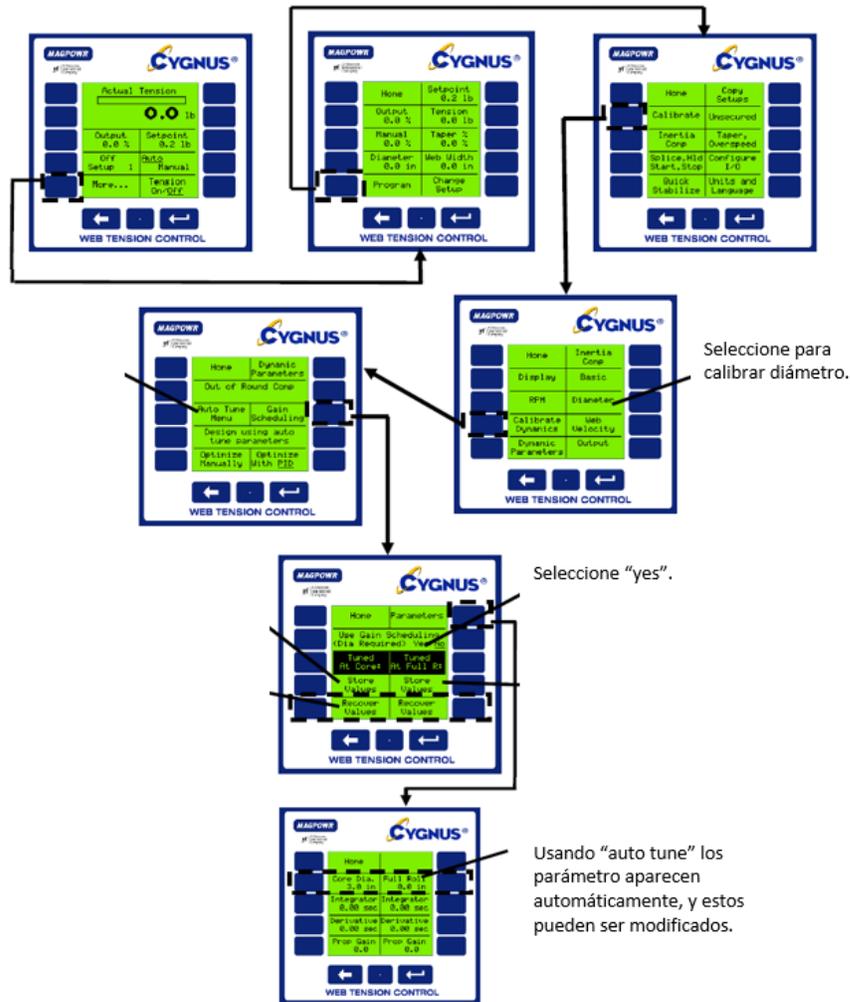


Figura C.5: Configuración de Ganancia en controlador PID.

Fuente: Elaboración propia.

# Calibración de diámetro

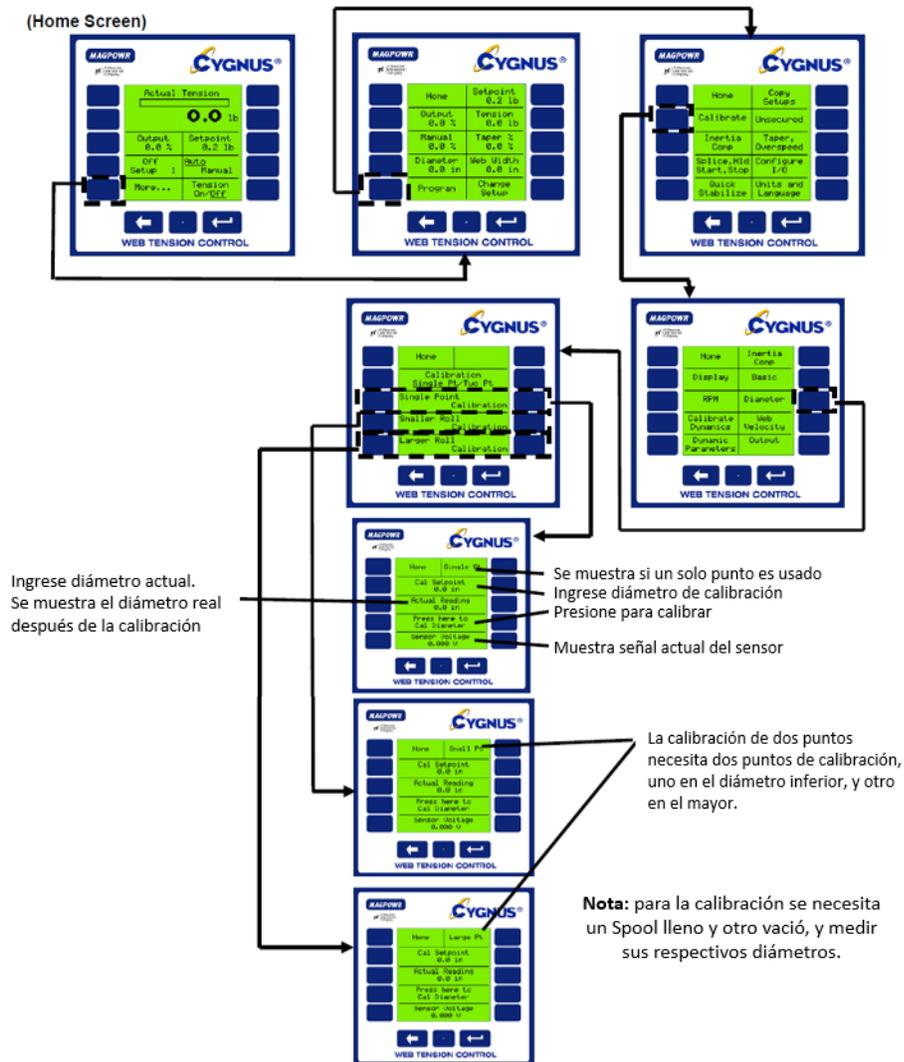


Figura C.6: Calibración de diámetro controlador PID.

Fuente: Elaboración propia.

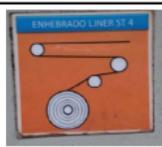
Preparatoria					
Estandar calibración de celda de carga para PID Steelastic.			Document: STD0001		
Business Center: División A			Approval Date: 19/01/2018		
Approved By (Producción):			Revision Date:		
Approved By (Cajidad):			Revision Number: Original		
PPE Required: Zapato de Seguridad, Protección auditiva, lentes de seguridad, Guantes resistentes a los cortes					
SAFETY		QUALITY	ENVIROMENTAL	PROCESS	
STEP	ACTION	TIME		LABELS	KEY POINTS
1	Seleccionar Windup que no se esté utilizando.			Uso de guantes obligatorio 	
2	Bloqueo neumático Windup.			Uso de guantes obligatorio 	
3	Enhebrar piola de peso patrón (25 [lb]) según indique la máquina, y sujetar extremo de la piola a la misma.			Uso de guantes obligatorio 	
4	Ver lectura de Tensión en pantalla del controlador PID.				
5	Si lectura de tensión tiene una variación de $\pm 0,5$ [lb] la máquina esta calibrada. No realizar cambios.			Uso de guantes obligatorio 	
6	Si lectura de tensión tiene una variación mayor a $\neq 0,5$ [lb] la máquina no esta calibrada. Realizar calibración desde paso 7.				
6	En pantalla controlador, seleccionar accionamiento manual.				
6	Realizar pasos de hoja adjunta para calibrar según manual.				

Figura C.7: Trabajo estandarizado para la calibración de la tensión en controlados PID.  
Fuente: Elaboración propia.

**Anexo D**

**Mejorar**



Tabla D.1: Priorización de contramedidas.

Falla detectada	Acciones	A	B	C	D	E	Prioridad
		Nivel	Impacto	Dificultad	Rank		
		1,2,3,4,5,6	1,2,3	1,2,3	BxCxD		
Variabilidad en velocidad de enrollado, genera variaciones grandes de tensión.	Sistema de control de velocidad mediante lectura de radio, posición de Breaker y velocidad de la línea.	5	3	1	15	5	
Incapacidad de sistema neumático en ST de llegar a presión de trabajo	Reparar manómetros y cambiar mangueras de aire dañadas en máquina ST 4.	4	3	3	36	2	
Ejecución tareas de mantenimiento.	Inspección completa de Steelastic y Construcción HF en búsqueda de fallas y planificar su reparación.	3	2	3	18	4	
Cartillas de mantenimiento no planificadas.	Análisis de procesamiento de avisos en cartillas de mantenimiento y aviso de averías en máquinas en ST y HF.	2	2	2	8	7	
Procesos de calibración no estandarizados.	Estandarización de procesos de calibración, y nuevo procedimiento estándar para la calibración de las nuevas configuraciones del controlador PID.	1	2	3	6	8	
Capacidad de control mediante PID no aprovechada.	Calibrar configuraciones opcionales en controlador PID por medio de procedimientos entregados.	5	3	2	30	3	
Falta de control de frenado en HF al desenrollar Breaker.	Configuración y prueba de control de freno mediante PLC en HF 102.	5	3	1	15	5	
	Estandarización de presión de frenado en todas las máquinas HF para relativo control de frenado.	5	3	3	45	1	
Entrada de Spool en condiciones para generar arruga en HF.	Sistema de detección de condición de Spool para generación de arruga a la salida de ST.	3	3	1	9	6	
<b>Niveles de soluciones:</b>	1- Decir / Entrenar 2- Auditar	3- Controles Visuales 4- Reparar	5- Automatización 6- Eliminar la Tarea	<b>Impacto:</b>	1- Bajo 2- Medio 3- Alto	<b>Dificultad:</b> 1- Semanas 2- Días 3- Horas	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla D.2: Plan de acción de contramedidas.

Acciones	Responsable	Fecha Apertura	Fecha Ventimiento	Comentarios
¿Qué?	¿Quién?	¿Cuándo?		¿Cómo? ¿Por qué? ¿Dónde? ¿Cuánto?
1	Pablo B.	15/01/2018	22/01/2018	Capacitar.
2	Juanito A.	15/01/2018	29/01/2018	Programar tarea mant. Mec.
3	Juanito A.	15/01/2018	29/01/2018	Programar tarea mant. Elec.
4	Juanito A. - Moises V.	15/01/2018	22/01/2018	
5	Juanito A.	29/01/2018	26/02/2018	Destinar recursos y programar.
6	Felipe G.	22/01/2018	05/02/2018	
7	Felipe G.	22/01/2018	29/01/2018	Desarrollar.
8	Jonathan A.	29/01/2018	12/02/2018	
9	Rodrigo G.	29/01/2018	12/02/2018	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla D.3: Fallas encontradas en Steelastic.

Máquina	Falla detectada
ST1	No se han cambiado manguera neumáticas.
	No se han cambiado manguera neumáticas.
ST2	Carretillas entrada mesa corte malas. Rodamiento polín delgado aplicador de huincha malo.
ST3	Carretillas entrada mesa corte malas. No se han cambiado manguera neumáticas.
ST4	Manómetro Windup lado operador malo. No se han cambiado manguera neumáticas.
ST5	Mangueras parchadas. Freno izquierdo aplicador de huincha no funciona salvo al aplicar mucha presión. Filtración de compuesto a la salida de extrusora.
ST6	No se han cambiado manguera neumáticas. Manómetro mesa de corte indica por sobre/debajo lo recomendado. Manómetro enrollador lado no operador malo.

Fuente: Elaboración propia.