

Pontificia Universidad Católica del Perú

Escuela de Posgrado



Propuesta de mejora para la reducción de productos defectuosos en una planta de producción de neumáticos aplicando la metodología Six sigma

Tesis para optar el Grado de Magister en Ingeniería Industrial con Mención en Gestión de Operaciones

George Reinoso Vásquez

Asesor: Mg. Luis Negrón
Presidente : Stoll Quevedo, César Augusto
Segundo miembro : Negrón Naldos, Luis Alfredo
Tercer miembro : Carbajal López, Eduardo

Lima, Octubre del 2016

RESUMEN

La tesis se enfoca en desarrollar una propuesta de mejora para la reducción de productos defectuosos en una planta de producción de neumáticos aplicando la metodología Six Sigma desde el punto de vista de un sistema de mejora.

Las expectativas de los clientes y el nivel de exigencia respecto a la calidad de los productos son cada vez mayores, esto obliga a las empresas busquen aumentar el valor percibido de sus productos como un elemento diferenciador y a la vez orienten sus esfuerzos a la reducción de sus costos de producción en base a la eficacia y eficiencia de sus procesos productivos, reduciendo o eliminando todo aquello que no genere valor al proceso.

En la primera etapa del trabajo se realiza un análisis de la situación actual de la empresa, los principales procesos productivos para la fabricación de neumáticos, la revisión de los indicadores claves del proceso; así como la estructura organizacional de la empresa y la perspectiva de desarrollo.

En una segunda etapa se desarrolla la metodología Six Sigma como un sistema de gestión soportado por una estructura organizacional, mediante roles, responsabilidades y enfocándose a una correcta selección y evaluación de proyectos.

En la tercera etapa se desarrolla los fundamentos de la metodología Six Sigma enfocada en el proceso de mejora DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), para lo cual se hace uso de diversas herramientas estadísticas para la medición, análisis y solución del problema.

Finalmente se presenta un análisis costo beneficio de la implementación de las propuestas de mejoras y se demuestra la efectividad en la mejora obtenida para la organización.

INDICE

	Página
Índice de Figuras	v
Indice de Tablas	viii
Capítulo 1. Planteamiento del problema	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Definición del problema	2
1.3 Justificación e importancia	3
1.4 Objetivos de la tesis	3
1.4.1 Objetivo General	3
1.4.2 Objetivos específicos	3
1.5 Explicación del método de trabajo	4
Capítulo 2. Marco Teórico	6
2.1 Proceso	6
2.2 Mejora de procesos	6
2.3 Calidad	6
2.4 Six Sigma	8
2.5 Relación de la Calidad y Six Sigma	9
2.6 Modelo DMAIC	8
2.7 Mapeo de Procesos (SIPOC)	10
2.8 Controles Estadísticos de Procesos (SPC)	11
2.9 Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF)	11
2.10 Análisis de Sistema de Medición (MSA)	11
2.11 Índices de Capacidad de proceso	11
2.12 Prueba de normalidad	11
2.13 Pruebas de hipótesis	12
2.14 Hipótesis nula e hipótesis alternativa	12
2.15 Nivel de significancia (α)	12
2.16 P-Value para la prueba de hipótesis	12
2.17 Gráficos de Control	13
2.18 Modelo de Nakiori Kano	14
2.19 Diseño de Experimentos (DOE)	15
Capítulo 3. Descripción de la empresa	17
3.1 Descripción de la Organización	17

3.2 Descripción del proceso productivo	21
3.2.1 Pesado de pigmentos	22
3.2.2 Proceso de mezclado	22
3.2.3 El proceso de Entubado	23
3.2.4 Proceso de Calandrado	24
3.2.5 Proceso de Cortado	24
3.2.6 Proceso de Calandreado metálico (Steelastic)	25
3.2.7 Proceso de Conformadora de Absorbedores	25
3.2.8 Proceso de Construcción de Pestañas Radial y Convencional	25
3.2.9 Proceso de construcción radial y convencional	26
3.2.10 Proceso de Pintado de llantas verdes	26
3.2.11 Proceso de Vulcanización radial y convencional	26
3.2.12 Proceso de Inspección de llantas	27
3.2.13 Proceso de Rayos X	27
3.2.14 Proceso de Variación de Fuerza y Balanceo de neumáticos	28
3.2.15 Proceso de Almacenamiento	28
3.3 Principales Indicadores Claves de Procesos (KPI)	30
3.3.1 Indicadores de Negocio	31
3.3.2 Indicadores de Seguridad y Salud Ocupacional, Medio ambiente	31
3.3.3 Indicadores de Calidad de Producto y Proceso	32
3.3.4 Indicadores de Producción y Productividad	32
3.4 Perspectiva de Desarrollo	34
Capítulo 4. Desarrollo de la Metodología como sistema Six Sigma	37
4.1 Roles dentro de la metodología Six Sigma.	37
4.2 Selección de equipos Six Sigma	39
4.3 Selección de proyecto Six Sigma	44
Capítulo 5. Desarrollo de la metodología DMAIC	49
5.1 Fase Definir	50
5.1.1 Roles del Equipo	50
5.1.2 Análisis de la voz del cliente a Críticos para la calidad	56
5.1.3 Diagrama del proyecto	62
5.1.4 Mapas del proceso	65
5.2 Fase Medir	69
5.2.1 Datos a medir	69
5.2.2 Tipos de datos y muestreo	71
5.2.3 Plan de recolección de datos	72

5.2.4 Análisis del sistema de medición (MSA)	72
5.2.4.1 MSA para la variable “y”	72
5.2.4.2 MSA para las variables “x”	74
5.2.5 Datos de línea base	82
5.2.5.1 Medición de variables “x”	82
5.2.5.2 Medición de variable “y”	91
5.3 Fase Analizar	94
5.3.1 Análisis de variable “y”	94
5.3.2 Análisis de variables “x”	103
5.3.3 Determinación de las causas raíces potenciales	107
5.3.4 Verificación de las causas raíces potenciales	109
5.3.4.1 Verificación de la causa raíz potencial A	109
5.3.4.2 Verificación de la causa raíz potencial B	110
5.3.4.3 Verificación de la causa raíz potencial C	112
5.3.4.4 Verificación de la causa raíz potencial D	113
5.3.4.5 Verificación de la causa raíz potencial E	114
5.4 Fase Mejorar	116
5.4.1 Solución propuesta	116
5.4.2 Análisis de Impacto	120
5.4.3 Análisis costos/beneficio de las soluciones	130
5.4.2.1 Costos del proyecto	130
5.4.2.2 Beneficios del proyecto	132
5.5 Fase Controlar	135
5.5.1 Plan de implementación de soluciones	135
5.5.1.1 Análisis de Problemas Potenciales	135
5.5.1.2 Programa de Implementación de acciones	136
5.5.1.3 Plan de Entrenamiento	136
5.5.1.4 Plan de Comunicación	136
5.5.1.5 Costos y Beneficios	138
5.5.1.6 Plan de Control del proceso	141
5.5.1.6.1 Control de las variables “x”	141
5.5.1.6.2 Control de las variable “y”	143
5.5.1.7 Controles estadísticos en los procesos	143
5.5.1.8 Traslado del Plan al propietario	143
5.5.2 Conclusión del Proyecto Actividades	146
5.5.2.1 Evaluación del Equipo	146

5.5.2.2 Recompensa y reconocimiento	149
Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones	150
6.1. Conclusiones	150
6.2. Recomendaciones	152
Capítulo 7. Referencias bibliográficas	154



INDICE DE FIGURAS

	Página	
Figura 2.1	Gráficos de control	14
Figura 2.2	Modelo de Kano	15
Figura 3.1	Estructura Directiva de la empresa	19
Figura 3.2	Estructura de Manufactura de la empresa	19
Figura 3.3	Estrategia de Manufactura de la empresa	20
Figura 3.4	Diagrama de Interacción de los procesos	21
Figura 3.5	Proceso de mezclado	23
Figura 3.6	Proceso de entubado	23
Figura 3.7	Proceso de construcción de pestañas	25
Figura 3.8	Proceso de construcción	26
Figura 3.9	Proceso de vulcanización	27
Figura 3.10	Proceso de Rayos x	27
Figura 3.11	Diagrama de Flujo del Proceso de manufactura del Neumático	29
Figura 3.12	Mapa del Proceso productivo de neumáticos	30
Figura 3.13	Segmentación del mercado de neumáticos de reemplazo	34
Figura 3.14	Demanda de líneas de neumáticos en las regiones 2010-2015	35
Figura 3.15	Proyección de número de Vehículos en las carreteras (nm)	36
Figura 4.1	Proceso de la metodología como sistema Six Sigma	37
Figura 4.2	Nueva Estructura de Manufactura	38
Figura 4.3	Resultados del valor de los proyectos	48
Figura 5.1	Proceso DMAIC	49
Figura 5.2	Entregables de la fase Definir	51
Figura 5.3	Proceso de determinación de VOC a CCR a CTQ	56
Figura 5.4	Representación del neumático – Modelo de Kano	56
Figura 5.5	Clasificación del desperdicio	59
Figura 5.6	Evolución por tipo de desperdicio 2011 – 2014 en %FSV	59
Figura 5.7	Diagrama de Pareto por tipo de desperdicio 2014	60
Figura 5.8	Diagrama de Pareto por tipos de defectos en Badgoods	61
Figura 5.9	Relación de Voz del cliente, requerimiento crítico del cliente y críticos para la calidad	62
Figura 5.10	Mapa del proceso de producción – SIPOC	66
Figura 5.11	Diagrama arriba-debajo del proceso productivo	67
Figura 5.12	Mapa de despliegue funcional del proceso de construcción	68
Figura 5.13	Relación de las variables Y,sub y e y	69

Figura 5.14	Diagrama de Causa y Efecto	70
Figura 5.15	VARIABLES CRÍTICAS DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN	71
Figura 5.16	Identificación del tipo de variable del proceso de construcción	71
Figura 5.17	Resultados del análisis por atributos	73
Figura 5.18	Análisis del Sistema de Medición – Variable x_1	77
Figura 5.19	Análisis del Sistema de Medición – Variable x_2	77
Figura 5.20	Análisis del Sistema de Medición – Variable x_3	78
Figura 5.21	Análisis del Sistema de Medición – Variable x_4	78
Figura 5.22	Verificación del Sistema de Medición – variable “ x_1 ”	80
Figura 5.23	Verificación del Sistema de Medición – variable “ x_2 ”	80
Figura 5.24	Verificación del Sistema de Medición – variable “ x_3 ”	81
Figura 5.25	Verificación del Sistema de Medición – variable “ x_4 ”	81
Figura 5.26	Resultados de Prueba de Normalidad y Análisis de Capacidades para la variable “ x_1 ”	86
Figura 5.27	Resultados de Prueba de Normalidad y Análisis de Capacidades para la variable “ x_2 ”	87
Figura 5.28	Resultados de Prueba de Normalidad y Análisis de Capacidades para la variable “ x_3 ”	88
Figura 5.29	Resultados de Prueba de Normalidad y Análisis de Capacidades para la variable “ x_4 ”	89
Figura 5.30	Estudio de Línea Base	92
Figura 5.31	P chart ampollas en el costado	94
Figura 5.32	P chart ampollas en el costado 1-6	95
Figura 5.33	P chart ampollas en el costado 8-12	96
Figura 5.34	Principales factores para el DOE	97
Figura 5.35	Gráfico Normal de los Efectos	99
Figura 5.36	Diagrama de Pareto de Efectos	99
Figura 5.37	Gráfica de Iteración para Y	100
Figura 5.38	Análisis de capacidad para variable x_1	103
Figura 5.39	Análisis de capacidad para variable x_2	104
Figura 5.40	Análisis de capacidad para variable x_3	105
Figura 5.41	Análisis de capacidad para variable x_4	106
Figura 5.42	Análisis de causas mediante herramienta porqué/porqué	108
Figura 5.43	Tipos de datos de las causas y efecto	109
Figura 5.44	Tabla de contingencia causa potencial A	110
Figura 5.45	Tabla de contingencia causa potencial B	111

Figura 5.46	Resultados de la prueba de hipótesis	113
Figura 5.47	Tabla de contingencia causa potencial D	113
Figura 5.48	Gráficas de medidas e Interacción para la variable Y	115
Figura 5.49	Análisis de capacidad de la variable x_1	123
Figura 5.50	Análisis de capacidad de la variable x_2	124
Figura 5.51	Análisis de capacidad de la variable x_3	124
Figura 5.52	Análisis de capacidad de la variable x_4	125
Figura 5.53	Comparación de los niveles sigma alcanzados	126
Figura 5.54	Comparación de los C_p alcanzados	126
Figura 5.55	Comparación de los C_{p_k} alcanzados	126
Figura 5.56	Neumáticos defectuosos (DPM) 2014-2015	128
Figura 5.57	Ampolla en el costado (DPM) 2014-2015	129
Figura 5.58	Gráficas de medidas e Interacción para la variable Y	133
Figura 5.59	Distribución por tipo de desperdicio 2014 – 2015 en %FSV	133
Figura 5.60	Gráfica de control Promedio y Rango (X y R)	144
Figura 5.61	Gráfica de control p	145
Figura 5.62	Resultados de la evaluación al equipo	148

INDICE DE TABLAS

		Página
Tabla 1.1	Valor actual del desperdicio en el año 2014	2
Tabla 2.1	Visión General del DMAIC.	9
Tabla 2.2	Herramientas Six Sigma más comunes para DMAIC	10
Tabla 3.1	Capacidad de Producción actual	17
Tabla 3.2	Resumen de los Indicadores Claves de Procesos de Manufactura 2014	33
Tabla 4.1	Formación de equipos Six Sigma	40
Tabla 4.2	Matriz del Perfil de los integrantes de los equipos Six Sigma	41
Tabla 4.3	Principales funciones de los equipos Six sigma	42
Tabla 4.4	Entrenamiento para el equipo Six Sigma	43
Tabla 4.5	Asuntos del cliente	44
Tabla 4.6	Nivel de importancia para el cliente con el Plan Estratégico	45
Tabla 4.7	Relación del proyecto con los asuntos del cliente	45
Tabla 4.8	Proyectos Potenciales	46
Tabla 4.9	Matriz de Selección de Proyectos	47
Tabla 4.10	Metodología de solución del proyecto	48
Tabla 5.1	Formación del equipo de proyecto Y1	51
Tabla 5.2	Propuesta de Agenda y minuta de reunión	54
Tabla 5.3	Reglas Básicas para los equipos Six Sigma	55
Tabla 5.4	Análisis de Kano	58
Tabla 5.5	Determinación del requerimiento crítico del cliente	58
Tabla 5.6	%FSV	58
Tabla 5.7	Diagrama del Proyecto de reducción %FSV	64
Tabla 5.8	Criterios decisión del estudio del análisis	73
Tabla 5.9	Características principales de los equipos	74
Tabla 5.10	Datos de medición de variable "x"	75
Tabla 5.11	Plan de mejora para la mejora del Sistema de Medición	79
Tabla 5.12	Especificaciones de procesos para las variables "x"	83
Tabla 5.13	Valores medidos de las variables "x"	83
Tabla 5.14	Resumen de resultados de medición de variables "x"	90
Tabla 5.15	Medición de la línea base	91
Tabla 5.16	DPM y Nivel sigma	93
Tabla 5.17	Resumen de Línea Base 2014	93
Tabla 5.18	Matriz de Diseño Factorial para 4 factores	97

Tabla 5.19	Grado de apariencia del neumático	98
Tabla 5.20	Resultados de las pruebas	98
Tabla 5.21	Nivel de significancia de las variables “x” con la variable “y”	101
Tabla 5.22	AMEF del proceso de construcción	102
Tabla 5.23	Resumen de valores medidos	112
Tabla 5.24	Lista de acciones potenciales	117
Tabla 5.25	Nivel de importancia de las categorías	118
Tabla 5.26	Criterios de evaluación	118
Tabla 5.27	Matriz de evaluación de acciones	119
Tabla 5.28	Valores medidos de las variables “x”	120
Tabla 5.29	Resultados de los parámetros de procesos de las variables “x”	125
Tabla 5.30	Nivel de desperdicio por aire atrapado en el costado	127
Tabla 5.31	Resultados del nivel sigma de la variable “y”	127
Tabla 5.32	Análisis de costos operacionales de mantenimiento	131
Tabla 5.33	Análisis de costos de implementación de soluciones	131
Tabla 5.34	Costo total del proyecto	132
Tabla 5.35	Beneficio del proyecto Six Sigma	134
Tabla 5.36	Análisis Costo/Beneficio	134
Tabla 5.37	AMEF revisado del proceso de construcción	137
Tabla 5.38	Programa de Implementación de acciones	138
Tabla 5.39	Plan de entrenamiento	139
Tabla 5.40	Plan de comunicación	139
Tabla 5.41	Minuta de validación de costos y beneficios del proyecto	140
Tabla 5.42	Plan de control del proceso de construcción	142
Tabla 5.43	Tipo de Gráfica de control	143
Tabla 5.44	Formato de evaluación del equipo del proyecto	147

CAPITULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

Actualmente el mercado de neumáticos está sufriendo un alto dinamismo debido a la renovación del parque automotor, como resultado del incremento de automóviles nuevos (vehículos ligeros, comerciales, camiones).

La industria nacional de neumáticos está integrada por dos empresas productoras de neumáticos como son Goodyear y Lima Caucho quienes no sólo se dedican a la producción; sino también, a la importación y exportación de neumáticos, además de varias empresas importadoras y distribuidoras que comercializan 184 marcas de neumáticos pasajero, 277 marcas de neumáticos camioneta y 231 marcas de camión. De acuerdo al Ministerio de Producción (PRODUCE), la fabricación de neumáticos creció un promedio de 35.5% en los últimos 5 años con respecto al año 2014 y 2009.

La importación de neumáticos cerró el año 2015 y 2014 con un valor de 2'709,905 y 2'121,167 neumáticos respectivamente, lo que significó un crecimiento del 28%. La recuperación de la actividad económica se reflejó en el dinamismo del sector transporte de pesado, el cual originó un crecimiento del 33% (688,695 neumáticos); a ello se sumó el fuerte avance de la venta de autos y camioneta tipo SUV, los cuales impulsaron el crecimiento de la demanda de neumáticos en un 34% (1'044,244 neumáticos) y 19% (976,966 neumáticos) respectivamente con respecto al año 2014.

Del total de neumáticos importados en el año 2015, los neumáticos pasajeros representaron un 39%, para los neumáticos tipo camioneta representó un 36% y para neumáticos para buses y camiones representó un 25% del total importado, siendo la importación de neumáticos pasajero el rubro más dinámico, según lo mostrado por la Superintendencia de Nacional de Administración Tributaria (SUNAT).

Si bien es cierto, actualmente se tiene dos tipos de neumáticos en el mercado como lo son los neumáticos tipo radial y convencional, una característica importante del mercado nacional de neumáticos es que cada vez muestra un mayor proceso de radialización, lo que originó también un cambio en las importaciones.

En el año 2006, el 40% (219.4 mil) de los neumáticos nuevos importados eran radiales; mientras que, en el año 2010, ese porcentaje subió a 81% (761.8 mil unidades); actualmente este porcentaje llegó a 95.6% (2,592 mil). Cabe señalar,

que el mercado de neumáticos para buses y camiones muestra un índice de radialización del 97%, el mercado para camioneta presenta un índice de radialización de 90% y el mercado de pasajeros presenta un índice de radialización de 100%, según lo mostrado por la Superintendencia de Nacional de Administración Tributaria (SUNAT).

1.2 Definición del problema

Actualmente la empresa presenta problemas de calidad en algunas líneas de producción, las cuales producen defectos que son identificadas en el proceso final cuando el neumático es inspeccionado, esto origina un alto porcentaje de merma de producción y alto porcentaje de productos rechazados por los clientes debido a defectos en los neumáticos. Esta situación afecta considerablemente la rentabilidad de la empresa.

La producción de neumáticos en los últimos años se incrementó debido a la continua demanda de neumáticos en el mercado actual, esto originó el desarrollo de nuevos modelos neumáticos tanto en línea de pasajero, camioneta radial, lo que conllevó a un desarrollo de procesos de producción mucho más complejos originando una criticidad en los controles actuales de la calidad en las líneas de producción.

En el año 2014, el nivel de desperdicio con respecto al valor de neumáticos almacenados aumentó a un nivel promedio de 1.75%. En el año 2013 este valor llegó a 1.37%, esto representa un incremento del 13% con respecto al promedio del año 2013.

Si bien es cierto se tienen controles en cada línea de producción, se necesitan controles más efectivos o controles adicionales en los procesos, con la finalidad de reducir el nivel actual de desperdicio.

En la Tabla 1.1 se muestran los resultados obtenidos en el año 2014, registrándose un total de desperdicio de 77,021 MUSD, representando un 1.73% del total del valor almacenado en el mismo periodo.

Tabla 1.1 Valor actual del desperdicio en el año 2014

	Valor del producto almacenado (MUSD)	Valor del desperdicio (MUSD)
Total 2014	77,021	1,329

Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

1.3 Justificación e importancia

Debido a los cambios continuos en la evolución del mercado de neumáticos, la alta competencia de diversas marcas y la guerra de precios existentes exigen a las empresas manufactureras a ser cada vez más eficientes en sus procesos de producción y garantizar la calidad de los neumáticos entregados al cliente.

Es por ello la importancia de utilizar una metodología que permita reducir las variaciones del proceso y de esta forma reduzca el nivel de defectos en los procesos. Six Sigma es una de las metodologías en el mundo la cual ayudó a mejorar los procesos enfocándose en la reducción de desperdicios y variaciones de procesos, los cuales están orientados a la satisfacción de las necesidades de los clientes entregando un mayor valor.

Por lo mismo, se espera que los resultados de la presente tesis permita mostrar el impacto de la metodología Six Sigma implementadas en la industria y sirva a las empresas del sector como referente para promover la aplicación de la metodología en los procesos internos.

1.4 Objetivos de la tesis

1.4.1 Objetivo General

Aplicar la metodología Six Sigma como herramienta para la reducción de neumáticos nuevos defectuosos enviados hacia el cliente, la cual origine una reducción de costos de no calidad y mejora de la satisfacción del cliente.

1.4.2 Objetivos específicos

- Implementar una metodología para la selección de proyectos que permita determinar una correcta evaluación y selección de proyectos en función del nivel de importancia y el grado de relación hacia el cliente.
- Cuantificar el nivel del problema de los neumáticos defectuosos en función del proceso actual.
- Identificar las principales causas comunes y especiales de los problemas ocurridos en la no calidad.
- Proponer los planes de acción respectivos para los principales para eliminar las principales causas.
- Diseñar un plan de implementación para las acciones.
- Validar los resultados mediante una evaluación costo-beneficio.

1.5 Explicación del método de trabajo

La presente tesis iniciará con una descripción de la empresa, una descripción de sus principales procesos productivos, así como un análisis del sector al que pertenece, las perspectivas de desarrollo del mercado; luego se realizará un diagnóstico de la empresa, analizándose la situación actual, la perspectiva de crecimiento en función de sus principales indicadores productivos (KPI) y los actuales niveles de calidad.

Posteriormente se detallarán los principales conceptos teóricos relacionados a Six Sigma, la metodología DMAIC para la solución de problemas, Matriz de Selección de proyectos, Críticos para el Cliente (CTC), Críticos para el proceso (CTP) y críticos para el sistema (CTS), herramientas de mapeo de procesos como SIPOC, Controles Estadísticos de Procesos (SPC).

DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), es un modelo de mejora continua para la solución de problemas enfocado a la reducción de variaciones de procesos, mediante un análisis cuantitativo de las principales características críticas de los procesos, buscando alternativas de solución enfocadas a la causa raíz del problema.

En la Fase Definir, se realizará el mapeo de procesos donde se mostrarán los tiempos de ciclos del proceso, a través de la herramienta SIPOC (supply, input, process, customer, output) se relacionará las entradas y salidas de los procesos en función a los requerimientos establecidos para el comprador y los requerimientos determinados por el cliente.

En la Fase Medir, se determinará el desempeño actual de la línea base, se recolectará la información necesaria para el análisis y se generará la medición de los parámetros críticos. Se utilizarán herramientas de medición como cartas de tendencias para los defectos, cartas de control, series de tiempo, sigma del proceso, capacidades del proceso y gráficas de frecuencia, entre otros, para ello se hará uso del programas estadísticos como Minitab, y de esta manera poder definir los procesos críticos.

En la fase Analizar, se realizará un análisis de los datos medidos, con la finalidad de encontrar las causas raíces y poder verificar las causas- efectos de los problemas. De esta forma se utilizarán herramientas como porqué/porqué, A3, AMEF (Análisis de modos y efectos de fallas), diagramas de dispersión, regresión y correlación, pruebas de hipótesis.

En la fase Mejorar, se implementarán las acciones correctivas y preventivas necesarias para reducir las variaciones y reducir el número de neumáticos defectuosos en el proceso.

En la fase Controlar, se presentarán un programa de controles para asegurar que se mantengan las mejoras hechas, usándose herramientas de control como controles visuales, a prueba de error, estandarización de procesos.

Finalmente, se validarán los resultados mediante una evaluación de costo-beneficio de la implementación de las propuestas de acciones correctivas y preventivas.



CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

A continuación se presenta el marco teórico involucrado como fundamento para el desarrollo del presente trabajo, lo cual permitió abordar los temas con una idea más clara de las herramientas y metodologías utilizadas en el presente trabajo.

2.1 Proceso

“Un proceso es una secuencia de actividades que tiene como objetivo lograr un resultado” (Evans y Linday 2008: p.21).

Un proceso es a menudo diagramado con un diagrama de flujo que reúne todas las actividades necesarias e incrementa nuestro entendimiento de todo el sistema, en lugar de enfocarse sólo en una pequeña parte.

De acuerdo a lo establecido por Down, Kerkstra, Cvetkovski y Benham (2005) en el Manual de Control Estadístico de Procesos, proceso significa una combinación completa de proveedores, fabricantes, gente, equipos, materiales de entrada, métodos y medio ambiente que trabajan juntos para producir un resultado, y los clientes que usen dicho resultado.

2.2 Mejora de Procesos

De acuerdo a Evans *et al.* (2008): la mejora de los procesos es una estrategia de negocios importantes en los mercados competitivos porque:

- La lealtad de los clientes se basa en el valor agregado.
- El valor agregado se crea mediante los procesos de negocio.
- El éxito continuo en los mercados competitivos requiere que una empresa mejore en forma consistente el valor agregado.
- Para mejorar en forma consistente la capacidad de crear valor, una empresa debe mejorar de manera continua sus procesos de creación de valor.

“La mejora debe ser una tarea de administración proactiva y se debe considerar como una oportunidad y no simplemente como una reacción ante los problemas y las amenazas de la competencia” (Evans *et al.* 2008: p.362).

2.3 Calidad

Uno de los enfoque del presente trabajo está ligado a la calidad del producto y de los proceso. Actualmente existen muchas definiciones para la Calidad, pero se tomará la definición presentada por la Sociedad Americana para la Calidad – ASQ

(2015), la cual presenta a la calidad como un término subjetivo para el que cada persona o sector tiene su propia definición. Desde el uso técnico, la calidad puede tener dos significados, el primero es de las características de un producto o servicio que le confieren su aptitud para satisfacer necesidades expresadas o implícitas y el segundo es un producto o servicio gratuito de deficiencias.

Según Deming (1982), la calidad sólo puede definirse en función del sujeto, debido a que es quien juzga la calidad; por ejemplo, en la mente del operario quien fabrica calidad sí puede estar orgullosa de su trabajo, haciendo que la compañía siga en el negocio. De la misma forma en el caso del gerente de planta, debido a que orienta la calidad como el cumplir las especificaciones y sacar los números, mejorando los procesos y mejorando continuamente el liderazgo.

Según Crosby (1979) la Calidad es el estado más evolucionado dentro de todas las sucesivas transformaciones que sufrió el término calidad. En un primer momento se habla de control de calidad, primera etapa en la gestión de la Calidad que se basa en técnicas de inspección aplicadas a producción. Posteriormente nace el aseguramiento de la calidad, fase que persigue garantizar un nivel continuo de la calidad del producto o servicio proporcionado. Finalmente se llega a lo que hoy en día se conoce como calidad total, un sistema de gestión empresarial íntimamente relacionado con el concepto de mejora continua y que incluye las dos fases anteriores. Los principios fundamentales de este sistema de gestión son los siguientes:

- Consecución de la plena satisfacción de las necesidades y expectativas del cliente (interno y externo).
- Desarrollo de un proceso de mejora continua en todas las actividades y procesos llevados a cabo en la empresa (implantar la mejora continua tiene un principio pero no un fin).
- Total compromiso de la Dirección y un liderazgo activo de todo el equipo directivo.
- Participación de todos los miembros de la organización y fomento del trabajo en equipo hacia una Gestión de Calidad Total.
- Involucración del proveedor en el sistema de Calidad Total de la empresa, dado el fundamental papel de éste en la consecución de la Calidad en la empresa.
- Identificación y Gestión de los Procesos Clave de la organización, superando las barreras departamentales y estructurales que esconden dichos procesos.
- Toma de decisiones de gestión basada en datos y hechos objetivos sobre gestión basada en la intuición.

Este modelo de calidad coincide con los principios propuestos por Evans *et al.* (2008) quienes definen que la calidad se basa en tres principios fundamentales:

- Un enfoque en los clientes y accionistas.
- La participación y trabajo en equipo de todos en la organización
- Un enfoque de proceso apoyado por el mejoramiento y el aprendizaje continuo.

2.4 Six Sigma

Para Pyzdek (2003), Six Sigma es una implementación rigurosa, centrada y muy eficaz de proporcionar principios y técnicas de calidad. Incorporando muchos elementos de los trabajos realizados por los pioneros de la calidad, usando herramientas estadísticas, métodos y técnicas de mejora para la reducción de la variabilidad en cualquier proceso.

Este concepto concuerda con el expuesto por Evan *et al.* (2008) quien en los principios del Six Sigma lo presenta como una estrategia general para acelerar las mejoras y alcanzar niveles de desempeño sin precedentes enfocándose en las características críticas para los clientes y la identificación y la eliminación de las causas de los errores o defectos en los procesos.

2.5 Relación de la Calidad y Six Sigma

Para Pyzdek (2003), Six Sigma está orientado a ayudar a las organizaciones para ganar más dinero mediante la mejora de valor para el cliente y la eficiencia. Es por ello que Pyzdek redefine la relación entre Calidad y Six Sigma proporcionando una nueva definición de Calidad. Para efectos de Six Sigma define la calidad como el valor añadido por un esfuerzo productivo. Definiendo la calidad de dos maneras, como la calidad potencial y la calidad real; siendo la Calidad potencial el valor máximo posible conocido añadido por unidad de insumo y la calidad real como el valor actual agregado por unidad de insumo. En donde la diferencia entre la calidad potencial y real es el desperdicio. Six Sigma se enfoca en la mejora de la calidad reduciendo el desperdicio y ayudando a las organizaciones producir productos y servicios mejores, más rápidos y más baratos.

De acuerdo a Evans *et al.* (2008), indica que que six sigma evolucionó desde un simple indicador de calidad hasta convertirse en una estrategia general para acelerar las mejoras y alcanzar los niveles de desempeño, con un enfoque en las características críticas de los clientes y la identificación y eliminación de las causas de los errores o defectos de los procesos. Para el cumplimiento de estas tareas se requiere una implementación eficaz de los principios estadísticos y diversas herramientas para diagnosticar los problemas de calidad y facilitar las mejoras.

2.6 Modelo DMAIC

El modelo Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, más conocido como DMAIC por sus sigleas en inglés, es muy similar al modelo PDCA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar). De acuerdo a Pyzdek (2003) DMAIC es una parte integral de Six Sigma que se utiliza para organizar el proyecto de una manera sistemática y esquematizada, siendo esta resumida en la siguiente Tabla 2.1 Visión General del DMAIC.

Tabla 2.1 Visión General del DMAIC.

D	Definir los objetivos de la actividad de mejora. Los objetivos más importantes se obtienen de los clientes. En el nivel superior de los objetivos serán los objetivos estratégicos de la organización, como una mayor lealtad de los clientes, un mayor retorno de inversión o aumento de la cuota de mercado, o una mayor satisfacción de los empleados. A nivel de operaciones, un objetivo podría ser la de aumentar el rendimiento de un departamento de producción. En el proyecto de los objetivos de nivel podrían ser para reducir el nivel de defectos y aumentar el rendimiento para un proceso particular.
M	Medir el sistema existente. Establecer indicadores válidos y confiables para ayudar a monitorear el progreso hacia el objetivo definido en el paso anterior
A	Analizar el sistema para identificar maneras de eliminar la brecha entre el desempeño actual del sistema o proceso y la meta deseada. Comenzar por la determinación de la línea de base actual. Utilizar el análisis de datos exploratorio y descriptivo para ayudar a entender los datos. Utilizar herramientas estadísticas para guiar el análisis.
I	Mejorar el sistema. Ser creativo en el hallazgo de nuevas formas de hacer las cosas mejor, más barato, o más rápido. Utilice la gestión de proyectos y otras herramientas de planificación y gestión para poner en práctica el nuevo enfoque. Utilizar métodos estadísticos para validar la mejora.
C	Controlar el nuevo sistema. Institucionalizar el sistema mejorado mediante la modificación de los sistemas de compensación e incentivos, políticas, procedimientos, MRP, presupuestos, instrucciones de servicio y otros sistemas de gestión. Es posible utilizar la normalización como la ISO 9000 para asegurar que la documentación es correcta. Utilizar herramientas estadísticas para monitorear los nuevos sistemas.

Fuente: Pyzdek (2003)

De acuerdo a Evans *et al.* (2008), dos de las características únicas de DMAIC son el incapié en los requisitos del cliente y el uso de herramientas y metodologías

estadísticas. Para lo cual Six Sigma integra estas herramientas y la metodología DMAIC en los sistemas administrativos de toda la administración. A continuación en la Tabla 2.2 se muestra la relación de las principales herramientas estadísticas más usadas en DMAIC.

Tabla 2.2 Herramientas Six Sigma más comunes para DMAIC

D	<ul style="list-style-type: none"> • Carta del proyecto • Costo del análisis de calidad • Análisis de Pareto • Proceso de mapeo de alto nivel
M	<ul style="list-style-type: none"> • Hojas de chequeo • Estadística descriptiva • Medición y sistemas de evaluación • Análisis de la capacidad del proceso • Becnhmarking
A	<ul style="list-style-type: none"> • Mapeo detallado del proceso • Interferencia estadística • Diagramas causa-efecto • Modo de Falla y Análisis de los efectos • Análisis de la raíz de la causa
I	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de experimentos • Diseño de errores • Producción Esbelta • Ciclo Deming • Siete herramientas de la administración y la planeación
C	<ul style="list-style-type: none"> • Control estadístico de procesos • Procedimientos de operación estándar

Fuente: Evans *et al.* (2008)

2.7 Mapeo de Procesos (SIPOC)

El proceso SIPOC, como sus siglas en inglés (Supplier, inputs, process, Outputs, Customers) es una herramienta de mapeo de proceso que permite rápidamente un entendimiento común del proceso e identificar las necesidades de ingreso y los principales proveedores para el ingreso en el proceso, así como las salidas e identificando a los clientes quienes recibirán estas salidas. Es de esta forma que se presenta de manera simple y con un alto nivel de mapeo el proceso el proceso de manufactura de neumático de la empresa. Según McCarty, Bremer, Daniels y Gupta (2004).

2.8 Controles Estadísticos de Procesos (SPC)

Los Controles Estadísticos de Procesos (SPC), son herramientas estadísticas que buscan facilitar el control y seguimiento de las variables críticas de los procesos en base a gráficas de control con la finalidad de medir el nivel de cumplimiento de las capacidades de los procesos productivos en el tiempo, para lo cual se definirán las CPk y Ppk de los procesos críticos actuales. Down et al. (2005).

2.9 Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF)

De acuerdo a Down, Irozowski, Benedict, Shubert, Brender, Gruska, Vallance Krasích y Haughey (2008), el propósito de un Análisis de Modos y Efectos de Fallas del Proceso (AMEFP) es definir los riesgos asociados con fallas potenciales del proceso mismo y proponer acciones correctivas antes de que estas fallas puedan ocurrir. El resultado de un AMEFP es transferido a un plan de control.

2.10 Análisis de Sistema de Medición (MSA)

Según Down, Czubak, Gruska, Stahley y Benham (2010), el Análisis de Sistema de Medición es la colección de operaciones, procedimientos, calibraciones, materiales, instalaciones y personal que realiza las mediciones, para asignar las características propias de la medición y su validación.

2.11 Índices de Capacidad de Procesos

La Capacidad del proceso es determinada por la variación que proviene de causas comunes. Generalmente representa el mejor desempeño del proceso mismo. Esto demuestra cuando el proceso fue operado en un estado de control estadístico independientemente de las especificaciones.

Los índices de capacidad de procesos es la habilidad que tiene el proceso para alcanzar los requerimientos establecidos. Una manera de determinar la capacidad del proceso es calcular los índices de capacidad, los cuales son usados para data de variables continuas y son medibles. Algunas de las capacidades de procesos comúnmente usadas son Cp y Cpk o Pp y Ppk, y además que se combinen con técnicas gráficas para entender mejor la relación entre la distribución estimada y los límites de la especificación. Down *et al.* (2005)

2.12 Prueba de normalidad

Prueba de hipótesis de una muestra para determinar si la población de la cual extrajo su muestra es no normal. La hipótesis nula para una prueba de normalidad establece que la población es normal. La hipótesis alternativa establece que la

población es no normal. Para determinar si los datos de su muestra provienen de una población no normal, usted puede elegir pruebas como Prueba de Anderson-Darling, Prueba de Ryan-Joinerm.

2.13 Pruebas de hipótesis

Según Córdova (2003: p417-418) se denomina prueba de hipótesis a cualquier afirmación o conjetura que se hace acerca de la distribución de una o más poblaciones. Esta puede referirse a la forma o al tipo de distribución estadística de la población en estudio, o a los valores de los parámetros de la distribución, conocida su forma.

2.14 Hipótesis nula e hipótesis alternativa

Se denomina hipótesis nula (H_0) a la hipótesis que es aceptada provisionalmente como verdadera y cuya validez será sometida a comprobación experimental. Por lo tanto es la hipótesis principal a probar. La hipótesis alternativa (H_1) es la hipótesis contraria a la H_0 . Esta se acepta en caso la hipótesis nula sea rechazada.

La distribución muestral del estadístico de muestra se divide en dos regiones, la región de rechazo y la de aceptación. Si el estadístico de prueba cae en la región de aceptación no se rechaza H_0 , pero si cae en la región de rechazo se rechaza H_0 . La región se compone de los valores del estadístico de prueba con muy pocas posibilidades de presentarse en caso de que la hipótesis nula sea cierta. Es más probable que dichos valores se presenten si H_0 es falsa.

2.15 Nivel de significancia (α)

Es la probabilidad de rechazar H_0 siendo esta cierta. Este error se controla decidiendo el nivel de riesgo que uno esté dispuesto a correr al rechazar H_0 en caso sea cierta. Como el nivel de significancia se especifica antes de realizar la prueba de hipótesis, el riesgo de cometer el error de rechazar la hipótesis nula α está bajo control. Por lo general se selecciona niveles de 0.01, 0.05 o 0.10.

2.16 P-Value para la prueba de hipótesis

Según Levine (2008: p281) la mayoría de los programas estadísticos de computo calculan el p-value al realizar una prueba de hipótesis. El p-value es la probabilidad de obtener un estadístico de prueba igual o más extremo que el resultado de la muestra, dado que la hipótesis nula sea cierta. El p-value también se denomina nivel de significancia observado, es el nivel más pequeño que el que se puede rechazar H_0 .

Las reglas de decisión para rechazar H_0 con el método p-value son:

- Si el p-value es mayor o igual a α , no se rechaza H_0 .
- Si el p-value es menor que α , se rechaza H_0 .

2.17 Gráficos de Control

Los gráficos de control son potentes y sencillas herramientas visuales que pueden ayudar a determinar si un proceso está bajo control o fuera de control.

- Un proceso bajo control muestra sólo una variación aleatoria.
- Un proceso fuera de control muestra la variación inusual debido a la presencia de causas especiales.

En otras palabras, los gráficos de control pueden ayudar a determinar si el proceso está operando a un nivel constante. Los gráficos de control ayudan a determinar dónde enfocar los esfuerzos de resolución de problemas mediante la distinción entre común y especial las causas de variación.

Un gráfico de control por atributos se compone de:

- Puntos de datos trazados con en el tiempo, lo que representa una muestra racional de los datos de la muestra del proceso y están de acuerdo a :
 - El número de unidades defectuosas o defectos por muestra.
 - Las proporciones de las unidades defectuosas o defectos por muestra.
- Línea central, que es el promedio o proporción media de unidades defectuosas o defectos.
- Los límites de control que se establecen a una distancia de 3 sigmas a cada lado de la línea central y proporcionan una presentación visual para el número o la proporción de unidades defectuosas o defectos esperados.

Los límites de control establecen límites para la cantidad de variación que debe existir entre las muestras y predecir cómo el proceso debe comportarse. Los límites de control se basan en el comportamiento real del proceso, no el comportamiento deseado, debido a que no son de límites de especificación. Un proceso puede estar en control y sin embargo no ser capaz de cumplir con los requisitos.

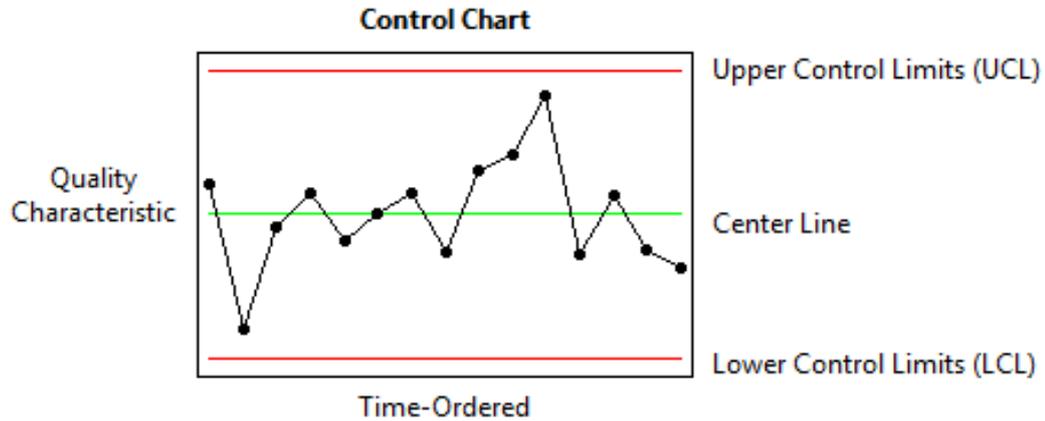


Figura 2.1 Gráficos de control

Fuente: Guía de Minitab (2007)

Los gráficos de control se usan para evaluar el patrón de variación para la estabilidad a través del uso de pruebas para causas especiales. Si detecta una causa especial de variación, usted debe buscar los factores que contribuyen a esta variación para que pueda implementar medidas correctivas.

2.18 Modelo de Nakiori Kano

Obtener la perspectiva o la voz del cliente es una ciencia. Según Pyzdek (2003), Nakiori Kano relacionó la satisfacción del cliente y la calidad en un modelo que está segmentado en 2 regiones la satisfacción y la insatisfacción, tal como se muestra en la Figura 2.1, para lo cual desarrolla tres expectativas por parte del cliente en base a la calidad las cuales denomina deleite, expectativa, básica.

Los requisitos básicos deben ser tratados como una obligación de cumplimiento pues al no cumplirlos puede insatisfacer al cliente, pero no puede incrementar la satisfacción.

Los requisitos esperados son aquellos requisitos que si son cumplidos causan satisfacción al cliente pero si no es logrado causa insatisfacción.

Los requisitos de deleite no causan insatisfacción, pero al cumplir con los requisitos esto causará un deleite a los clientes.

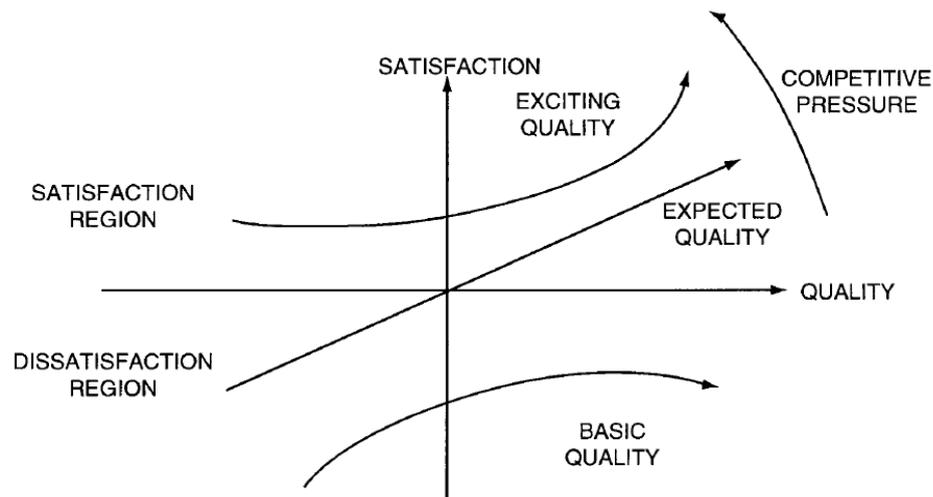


Figura 2.2 Modelo de Kano

Fuente: Pyzdek (2003)

2.19 Diseño de Experimentos (DOE)

Para el experimento de optimización, es necesario crear un diseño de modelado con los 2-5 factores críticos que tienen la mayor influencia en la respuesta. El objetivo experimental es determinar los ajustes de los factores críticos que crearán una respuesta deseada, tal como un valor máximo o mínimo, un valor objetivo, o un rango objetivo. El logro de este objetivo es a menudo un proceso de dos pasos. Minitab realiza una prueba en el diseño modelado inicial para ver si hay curvatura en los factores continuos. Si se detecta la curvatura, el segundo paso es añadir más carreras a su diseño para que pueda modelar la curvatura y usar ese modelo para determinar la mejor configuración para los factores críticos.

a. Identificar los factores.

Con base en los resultados del análisis estadístico y gráfico, lluvia de ideas de actividades, o de detección experimentos, se identifica un conjunto importante de factores (2-5) para el diseño de modelado. Todos los factores deben ser controlables y deben contar con sistemas de medición adecuados, para que pueda establecer de forma fiable a valores particulares en el experimento.

Si se ha identificado sólo 1 factor crítico, se debe tratar de identificar los factores adicionales. Para los factores que eliminan a través de la selección o análisis estadístico, se considera el uso de los diferentes niveles de los factores que podrían producir un efecto más fuerte. También se debe buscar puntos de datos inusuales que pueden haber enmascarado el efecto de un factor. Además, se debe hablar con otras personas familiarizadas con el proceso de identificar los factores que pueden haber perdido.

b. Definir los niveles de los factores.

Utilizar condiciones operativas del proceso actuales para definir los niveles de los factores para el experimento. Para cada factor numérico, se debe considerar cuánto puede aumentar o disminuir el factor de su configuración actual a ver una diferencia en la respuesta. Para un diseño de modelos, normalmente utiliza ajustes que están más cerca entre sí que el que un diseño de cribado. Debido a que el experimento de modelado utiliza sólo los pocos factores críticos que usted ya ha determinado tiene una fuerte influencia en la respuesta, hay menos necesidad de estirar los límites.

c. Determinar el tamaño de la muestra.

Cuando se utiliza un diseño de modelado, el modelo estima el efecto principal para cada factor, así como las interacciones entre cada par de factores. El principal efecto es la diferencia entre la media de la respuesta a la baja de ajuste de un factor y la media de la respuesta en el ajuste alto. Una interacción es la diferencia en el efecto de un factor en diferentes niveles de otro factor.

Se debe decidir lo que el efecto tamaño, o cambio en la media, tiene implicaciones prácticas para su proceso. Al crear el diseño de modelado, el informe resumen muestra el tamaño del efecto que tiene un 80% de probabilidades de detectar con el diseño, expresado en unidades de desviación estándar. Si desea detectar cambios pequeños en la media de la respuesta, usted necesita más datos. Para obtener más datos, puede repetir todas las carreras en el experimento, que se llama replicar el diseño. El informe indica que el tamaño del efecto que se puede detectar por diferentes números de repeticiones.

CAPITULO 3. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

3.1 Descripción de la Organización

La empresa es una Compañía dedicada a la fabricación de neumáticos, dedicándose también a la importación, exportación, comercialización y venta de toda clase de productos de caucho.

La empresa inició sus actividades con una línea básica de producción orientada a neumáticos convencionales para auto, camioneta y camión. Uno de los principales logros fue el paso a la producción de llantas radiales para el mercado local y exterior, iniciado en el 2004; lo cual representó un reto nuevo en un nuevo mercado interno y la implementación de muchas mejoras en su proceso de producción, desarrollando neumáticos radiales de alto desempeño.

Un paso también importante fue la implementación de un gran número de centros de servicio especializados en sus productos, objetivo que se logró gracias a la colaboración de los más de 100 distribuidores que tiene a nivel nacional. Actualmente el nivel de producción está dado por las siguientes cantidades de neumáticos producidas en las diferentes líneas de producción, tal como se muestra en la Tabla 3.1 Capacidad de Producción actual.

Tabla 3.1 Capacidad de Producción actual

Líneas de Producción	Cantidad de Neumáticos (diarios)
Neumáticos Pasajero Convencional	200
Neumáticos Camioneta Convencional	975
Neumáticos Camión convencional	300
Neumáticos Pasajero Radial	3,434
Neumáticos Camioneta Radial	860
Total	5,769

Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

Las actividades se desarrollan en un ambiente de trabajo adecuado para poder lograr la conformidad de los requisitos del producto y servicio que se requieren, realizando sus operaciones de manufactura en un área total de 80.128 m², con un área total construida de 40,995 m².

La empresa determina, provee y mantiene la infraestructura necesaria para alcanzar la conformidad con los requisitos del producto, la cual incluye:

- Edificios, espacio de trabajo e instalaciones.
- Equipos de proceso (tanto materiales y equipos como programas de computador).
- Servicios de apoyo (tales como transporte y comunicación).

Las actividades de manufactura se desarrollan en los 3 turnos de 8 horas, produciendo las 24 horas del día y 349 días al año. Para ello cuenta con un total de 306 trabajadores, entre personal administrativo y personal operario para dar soporte a sus operaciones:

- Asociados administrativos: 357
- Asociados operarios: 239
- Practicantes: 50

Los días operativos al año es de 349 días, lo cual permite llegar a una producción anual de aproximadamente 2.01 millones de neumáticos al año, considerando la capacidad actual en el año 2014.

La empresa basa la gestión de sus recursos humanos en las funciones y responsabilidades que exige cada puesto de trabajo respecto a sus Sistema de Gestión de la Calidad, Ambiental, Seguridad y Salud Ocupacional establecidos, asignándose y capacitando al número de personal requerido. De igual manera se establecen programas de entrenamiento para dicho personal, de modo que se garantice que cada asociado esté calificado para realizar las funciones y/o responsabilidades en los procedimientos operativos en los que está involucrado y que a su vez afecten al Sistema de Gestión Integrado.

Identifica sus requisitos internos de verificaciones y promueve los recursos adecuados, los recursos son analizados críticamente dos veces por año y están incluidos en el Plan Anual de Operación de Negocios (AOP).

La estructura Directiva está liderada por un Presidente y representada por 5 directores, entre los cuales son Ventas, Cadena de Suministro, Recursos Humanos, Manufactura y Finanzas, tal como se muestra en la Figura 3.1.

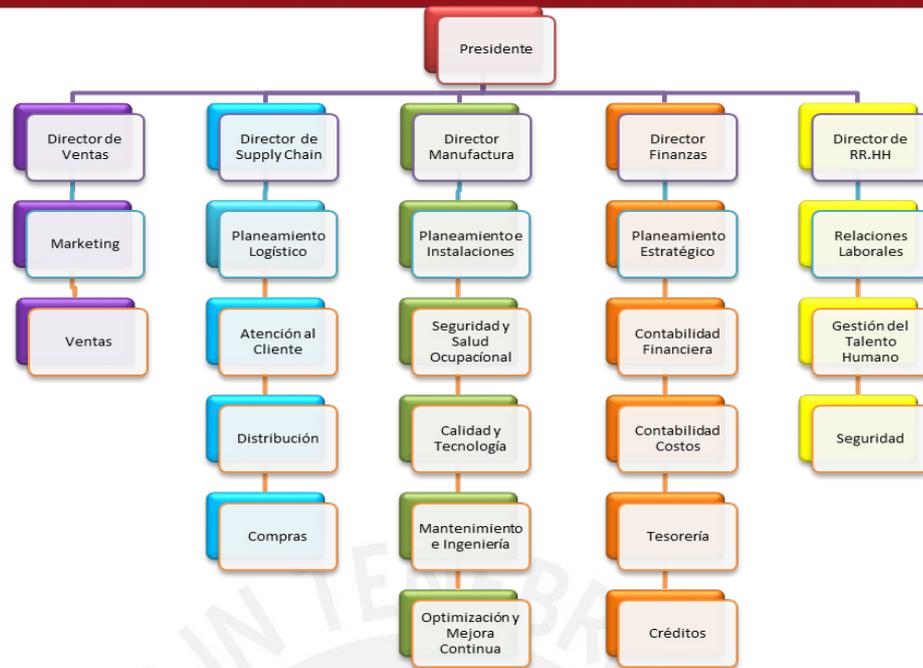


Figura 3.1 Estructura Directiva de la empresa
Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

A continuación se muestra la estructura de manufactura, en la cual está liderada por el Director de Manufactura y presenta 5 Gerencias encargadas de desplegar los lineamientos planificados. Estas Gerencias tienen un soporte por personas Líderes y Coordinadores, quienes tienen a sus mandos ingenieros de procesos, mantenimiento, tal como se muestra en la Figura 3.2.

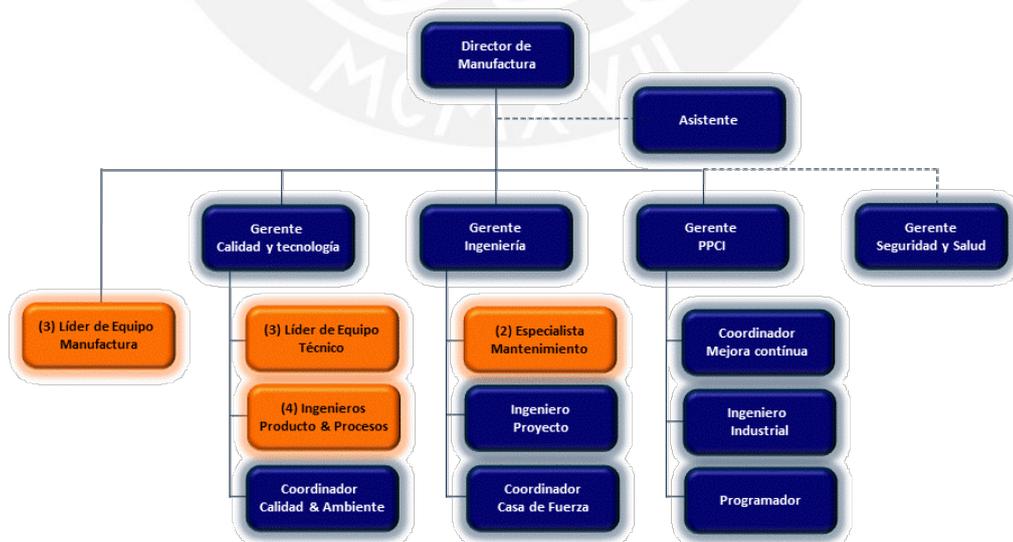


Figura 3.2 Estructura de Manufactura de la empresa
Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

De esta manera, se tiene una estructura de manufactura alineada a los 5 pilares, los cuales están basados en Seguridad y Salud Ocupacional, Responsabilidad Social y Ambiental, Satisfacción al cliente en Calidad, Mejora continua y Capacidad de la Organización, como se puede ver en la Figura 3.3 Estrategia de Manufactura.

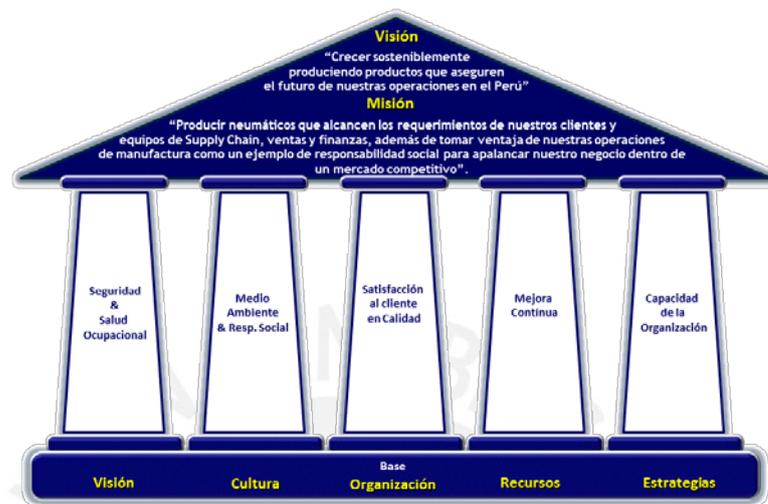


Figura 3.3 Estrategia de Manufactura de la empresa

Fuente: Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

A continuación en la Figura 3.4, se presenta la Interacción de los procesos desde procesos de Dirección, Planificación, Operativo y Soporte, enfocados a los clientes. El proceso gerencial es el encargado de realizar las políticas de gestión, comerciales, desplegados en los objetivos, asignación de recursos requeridos para el soporte de todos los procesos del sistema, enfocados a una cultura de mejora continua.

El proceso de ventas y servicio al cliente (SAC) está orientados a la venta de neumáticos a distribuidores, realizando las correspondientes promociones de tipos y clases de neumáticos, así como las estimaciones de requerimientos de neumáticos en el mercado.

El proceso de Planeamiento y Control de la Producción (PPCI) es el encargado de la planificación de la producción, así como del abastecimiento de los recursos de materia prima para las operaciones internas. Para ello requiere de los estimados de las ventas a desarrollarse a futuro entregados por el Área de Ventas. El proceso de compras está enfocado a dar soporte con los materiales indirectos e directos requeridos por el proceso de producción.

El proceso de producción es el encargado de producir los neumáticos de acuerdo al programa de producción establecido en el planeamiento de la producción,

entregando los tipos y cantidad de neumáticos en las fechas establecidas. Mantenimiento de equipos y calibración son clave para brindar soporte a las actividades de producción con la finalidad de garantizar la eficiencia de las máquinas.

De haber un requerimiento de producción de alguna medida de neumático no producido en la planta, será el área de Diseño y Desarrollo quienes desarrollarán los neumáticos requeridos en el mercado.

El proceso de distribución es el responsable de gestionar la logística de manejo y entrega de los neumáticos a los clientes, de acuerdo a los requerimientos.

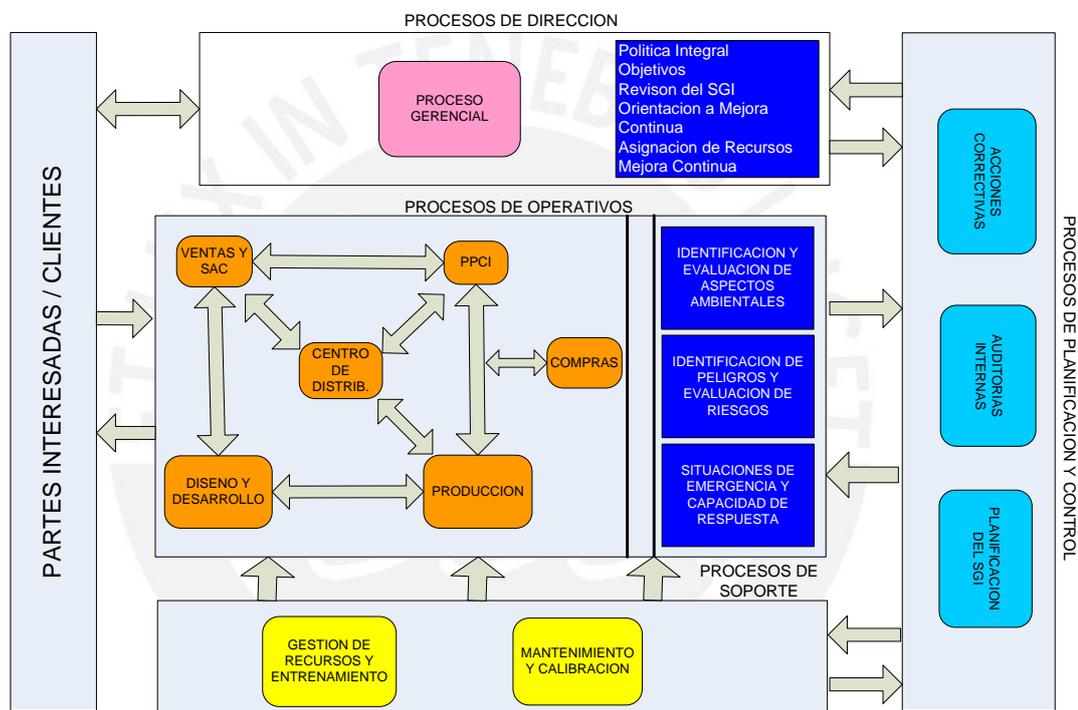


Figura 3.4 Diagrama de Interacción de los procesos

Fuente: Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

3.2 Descripción del proceso productivo

El proceso de manufactura de un neumático es bastante complejo, desde la materia prima que se usa para dar las características especiales a cada tipo de neumático, hasta la liberación de los neumáticos para venta.

El neumático es una mezcla de una serie de compuestos, así como el ensamblado de componentes de caucho, telas, metales. Entre los insumos más usados en los compuestos de caucho, se tienen:

- Caucho natural y sintético.
- Negro de humo

- Azufre
- Pigmentos
- Aceites
- Telas y acero
- Otros.

Estos insumos son almacenados en un área establecida para abastecer a los subsiguientes procesos. A continuación se realizará una descripción de los principales procesos productivos del neumático.

3.2.1 Pesado de pigmentos

El pesado de pigmentos se realiza mediante la formulación requerida por cada tipo de compuesto, según lo requerido por la especificación, estos pigmentos son enviados al mezclador según requerimiento de producción, tanto en para una mezcla no productivo (mezcladora #2) como mezcla productiva (mezcladora #1).

3.2.2 Proceso de mezclado

El proceso de mezclado se realiza en un equipo llamado Banbury, que es un mezclador cerrado en el cual se adicionan los polímeros, caucho natural y sintético con otros componentes industriales; entre ellos, el negro de humo, plastificante y pigmentos químicos.

Actualmente se trabaja con 2 mezcladoras (Banburys), no productivo y productivo, los cuales presentan un sistema de extracción de gases y partículas para evitar la contaminación ambiental y prevenir cualquier impacto a la salud de los trabajadores.

Toda mezcla tiene una especificación de tiempo y temperatura; cuando estas condiciones fuesen alcanzadas, la mezcla cae a un molino donde es laminada mediante dos cilindros rotativos, para luego ser apiladas en forma de tachadas sobre plataformas para su posterior uso, las cuales son identificadas dependiendo del tipo de compuesto que se haya producido.

Los molinos tienen campanas de extracción local para los gases y partículas que se generen durante el proceso.

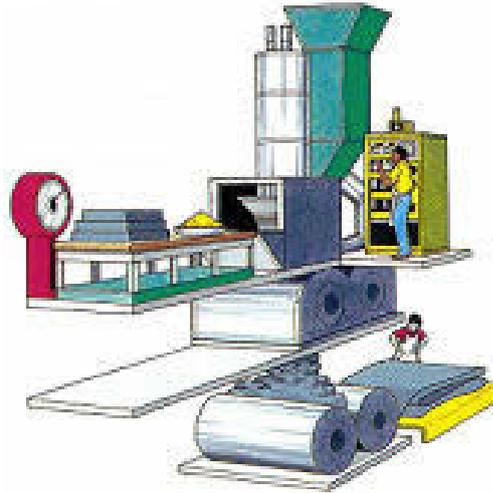


Figura 3.5 Proceso de mezclado

Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

3.2.3 El proceso de Entubado

En los molinos de entubadora, el compuesto mezclado se precalienta, homogeniza y alimenta mediante fajas hacia los molinos en serie; los cuales calientan la goma para dar mejor viscosidad previo al proceso de entubado; una vez la goma lista es enviada mediante rieles al cabezal de matrices para poder producir los diferentes tipos de componentes que son necesarios para la producción de neumáticos como son rodados, costados, apex. Los costados y apex son enrollados y almacenados en carretes metálicos y los rodados son colocados en carros especialmente fabricados (carros libros), para luego ser almacenados en el área respectiva.

A algunos componentes como rodados se adiciona una goma especial llamada "cojín", los cuales van en los extremos de los rodados, esta goma es alimentada por calentamiento en una extrusora de alimentación.

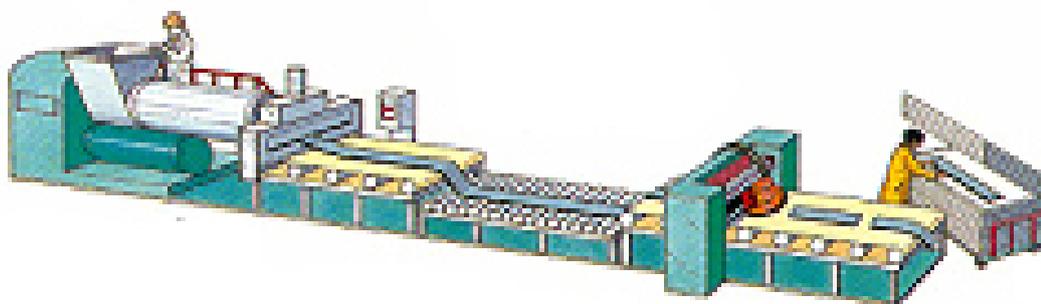


Figura 3.6 Proceso de entubado

Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

3.2.4 Proceso de Calandrado

La tela nylon y poliéster que se encuentran enrolladas en bobinas, se alimenta a un tren de calandria que tiene como objetivo recubrir de goma las telas nylon y polyester, tanto en la parte inferior como la parte superior de las telas, dependiendo del tipo de calibre requerido por los componentes.

Los compuestos de goma son precalentados, homogenizados y alimentados a molinos para luego ser alimentados a rodillos llamados calandria, donde se recubre con goma las dos caras de la tela nylon. El material que se obtiene de este tren de calandrias se envía a rodillos secadores, rodillos de enfriamiento y se almacena en rollos llamados tratamientos, los cuales serán enviados a la etapa de corte.

3.2.5 Proceso de Cortado

Los rollos de tratamiento radial y auto camioneta convencional son llevados a una máquina cortadora de pliegos, la cual corta los pliegos a los anchos y ángulos requeridos según especificación de medida.

Para la operación se emplean desenrolladores que permiten que los rollos de tratamiento sean alimentados a la máquina cortadora de pliegos, fijándose el ángulo de corte; una vez cortado el tratamiento se une mediante empalmes de las telas manualmente y se enrolla, en este punto el material es denominado rollo de pliegos. Para el caso de radiales, estos rollos son enviados posteriormente a una Calandria de goma, la cual se adiciona a los pliegos de tela un componente adicional conocido como “liner” y “toeguard”, el cual permite dar características de impermeabilidad y reforzamiento en zona de pestaña al neumático radial respectivamente. Estas gomas son agregadas mediante el calandrado de rodillos.

Los rollos de tratamiento camión convencional se cortan en la máquina cortadora de pliegos a los anchos y ángulos requeridos, dependiendo de la función del material del producto. Para la operación se emplean desenrolladores que permiten que los rollos de tratamiento sean alimentados a la máquina cortadora

Estos pliegos de camión cortados según los anchos y ángulos requeridos, son enviados a la máquina de construcción de bandas, la cual según los requerimientos de diámetro se construyen las bandas para ser enviadas a construcción camión.

La cortadora de tela de recubrimiento radial “overlay”, es una máquina la cual corta los pliegos enviados por calandria, para poder ser enviados a construcción y ser utilizados para brindar un reforzamiento adicional después de colocar los cinturones metálicos, esto depende de cada medida radial.

3.2.6 Proceso de calandreado metálico (Steelastic)

El compuesto de goma es alimentado a una extrusora la cual permite cubrir de goma (compuesto) a los alambres de acero; de este proceso sale un tratamiento de acero el cual es cortado y enrollado en carretes en máquinas de calandreo metálico, los cuales luego son enviados a unas máquinas de construcción de absorbedores en donde son conformados dependiendo el tipo de diámetro requerido. Dado que una medida consta de dos tipos de absorbedores, un absorbedor puede o no llevar un recubrimiento adicional en el borde.

3.2.7 Proceso de Conformadora de Absorbedores

En esta máquina se producen cinturones de absorbedores de acuerdo a especificación, con material proveniente de Steelastic. Los absorbedores son colocados en máquinas similares a tambores, los cuales dan las dimensiones de diámetro de cinturón para cada tipo de medida requerida, la cual ensamblan dos tipos de absorbedores en un solo cinturón.

3.2.8 Proceso de Construcción de Pestañas Radial y Convencional

El compuesto de goma es alimentado a una extrusora la cual aplica goma al alambre de acero. Una vez forrado el alambre se pasa a un aro; con características como diámetro, número de vueltas y números de hilos; lo que se conoce con el nombre de pestañas.

Se construyen pestañas para dos tipos de líneas de producción como son pestañas para neumáticos radiales y pestañas para neumáticos convencionales.

Para las pestañas de línea radial se tienen dos clases, pestañas planas y pestañas pentagonales, las pestañas pentagonales son construidas en un tipo especial de máquina, estas pestañas son exclusivas para medidas radiales; para el caso de pestañas camión convencional, se adiciona un recubrimiento especial conocido como cubre pestaña o antifricción.

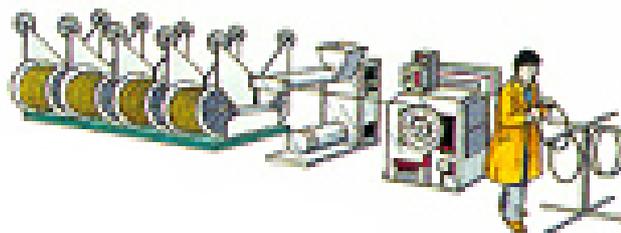


Figura 3.7 Proceso de construcción de pestañas

Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

3.2.9 Proceso de construcción radial y convencional

Los materiales como pliegos, bandas, costados, rodados, pestañas, cinturones metálicos, “overlay” se van colocando en máquinas con tambor rotatorio. El tipo de máquina, tambor y la cantidad de materiales son variables dependiendo del modelo de llanta, por lo general los productos son modelos: pasajero (radial), camioneta, camión y tractor. En el proceso de construcción los productos obtenidos se denominan “llantas verdes”, las cuales son almacenadas en carros planos o racks.

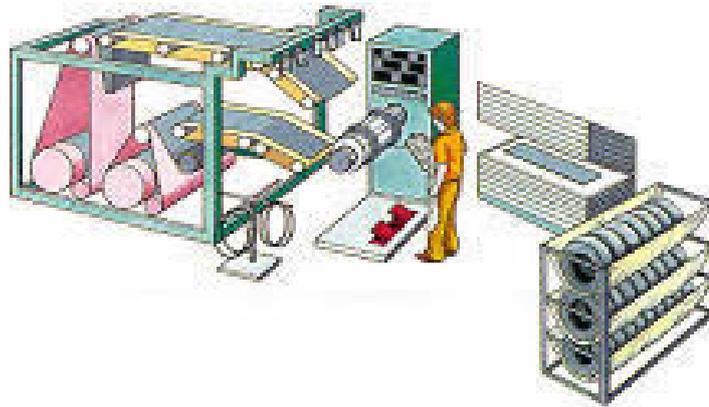


Figura 3.8 Proceso de construcción

Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

3.2.10 Proceso de Pintado de llantas verdes

En esta fase del proceso se aplican soluciones lubricantes a las llantas verdes, estas soluciones impiden que la llanta cruda se pegue a los bladders en el proceso de vulcanización.

3.2.11 Proceso de Vulcanización radial y convencional

Las llantas verdes ya pintadas, se alimentan a las prensas de vulcanización, en la prensa se va conformando la llanta a medida que se va cerrando la prensa, la llanta permanece en la prensa hasta que termine el ciclo de vulcanización.

El proceso de vulcanización de una llanta se realiza en relación directa con la presión, temperatura y tiempo especificados, dependiendo del tipo de medida a vulcanizar. Actualmente se cuentan con dos líneas de vulcanización, línea A y línea B; la línea A cuenta con un total de 34 prensas y la línea B con un total de 42 prensas de vulcanización.

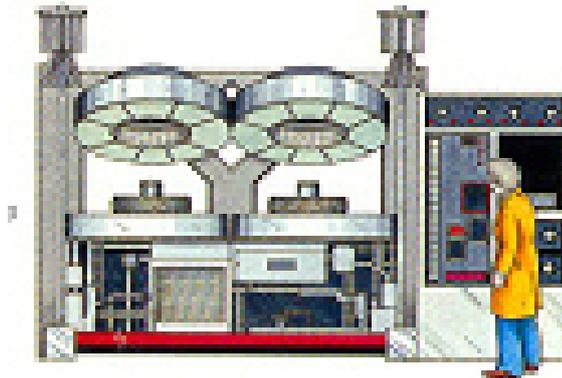


Figura 3.9 Proceso de vulcanización

Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

3.2.12 Proceso de Inspección de llantas

La inspección de llantas son realizadas por personal calificado, entrenado para esta labor, la cual tiene como principal objetivo verificar que los neumáticos que son enviados al almacén no tengan ningún tipo de defecto de apariencia o funcional. La inspección de los neumáticos es del 100% y los inspectores colocan su número de identificación al lado del neumático, lo que evidencia que el neumático fue inspeccionado.

3.2.13 Proceso de Rayos X

Este es un proceso de apoyo para los neumáticos radiales, los cuales son revisados mediante escáner para verificar que no tengan ningún tipo de defecto interno en la zona de absorbedores (breaker) o pestañas que el inspector no pueda haber detectado.



Figura 3.10 Proceso de raxos x

Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

3.2.14 Proceso de Variación de Fuerza y Balanceo de neumáticos

Este proceso es realizado para el 100% de los neumáticos radiales, los cuales son revisados por parámetros como variación radial, variación lateral, armónica, conicidad, balance estático y dinámico.

3.2.15 Proceso de Almacenamiento

Todas las llantas inspeccionadas son colocadas en parihuelas de donde se transportan por medio de montacargas al almacén de productos terminados, una vez ingresados en el sistema están listos para ser despachados.

En cada etapa de los procesos de producción están establecidos procedimientos e instructivos tales como:

- Aprobación y liberación de compuestos productivos
- Aprobación de materias primas
- Cambio de especificaciones en el proceso de fabricación
- Recepción, almacenamiento, identificación y despacho de materias primas
- Procedimiento de identificación y trazabilidad
- Liberación de producto: inspección y re-inspección del producto terminado
- Controles de parámetros de uniformidad en neumáticos radiales
- Proceso de diseño y desarrollo de neumáticos
- Pruebas de certificación de neumáticos
- Planificación de la producción local e importada
- Entrenamiento de personas
- Control de productos no conformes
- Control de documentos y registros
- Calibración de equipos de medición
- Control del producto reprocesado
- Inventario de Producto Terminado
- Importación y exportación de productos
- Reclamos de clientes
- Auditorías de procesos y sistemas

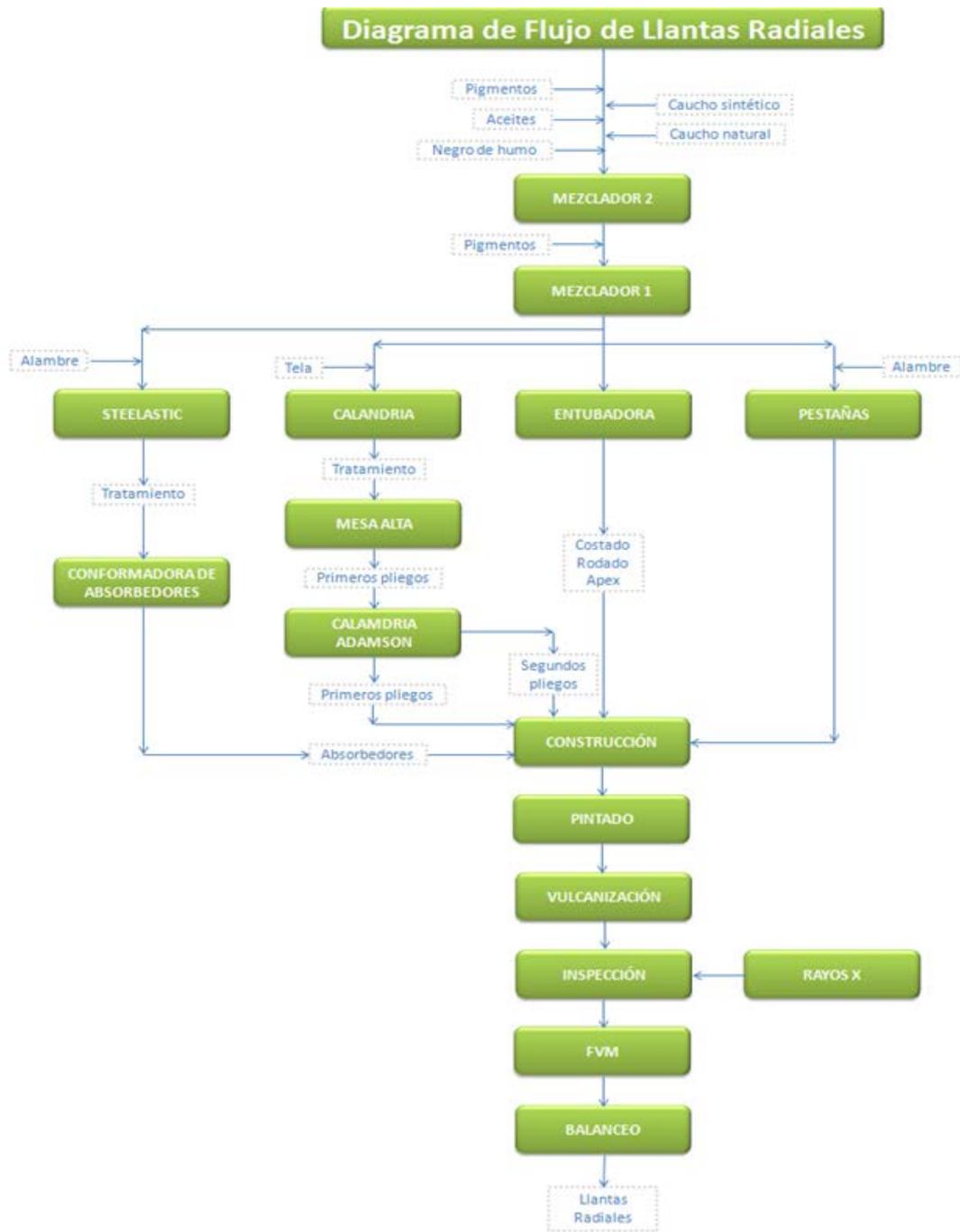


Figura 3.11 Diagrama de Flujo del Proceso de manufactura del Neumático

Fuente: Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

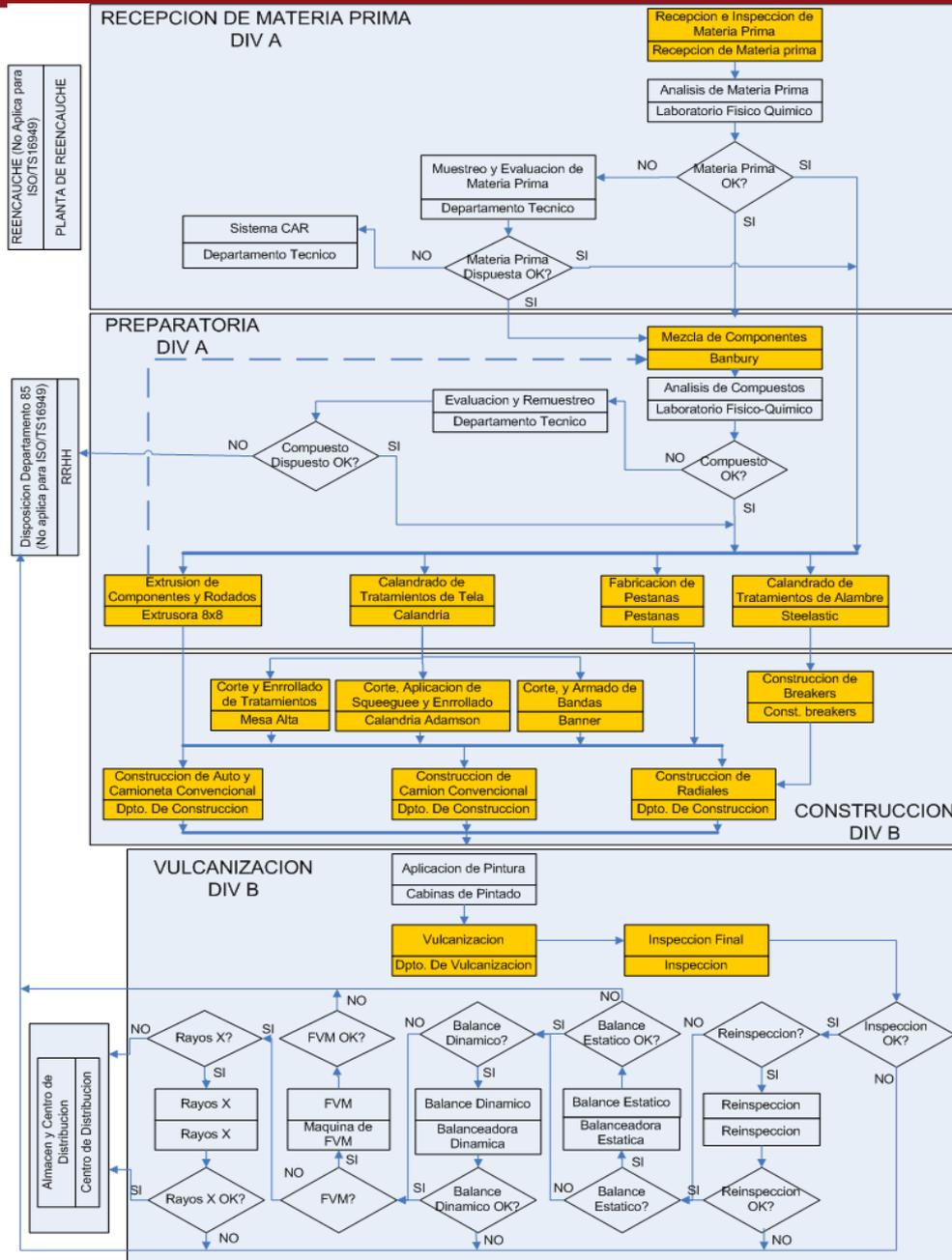


Figura 3.12 Mapa del Proceso productivo de neumáticos

Fuente: Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

3.3 Principales Indicadores Claves de Procesos (KPI)

Se revisarán los principales indicadores de la organización, así como los roles dentro de los equipos de proyectos, propuesta de metodología para evaluación y selección de proyectos de mayor impacto en el negocio de la empresa.

Los indicadores claves de Procesos están orientados a cumplir con las estrategias planteadas para los próximos años, según lo mostrado en la estrategia de manufactura. Para ello se desarrolló indicadores claves del proceso de manufactura

orientados al cumplimiento de los objetivos planteados, estos fueron definidos dando prioridad al retorno de la inversión y flujo de dinero, Seguridad y salud Ocupacional de las personas y cuidado del ambiente, calidad del producto y proceso, desarrollo de personas, tal como se muestra en la Tabla 3.2 Resumen de los Indicadores Claves de Procesos de Manufactura.

3.3.1 Indicadores de Negocio

Los indicadores de negocio están enfocados a medir el desempeño del negocio en valor monetario. Estos indicadores están ligados directamente al nivel de ventas y nivel de costos de producción. Por ejemplo el EBIT mide el nivel de margen de ganancia del negocio con respecto al mismo nivel de inversión con respecto al año anterior. De forma similar, el indicador flujo de caja mide el nivel de disponibilidad de efectivo que presenta la empresa y relaciona indirectamente el nivel de endeudamiento para próximos proyectos de inversión.

3.3.2 Indicadores de Seguridad y Salud Ocupacional, Medio ambiente

Orientados a cumplir con todos los requerimientos legales en seguridad, medio ambiente y requerimientos que la empresa estableció con la finalidad de garantizar la seguridad de sus trabajadores, enfocando sus actividades a tener una cultura de Seguridad y Medio ambiente Total en sus instalaciones, para lo cual estableció como indicadores principales el número de incidentes; si bien de manera estadística representa un número, la empresa orienta la seguridad como cero accidentes. El indicador de auditorías está relacionado a la revisión del cumplimiento de los requerimientos de Seguridad y Medio ambiente de acuerdo a las normas OHSAS18001 e ISO14001 y requerimientos de la empresa.

Los indicadores de sostenibilidad como uso de solventes, consumo de energía, consumo de agua, están relacionados a asegurar los recursos naturales y reducir el impacto que se generen por consumo de los mismos, buscando siempre la reducción mediante proyectos de mejora. De la misma forma, se presenta un objetivo bastante importante para garantizar una correcta gestión de los residuos que se generen de las actividades de producción, en la cual el cero envío a rellenos obliga a poder gestionar los residuos sólidos de manera que puedan ser reciclados en su totalidad por empresas validadas por la DIGESA (Dirección General de Salud) y de esta forma asegurar la correcta gestión de los mismos.

3.3.3 Indicadores de Calidad de Producto y Proceso

Enfocados a mejorar la satisfacción de sus clientes, para ello enfoca sus acciones a reducir el nivel de desperdicio de los procesos, reducir los niveles de reclamos de clientes por incumplimiento de requerimientos de calidad. Como se puede visualizar en la Tabla 3.2, el nivel actual de desperdicio total generado en planta y el nivel de reclamos productos a la no calidad del neumático son dos aspectos a mejorar y que son de suma importancia para el crecimiento de la empresa.

Indicadores como cumplimiento de requerimientos de normas ISO9001, mediante las auditorías está orientado a verificar el funcionamiento de los sistemas de calidad de los procesos. De la misma forma, indicadores como peso del neumático es de suma importancia debido a que con ello garantizas que los neumáticos cumplan con un estándar de peso, sino también, puedas prevenir impactos en los niveles de costos por exceso de consumo de materia prima en la elaboración del neumático.

3.3.4 Indicadores de Producción y Productividad

Enfocados al cumplimiento del programa de producción, niveles de producción como tonelaje almacenado, cantidad de neumáticos almacenados, cumplimiento de requerimientos de producción como nivel de utilización de equipos, entrega de neumáticos a tiempo al cliente, reducción de costos de conversión, reducción de costos de materiales, incrementar nivel de ahorros por implementación de mejoras en los procesos o productos.

A continuación se presenta en la Tabla 3.2 Resumen de los principales Indicadores Claves de Procesos de Manufactura, mostrando los niveles de cumplimiento para el año 2014. En ella se puede observar, que los principales indicadores claves de procesos los cuales la empresa no alcanzar están enfocados a los niveles de productividad como son el desperdicio de planta, número de neumáticos rechazados por el cliente, eficiencia operacional de equipos, costo de conversión. De esta forma, una vez presentado el panorama general de los indicadores claves del proceso (KPI) de la empresa, es importante definir proyectos de mejora los cuales deben estar enfocados a la mejora de los objetivos claves.

Según la Tabla 3.2 unos de los principales indicadores de procesos está determinado por el Desperdicio Total, el cual representa el desperdicio de todo el proceso productivo, el cual indica que en el año 2014, este objetivo estuvo por encima en un 15%, influyendo directamente al costo de producción. Es por ello, la necesidad de orientar proyectos enfocados a la mejora de la calidad de los procesos productivos con la finalidad de mejorar considerablemente este indicador clave del proceso, este análisis de desarrollará en el Capítulo 4.

Tabla 3.2 Resumen de los Indicadores Claves de Procesos de Manufactura 2014

1. Indicadores de negocio	OBJETIVO	VALOR
Ebit (MMUS\$)	20.50	15.00
Flujo de Dinero (MMUS\$)	-3.63	-2.94
2. Seguridad y Salud Ocupacional, Medio Ambiente	OBJETIVO	VALOR
Accidentes OHSAS	0.55	0.54
Auditorías de Seguridad y Medioambiente	96%	96%
Consumo de solvente (lb/ton)	2.81	2.62
Consumo de energía (BTUs/lb)	5,613	5,809
Cero no cumplimientos ambientales	0	0
Cero envío a rellenos sanitarios	0	0
Consumo de Agua (Mgal/ton)	0.395	0.526
3. Calidad de Producto y Proceso	OBJETIVO	VALOR
Desperdicio Total (%FSV)	1.50	1.73
Uniformidad de Equipo Original (%)	80	100
Retorno de producto por fallas (ppm)	31	54
Auditoría Interna de Calidad	95%	96%
Peso de Neumáticos (%)	95.0	95.3
4. Producción y Productividad	OBJETIVO	VALOR
Unidades producidas - (000)	1,524,307	1,535,049
Peso de unidades producidas LBS (000)	45'293,171	41'014,639
ASA (%)	93.0	93.9
OEE (%)	83.8	82.2
Costo de conversión /100LBS (U\$)	49.7	53.8
Costo de Materiales/100LBS (U\$)	109.8	105.6
Ahorros de Conversión (U\$)	889,981	981,979
Ahorro de materiales (U\$)	542,954	668,790
5. Gastos de Capital	OBJETIVO	VALOR
Manufactura (MM U\$)	5.824	5.601
6. Personas	OBJETIVO	VALOR
Alineamiento de objetivos	1trimestre	Realizado
Revisión de desempeño	2	Realizado

Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

3.4 Perspectiva de Desarrollo

El mercado actual para la producción de neumáticos está dominado por un 75% neumáticos de reemplazo, los cuales están dirigidos para reposición de neumáticos para autos y un 25% de neumáticos de Equipo Original, los cuales están dirigidos a compañías ensambladoras de autos como parte de suministro del auto, Frent (2010). Si bien es cierto, el mayor porcentaje del mercado son neumáticos de reemplazo, estos están orientados a medidas de neumáticos pasajero y camioneta con un 60%, camión y buses con un 25% y neumáticos para agrícolas y aviación con un 15%, tal como se muestra en la Figura 3.13 – Segmentación del mercado de neumáticos de reemplazo. El mayor valor percibido está dado en neumáticos camión, debido a que este representa un mayor ingreso en temas de margen de ganancia para toda empresa productora.

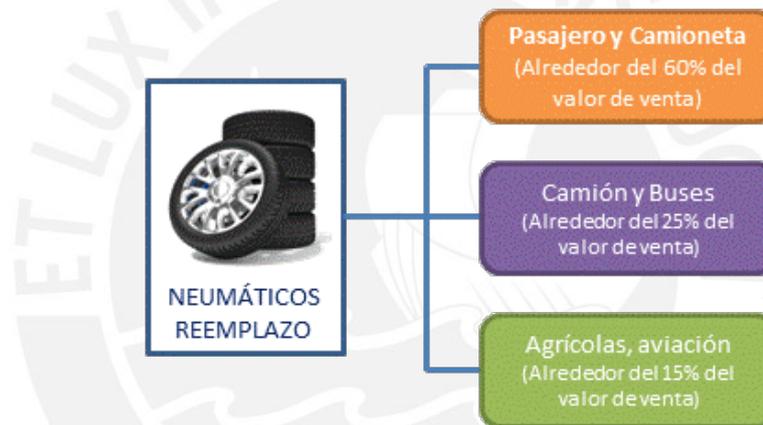


Figura 3.13 Segmentación del mercado de neumáticos de reemplazo

Fuente: World Tyre Manufacturers, Market Analysis (2010) – Adaptación propia.

La perspectiva de desarrollo del mercado actual está enfocada en el crecimiento del mercado de la línea radial. El mercado de venta de neumáticos está orientado a clientes directos, quienes son bastecidos por cadenas de distribuidores, cadenas de supermercados, y clientes empresariales quienes están orientados a volúmenes de neumáticos para minería, flotas de buses y camiones.

Actualmente se viene produciendo un cambio global en la línea de neumáticos, de convencional a neumáticos radiales, el cual viene incrementándose considerablemente en los últimos años debido a la renovación del parque automotor, con vehículos pasajeros y camionetas las cuales ingresan al mercado con neumáticos de la línea radial obligando a las empresas productoras de neumáticos a cambiar progresivamente los niveles de producción de sus líneas.

En la Figura 3.14 Demanda de líneas de neumáticos en las regiones, muestra las tendencias de la demanda de neumáticos y el nivel de impacto en la producción de la misma.

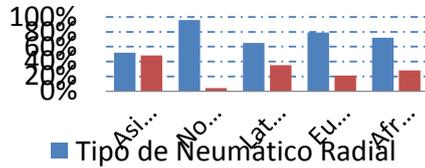


Figura 3.14 Demanda de líneas de neumáticos en las regiones 2010 - 2015

Fuente: World Tyre Manufacturers, Market Analysis (2010)

Si bien es cierto, los niveles de demanda de cada línea de producción varían en cada región, es importante tener en cuenta la tendencia de cambio que se viene realizando en los últimos años, considerando también que el 75% de los neumáticos producidos son derivados posteriormente a mercados externos como Brasil, Colombia, Chile, Ecuador, entre otros. Por ejemplo para Latino América se puede observar que la demanda de la línea convencional fue disminuyendo hasta llegar a un 35% aproximadamente, lo que muestra la evolución del parque automotor hacia una radialización de neumáticos.

Los cambios en los niveles de producción de neumáticos están relacionados a las salidas de la industria automotriz, los cambios en la economía global y la expansión de producción en la industria de automóvil conducen al crecimiento de la industria de producción de neumáticos.

Según el estudio de mercado realizado por Frent (2010), la industria de neumáticos será beneficiada con la expansión de producción de vehículos globalmente, como se muestra en la Figura 3.14 Proyección de número de Vehículos en las carreteras en mn unidades, esto originará una mayor demanda en cantidad de neumático para los vehículos; en donde el mayor crecimiento está enfocado a los neumáticos para vehículos ligeros (auto y camioneta).

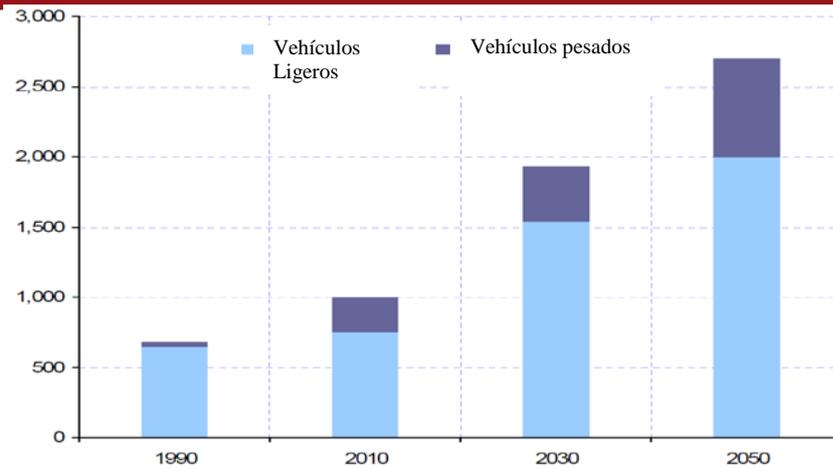


Figura 3.15 Proyección de número de Vehículos en las carreteras (nm)

Fuente: World Tyre Manufacturers, Market Analysis (2010)

Como se ha podido visualizar, la importancia de utilizar una metodología que permita garantizar los niveles de calidad del neumático, reduciendo las variaciones del proceso y de esta forma reduzca el nivel de defectos es de total importancia, más aún cuando la satisfacción de los clientes en los diversos mercados de exportación así lo amerita.

Si bien es cierto, en la actualidad existen diversidad de herramientas y metodologías de mejora de procesos, se considera que utilizando la metodología Six Sigma, se alcanzará un mayor impacto y será sostenido en el tiempo. Tal como fue descrito en el capítulo 1, Six Sigma es una de las metodologías en el mundo la cual está ayudando a mejorar los procesos productivos enfocándose en la reducción de desperdicios y variaciones de procesos, usando herramientas de mejoras de procesos y solución de problemas, ayudando de esta manera a incrementar la satisfacción de las necesidades de los clientes.

CAPITULO 4. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA COMO SISTEMA SIX SIGMA

Para el desarrollo de los procesos de mejora se usará la metodología Six Sigma para conducir las mejoras y alcanzar soluciones enfocadas a las causas raíces. Sin embargo, las buenas métricas y las disciplinas de la metodología no son sólo suficientes para una organización que desea alcanzar mejoras y cuyos resultados sean sostenibles en el tiempo. Por tal motivo, se propondrá la implementación de un sistema de gestión Six Sigma.

Six Sigma como un sistema de gestión incorpora los modelos de gestión de los procesos de negocio, tratando a los procesos del negocio como bloques de construcción organizacional, quebrando las barreras organizacionales para que de esta forma las mejoras de los procesos puedan ser sostenibles en el tiempo. Para ello utiliza el proceso de la metodología Six Sigma como un valor de gestión en la empresa determinado por roles y funciones estructurados, selección de equipos de mejora, selección de los proyectos a desarrollarse de acuerdo a las necesidades de mejora e impacto en el negocio. A continuación, se muestra en la Figura 4.1 el proceso a desarrollar en el presente capítulo como un sistema de gestión Six Sigma según lo recomendado por McCarty *et al.* (2004).



Figura 4.1 Proceso de la metodología como sistema Six Sigma

Fuente: Elaboración propia

4.1 Roles dentro de la metodología Six Sigma.

Desde el punto de vista sistemático y debido a que Six Sigma se desarrolló como un sistema de gestión práctico para la mejora continua de los procesos, se debe centrar su gestión en algunos puntos clave detallados como:

- El entendimiento y gestión de los requerimientos del cliente.
- El alineamiento de los procesos claves para alcanzar estos requerimientos.
- Utilizar datos de análisis rigurosos para entender y minimizar las variaciones en los procesos claves.
- Rápida conducción y mejora sostenible para los procesos.

Según la estructura de manufactura presentada en el capítulo 3, se realizan algunos cambios organizacionales y se recomienda la siguiente nueva estructura en base a lo expuesto anteriormente.

Cabe indicar que el cambio está principalmente enfocado a tener un liderazgo adicional (Equipo de Optimización de Planta) con un Gerente de Optimización y Mejora Continua, el cual esté soportado mediante un equipo de trabajo como Coordinadores de mejora de cada división, como se puede visualizar en la siguiente Figura 4.2 Nueva Estructura de Manufactura.

El gerente de Optimización de planta y su equipo tendrán las funciones de liderar equipos enfocados a identificar, evaluar y desarrollar proyectos de mejoras en la eliminación de las más grandes pérdidas de la organización para generar el mayor retorno en ahorros, optimizando recursos y maximizando la productividad. Como principales objetivos propuestos son:

- Reducir o eliminar pérdidas.
- Generar ahorros
- Estandarizar métodos de trabajo.
- Aumentar la productividad de equipos o procesos.
- Maximizar el involucramiento de los equipos de mejora.
- Sostener las mejoras en el tiempo.

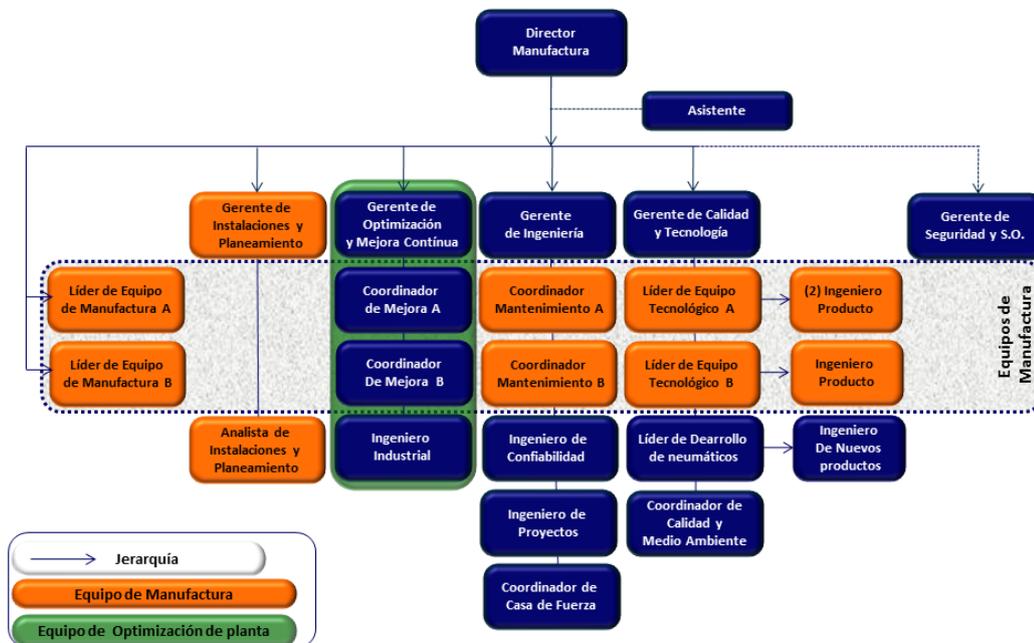


Figura 4.2 Nueva Estructura de Manufactura

Fuente: Elaboración propia

Estos objetivos están alineados a brindar soporte a los indicadores claves de procesos (KPI) de la empresa mostrados anteriormente en la Tabla 3.2.

De manera de comunicar el alineamiento de las estrategias enteramente a toda la organización.

Definida una estructura de optimización para la implementación del sistema Six Sigma, es importante que la gerencia de Optimización de planta busque desarrollar un liderazgo transaccional para obtener un correcto desempeño de los equipos, estos estilos de liderazgo pueden basarse en los estilos recomendados por McCarty *et al.* (2004), tales como Direccionamiento, Entrenamiento, Soporte y Delegación.

Estos estilos de liderazgo deben ser definidos y desarrollados antes que se implementen los equipos de mejora continua.

- Direccionamiento: Está basado en la correcta formación de equipos, asignación de funciones, tareas y programas.
- Entrenamiento: Está basado en el involucramiento de las actividades de los equipos, como entrenador, entregando retroalimentación y crítica constructiva a los equipos, lidera con conocimiento.
- Soporte: Basado en brindar soporte a los equipos mediante direccionamiento y entrenamiento participativo. Participa con ideas y sugerencias para discusión con los equipos.
- Delegación: Basado en el direccionamiento del cumplimiento de las actividades estratégicas, revisando el progreso y proporcionando retroalimentación.

4.2 Selección de equipos Six Sigma

Los proyectos o campañas de Six Sigma son una iniciativa de envolver equipos multifuncionales basados en proyectos de mejora de procesos y son dirigidas y organizadas desde arriba hacia abajo, según la estructura propuesta. Cada equipo de mejora de procesos adoptará la metodología DMAIC como una herramienta de solución de problemas.

El Sistema de Gestión Six Sigma requiere no sólo de un comité, alineado con equipo de liderazgo; sino también, profesionales entrenados y dedicados hacia la mejora continua de los procesos.

Para ello se presenta una estructura completa conformada por Sponsor, Champion, líderes de procesos, Green Belts, Black Belts y Master Black Belts, equipos de proyectos y considerando la actual estructura organizacional con la que cuenta la empresa, se propone una organización Six Sigma la cual se encuentre distribuida de la siguiente manera:

- Sponsor
- Líder del proceso
- Black Belts
- Green Belts

Esta propuesta de formación de equipos concuerda con lo propuesto por Pyzdek (2003) debido a que la empresa cuenta con una estructura pequeña; con 1 Black Belts y 2 Green Belts. Cabe resaltar que se requiere la formación de más Green Belts y Black Belts para el sostenimiento del sistema Six Sigma; para ello se recomienda que la empresa cuente con 3 Black Belts y 9 Green Belts debido al tamaño actual de la empresa, de acuerdo a lo establecido en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Formación de equipos Six Sigma

Cargo	Número de integrantes recomendados – Estructura Six sigma
Sponsor	De acuerdo a lo establecido en la estructura empresa
Champions	
Líder de proceso	
Black Belts	Por cada 100 trabajadores mínimo 1 Black Belt
Green Belts	Por cada Black Belt mínimo 2 Green Belt

Fuente: Elaboración propia

La formación de equipos de mejora no sólo debe estar en función del conocimiento de las personas en el proceso, sino también en este caso se debe contar con personas para desarrollarlos como futuros Green Belts y formar una estructura más sólida. Es por ello en la Tabla 4.2 se presenta la matriz de perfil de los integrantes de los equipos Six Sigma (Pyzdek, 2003) y en la Tabla 4.3 se presenta las principales funciones de los integrantes de los equipos Six sigma (Pyzdek, 2003).

Tabla 4.2 Matriz del Perfil de los integrantes de los equipos Six Sigma

Perfil		Sponsor/ Champion /Líder del proceso	Black Belts	Green Belts
Formación	Maestro en Administración de Empresas	x		
	Ingeniería de Producción, Ingeniería Mecánica, Ingeniería Industrial, TPM certificado.	x	x	
	Ingeniería o Técnico de producción			x
Experiencia	10 años de experiencia en manufactura o aplicación de la Metodología TPM en empresas	x		
	7 años de experiencia en manufactura y aplicación de metodología TPM/Six Sigma/Lean Manufacturing		x	
	3 años de experiencia en manufactura y aplicación de metodología TPM/Six Sigma/Lean Manufacturing			x
	Experiencia trabajando en implementación de principales metodología de mejoras en manufactura		x	x
	Buen entendimiento de la gestión del cambio y mitigación de problemas relacionados a las personas	x	x	
Conocimientos, Habilidades y Capacidades	Conocimientos Funcionales	x	x	
	Capacidad para dirigir grupos de trabajo multi-funcionales.	x	x	
	Habilidades para resolver problemas analíticos y fuertes.		x	x
	conocimiento de las herramientas utilizadas en Lean (5S, KAIZEN, SMED, DMAIC, A3)		x	x
	Demostrar liderazgo y de trabajo en equipo habilidades	x	x	
	Herramientas de resolución de problemas.		x	x
	El conocimiento de los requisitos y herramientas de ISO/TS16949		x	x
	Conocimientos de programas informáticos (Minitab)		x	x
Habilidades de comunicación verbales, idioma Inglés	x	x	x	
Atributos Personales	Confiable: Confianza en sí mismo cuando se trabaja con personas y equipos en todos los niveles	x	x	x
	Líder: Motivador, capaz de adaptarse al hacer frente a diferentes situaciones y adversidades	x	x	
	Innovador: Trae innovación relevantes en la construcción del negocios, alienta a los miembros para aportar ideas	x	x	x
	Asertividad & pragmatismo: Transforma los planes en enfoques concretos que son audaces, pero práctico	x	x	
	Mentalidad Digital - Rápida y Ágil: Actúa muy rápido con su equipo una vez que se tome una decisión		x	x
Rasgos de Liderazgo	Desarrollar Talentos y Equipos: desarrolla y mejora las capacidades de sí mismo, individuos, equipos	x	x	
	Solucionador de Problemas: crea soluciones innovadoras de negocios, mejora continua		x	x
	Comunicador Eficiente: comunicador claro y conciso, expresa informaciones e ideas eficazmente; escucha	x	x	x
	Valiente: Demuestra confianza, decisión y habilidad para asumir riesgos calculados.		x	x

Fuente: The Six Sigma Handbook – Pyzdek. (2003)

Tabla 4.3 Principales funciones de los equipos Six sigma

Cargo	Principales Funciones
Sponsor	Son miembros del equipo de liderazgo principal, ejecutivos o gerentes. Es quien dirige las campañas sobre una base diaria y gestiona el proyecto para verificar si se encuentra alineado al set de proyectos establecidos con los objetivos, brindado soporte al equipo.
Champions	Normalmente son los ejecutivos quienes tienen la responsabilidad de uno o más proyectos individuales. Los Champions a menudo son gerentes de divisiones y tienen como funciones las aprobaciones de planes de proyectos, aprobaciones de recursos. Los champions trabajan cercanamente con los equipos con la finalidad de asegurar que los equipos entiendan los objetivos estratégicos de las campañas Six Sigma, realizan reuniones regularmente con sus equipos revisando los resultados y proponiendo recomendaciones. Los champions son parte fundamental para la retroalimentación con el liderazgo.
Líder de proceso	Son los responsables desde el inicio y el final de un proceso. Los líderes del proceso enfatizan el principal foco del sistema de gestión Six Sigma, implementan cambios de mejoras en el proceso y miden el desempeño del mismo.
Black Belts	Es un ejecutor del Six Sigma quien tiene un riguroso entrenamiento en métodos estadísticos usados para evaluar y analizar los datos y resultados en los proyectos Six Sigma. Deben tener habilidades y conocimiento para liderar proyectos a través de la organización, actúan como mentores y entrenadores de Green Belts e identifican buenos proyectos para Six Sigma.
Green Belts	Es un profesional en Six Sigma desempeñándose usualmente a medio tiempo, quien es entrenado en metodologías de solución de problemas, DMAIC y herramientas de estadísticas básicas. Los Green Belts son miembros de equipos de proyectos.
Equipo de proyectos	Aplican la metodología DMAIC para los procesos asignados para reunir la data del proceso, análisis de la data, determinar las causas raíces de variaciones, generan soluciones, y luego implementan procesos de mejora y monitorean los resultados. El equipo del proyecto por lo general está formado por uno o más Green Belts.

Fuente: The Six Sigma Handbook – Pyzdek. (2003)

Cabe resaltar que el entrenamiento para el desarrollo de los proyectos es fundamental; es por ello que cada persona envuelta en las campañas de Six Sigma, desde el liderazgo hasta la parte funcional, debe recibir entrenamiento en la metodología Six Sigma, herramientas de solución de problemas y herramientas estadísticas dependiendo de las funciones a desarrollar en el equipo.

De acuerdo a la Sociedad Americana para la Calidad (ASQ por sus siglas en inglés) mediante sus programas de entrenamiento establecen entrenamientos específicos para Black Belts y Green Belts de acuerdo a una estructura de entrenamiento aislada; de igual manera, el entrenamiento propuesto por *McCarty et al. (2004)*, presenta un tipo de entrenamiento con periodos de evaluación de acuerdo a la estructura, funciones y complejidad de la empresa expuestos en la Tabla 4.1. Por tal, se recomienda seguir lo lineamientos propuestos por *McCarty et al. (2004)* debido a que se ajusta al tipo de aprendizaje que se pretende desarrollar en la empresa, el cual es presentado en la siguiente Tabla 4.4 Entrenamiento para el equipo Six Sigma.

Tabla 4.4 Entrenamiento para el equipo Six Sigma

<p>Liderazgo de equipos</p>	<p>Conformado entre Champions, Sponsor y equipo de liderazgo de planta. Entrenamiento debe ser focalizado a alinear los proyectos con las estrategias de negocios y soporte en recursos, para la gestión de los avances del proyecto.</p> <p>Duración recomendada: 2 días o 16 horas.</p>
<p>Black Belts</p>	<p>Preparar a los Black Belts para liderar los equipos de mejora.</p> <p>Entrenamiento en herramientas de solución de problemas y estadísticas, controles estadísticos de procesos, Análisis de sistemas de medición, gestión de procesos, solución de problemas y liderazgo de equipos.</p> <p>Duración recomendada: 20 días o 160 horas.</p>
<p>Green Belts</p>	<p>Preparar a los miembros para ejecutar las actividades de los proyectos. Entrenamiento en herramientas de solución de problemas y estadísticas, controles estadísticos de procesos, Análisis de sistemas de medición.</p> <p>Duración recomendada: 5-10 días o 40- 80 horas.</p>

Fuente: The Six Sigma Black Belt Handbook - *McCarty et al. (2004)*,

4.3 Selección de proyecto Six Sigma

Para la selección de proyectos Six Sigma, fue necesario conocer el diagnóstico basados en los requerimientos de los clientes y los indicadores claves del proceso (KPI), con el fin de conocer las oportunidades de mejora requeridos para alcanzar los niveles planificados; a partir de este análisis se presentarán proyectos potenciales y se seleccionará el proyecto.

Para ello es necesario conocer las voces de cada uno de los tipos de cliente y priorizar la importancia de cada una de las voces. En este caso se han evaluado las diferentes áreas del negocio las cuales son representadas por sus indicadores claves de procesos (KPI) como clientes internos y la voz de los clientes; esto permitió conducir a una selección del proyecto de forma adecuada, siendo representada en la Matriz de Selección de Proyectos, la cual creará un suministro constante de proyectos, de acuerdo a lo presentado por Kelly (2002).

El análisis está en función del siguiente diagrama de prioridades el cual es establecido por la empresa, los cuales considera como criterios para la satisfacción y desglosa de manera piramidal los críticos para el costo, críticos para la calidad y críticos para la entrega. De esta manera en el siguiente cuadro se presenta los asuntos del cliente y se determina de una manera resumida los asuntos que son importantes para el cliente (cliente interno y externo), siendo los elementos que más valoran los clientes; para ello cabe resaltar, que la información fue proporcionada de manera directa por parte del equipo de Ventas, Marketing y Servicio al Cliente, quienes determinaron impactos en niveles de satisfacción del cliente, de ventas y de reclamos.

Los asuntos del cliente como objetivos estratégicos, costos de conversión, materia prima y eficiencia del proceso fueron determinados por un análisis en áreas internas de la empresa. Para ello la información de asuntos del cliente es resumida como se muestra en la tabla 4.5.

Tabla 4.5 Asuntos del cliente.

Asuntos del cliente	Impacto en la satisfacción del cliente	Impacto en los objetivos estratégicos	Impacto en los costos de conversión	Impacto en los costos de materia prima	Impacto en el nivel de ventas	Impacto en nivel de reclamos	Impacto en la eficiencia del proceso	Impacto en otros grupos de interés
----------------------------	--	---------------------------------------	-------------------------------------	--	-------------------------------	------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta la propuesta del proceso de selección de proyectos basados en una Matriz de Proyectos, la cual se determinará de forma valorativa. Para ello primero es importante definir los criterios de evaluación. Estos criterios de evaluación están basados en niveles de importancia del cliente y el grado del proyecto, esto permitirá tener una valoración respecto al impacto de los proyectos y dar una importancia para el desarrollo de los mismos.

En la Tabla 4.6 Nivel de importancia del cliente, se muestra la relación entre el nivel de importancia del cliente y el impacto con el plan estratégico, desde 0 a 10, desde un no importante hasta un nivel crítico para el cliente respectivamente.

Tabla 4.6 Nivel de importancia para el cliente con el Plan Estratégico

Importancia del Cliente	Relación de importancia para el cliente
0	No importante
3	Poco importante
5	Importante
8	Muy importante
10	Critico

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.7 Relación del proyecto con los asuntos del cliente, se muestra la valoración del grado del proyecto y la relación que tienen con respecto a los asuntos del cliente; desde 0 a 10, desde una no existencia de correlación hasta una completa correlación respectivamente.

Tabla 4.7 Relación del proyecto con los asuntos del cliente

Grado del proyecto	Relación con asuntos del cliente
0	No existe correlación
3	Poca correlación
5	Alguna correlación
8	Alta correlación
10	Completa Correlación

Fuente: Elaboración propia

Una vez definidos los criterios, se procedió a evaluar los proyectos identificados, mostrados en la Tabla 4.8 Proyectos Potenciales; los cuales fueron seleccionados por las diferentes áreas del negocio, las cuales son representadas por sus indicadores claves de procesos (KPI) como clientes internos y la voz de los clientes, tal como se comentó anteriormente.

Tabla 4.8 Proyectos Potenciales

<i>A</i>	Reducción de número de neumáticos defectuosos entregados al cliente
<i>B</i>	Reducción de nivel de reproceso en Entubadora
<i>C</i>	Reducción del nivel de desperdicio en los procesos
<i>D</i>	Mejora del tiempo de entrega de neumáticos al cliente
<i>E</i>	Mejora de las variaciones del peso del neumático
<i>F</i>	Reducción de variaciones de calibre de pliegos en neumáticos camión convencional

Fuente: Elaboración propia

De esta forma se presenta la Tabla 4.9 Matriz de Selección de Proyectos, en la cual se muestra la evaluación de los cinco proyectos potenciales de mejora, los cuales fueron evaluados en función de los criterios presentados en la Tabla 4.5 y Tabla 4.6. La evaluación de los proyectos fue realizada no sólo por los líderes, Black Belts y Green Belts; sino también en esta actividad participaron un representante del equipo de Ventas, Marketing y Servicio al Cliente, quienes ayudaron a valorar los proyectos de acuerdo a los criterios establecidos.

A continuación se muestra como ejemplo la valoración del proyecto potencial A, el cual es valorado y calculado como $(10 \times 10) + (8 \times 10) + (5 \times 5) + (0 \times 3) + (10 \times 5) + (5 \times 5) + (3 \times 3) + (5 \times 3) = 304$.

De la misma forma se evalúa el proyecto potencial de C, el cual es expresado como $(8 \times 10) + (10 \times 10) + (10 \times 5) + (0 \times 3) + (8 \times 5) + (5 \times 5) + (10 \times 3) + (3 \times 3) = 334$.

Tabla 4.9 Matriz de Selección de Proyectos

Asuntos del cliente	impacto en la satisfacción del cliente	impacto en los objetivos estratégicos	impacto en los costos de conversión	impacto en los costos de materia prima	impacto en el nivel de ventas	impacto en la innovación del producto	impacto en la eficiencia del proceso	impacto en otros grupos de interés	VALOR DEL PROYECTO
Importancia para el cliente	10	10	5	3	5	5	3	3	

A	Reducción de número de neumáticos defectuosos entregados al cliente	10	8	5	0	10	5	3	5	304
B	Reducción de nivel de reproceso en Entubadora	3	5	10	3	0	0	10	3	178
C	Reducción del nivel de desperdicio en los procesos	8	10	10	0	8	0	10	3	309
D	Mejora del tiempo de entrega de neumáticos al cliente	10	5	0	0	8	0	8	5	229
E	Mejora de las variaciones del peso del neumático	5	5	10	8	3	0	8	0	213
F	Reducción de variaciones de calibre de pliegos en neumáticos camión convencional	5	5	5	8	3	0	8	3	197

Fuente: Elaboración propia

Una vez calculado el valor de cada proyecto en la matriz de proyectos, es importante definir una metodología de solución para los proyectos, es por ello que se definió un rango el cual es presentado en la Tabla 4.10 Metodología de Solución del Proyecto. Donde se propone una metodología de solución para valores del proyecto dividido en tres niveles.

Tabla 4.10 Metodología de solución del proyecto

Grado de Importancia	Rango	Metodología de Solución
3°	Menor a 100 puntos	A3 u otras técnicas de solución de problemas.
2°	De 100 a 250 puntos	Six Sigma - Green Belt y black belt
1°	Mayor a 250 puntos	Six Sigma – Green belt, Black Belt, líder del proceso y sponsor

Fuente: Elaboración propia

A continuación en la Figura 4.3 se puede visualizar el resumen del valor de los proyectos. Para el caso del Proyecto A y C – Reducción de número de neumáticos defectuosos entregados al cliente y la reducción del nivel de desperdicios en los procesos, los valores del proyecto fueron de 304 y 309 puntos respectivamente, por lo que se concluye que el proyecto es crítico con un grado de importancia de 1° grado, siendo Six Sigma la metodología de solución, liderada por un equipo formado por un Green belt, un Black Belt, líder del proceso y sponsor para el proyecto.

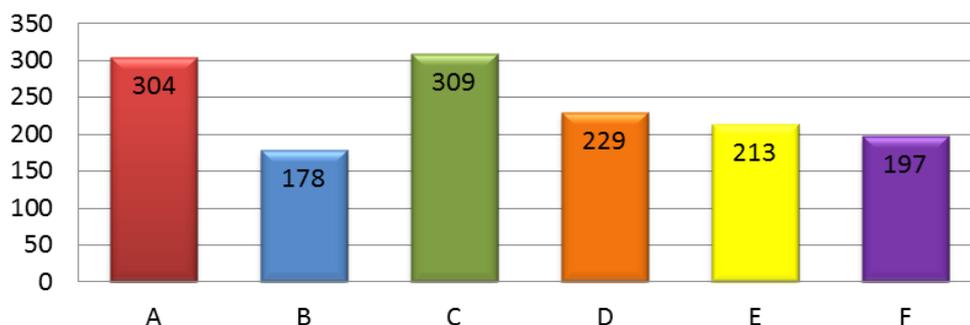


Figura 4.3 Resultados del valor de los proyectos

Fuente: Elaboración propia

Este proceso de selección de proyectos nos proporciona una simple y fácil forma de reunir la información apropiada de todas las áreas del negocio (Plan Estratégico – KPI – Voz del cliente) y establece una clasificación adecuada de los proyectos.

De lo mostrado anteriormente, se concluye para el presente trabajo, el enfoque estará basado en el proyecto C, reducción del nivel de desperdicio en los procesos, es por ello que posteriormente se desarrollará toda la metodología descrita anteriormente.

CAPITULO 5. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA DMAIC

Las principales fases de un proyecto de mejora de procesos están establecidas mediante Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Control (DMAIC), cada fase consta de un conjunto de herramientas y entregables.

La ventaja del proceso DMAIC son los entregables contenidos en cada una de ellas. Los entregables contenidos proporcionan un enfoque común, estructurado para la solución del problema establecido en el presente trabajo. Para cada fase, hay algunas actividades primarias que realizar para dar una respuesta a lo requerido en cada fase, lo cual permita de esta forma establecer un proceso ordenado de desarrollo de la metodología. A continuación en la Figura 5.1 se muestra el proceso DMAIC a seguir en el presente trabajo.

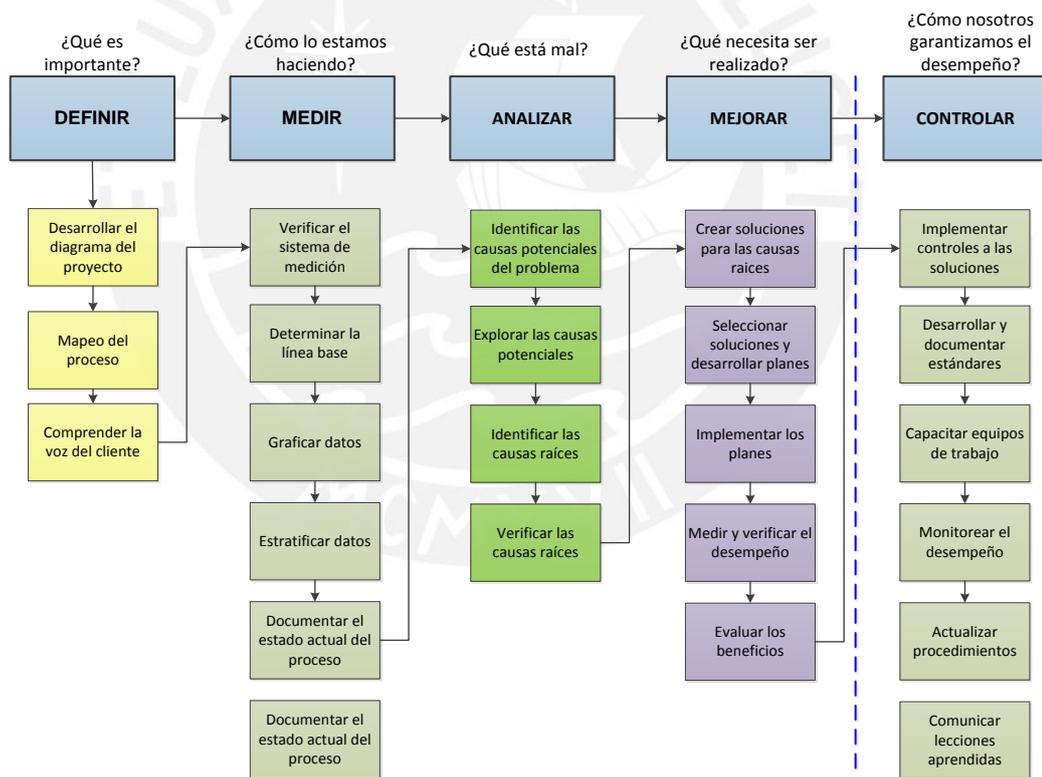


Figura 5.1 Proceso DMAIC

Fuente: Elaboración propia

5.1 Fase Definir

El principal propósito de la presente fase definir es asegurar que la metodología a implementar esté enfocado a mejorar los requerimientos que se han definido como claves en el negocio, es por ello necesario poder definir de manera correcta el principal foco del proyecto. El equipo debe entender de manera clara los requerimientos del proceso, esto considera escuchar primero la voz del cliente y la voz del negocio para luego trasladar esta información a valores medibles llamados los críticos para la calidad y críticos para el proceso.

En la presente fase se establecerán los entregables primarios que se espera desarrollar con la finalidad de garantizar una correcta definición del problema y por consecuencia una solución eficaz. Es por ello que a continuación se presentan los entregables primarios que son necesarios para el proyecto:

- Roles del equipo
- Análisis de la voz del cliente y voz del negocio
- Mapas del proceso
- Beneficios identificados
- Diagrama del proyecto

A continuación en la Figura 5.2 se muestra la interacción de los entregables desde el punto de vista sistémico presentando a la selección de proyectos, mostrado en el capítulo anterior, como un proceso previo para el desarrollo de la fase definir.

5.1.1 Roles del Equipo

Para un buen desarrollo del proyecto de Six Sigma, se requiere tener también un buen equipo y un buen trabajo en equipo, para ello a continuación se definirá la formación del equipo del proyecto; esta selección del equipo está basada en la experiencia de las personas en el proceso, conocimiento de herramientas estadísticas, solución de problemas y el entendimiento en las áreas a implementar el proyecto.

La formación del equipo está representada por un Champion, Black Belts y Green Belts de la siguiente manera, como se muestra en la Tabla 5.1 Formación del equipo de proyecto y de acuerdo a lo presentado anteriormente en el capítulo 4.2.

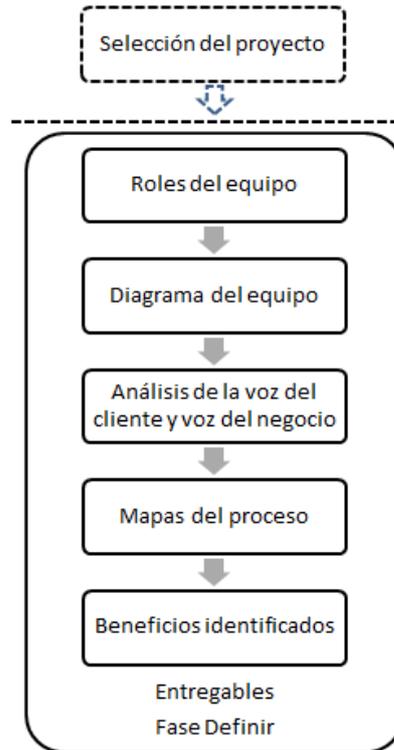


Figura 5.2 Entregables de la fase Definir

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.1 Formación del equipo de proyecto Y1

Rol	Cargo
Champion	Gerente de Mejora Continua
Black Belts	Coordinador de Mejora Continua
Green Belts	3 Ingeniero de procesos

Fuente: Elaboración propia

Una vez definido la formación del equipo, es importante establecer herramientas de gestión de los equipos, con la finalidad de introducir al equipo en los principales roles a ejercer en el proyecto.

Para esto se recomendará establecer reuniones de agendas y objetivos con la finalidad de llevar de manera correcta las reuniones y poder lograr efectividad en ellas; para ello, se definirá la agenda con anticipación de 3 días por parte del Champion y será comunicada a todas las personas del equipo con el objetivo de que las personas puedan asistir a las reuniones preparadas y conozcan los puntos

a ser tratados, las reuniones del equipo del proyecto se realizarán semanalmente, cada viernes de la semana con una duración de 2 horas.

Esta agenda contemplará objetivos claros y definidos para cada reunión, una lista de responsables de las acciones a tomar, fechas de compromisos de cierre de acciones, así como comentarios u acuerdos adicionales posteriores. Adicionalmente, se medirá la eficacia de las reuniones y se evaluará de forma rápida algunas categorías propuestas tal como se muestra en Un ejemplo de agenda para las reuniones es mostrada en la Tabla 5.2 Propuesta de Agenda y minuta de reunión tales como:

- Entrega de resultados
- Participación
- Dinamismo
- Atención
- Cumplimiento de las reglas básicas

La evaluación será realizada con una valoración del 1 al 10 para cada punto y de esta forma se determinará la cantidad total representando la eficacia de la reunión, para lo cual, se debe tomar en cuenta los criterios de eficacia mostrados en la Tabla 5.2. El líder del proyecto podría direccionar el problema con el equipo de trabajo para la mejora de la eficacia en las próximas reuniones.

Para llevar una reunión efectiva y eficiente es importante establecer reglas para la gestión interna del equipo, con la finalidad de prevenir o evitar la ocurrencia de conflictos entre las personas y mantener un desempeño superior en la implementación del proyecto. Estas reglas deben ser firmadas al inicio del proyecto por todas las personas que conforman el equipo del proyecto y de esta forma dan por sentado el conocimiento y aceptación de las reglas.

Es por ello que a continuación se presentan las algunas reglas establecidas por el equipo y otras fueron tomadas de lo propuesto por McCarty *et al.* (2004).

- Inicio de las reuniones en la hora y tiempo establecido.
- No interrumpir a una persona del equipo cuando expresa sus ideas.
- Celulares en silencio o en modo vibración, pueden contestar llamadas retirándose de la sala de reunión.
- Por ningún motivo está permitido la falta de respeto entre los integrantes del equipo.
- De presentarse algún contratiempo para la asistencia, será informado al Champion del proyecto con anticipación a la reunión.

- Las acciones establecidas en las reuniones deben ser cumplidas según lo requerido y en el tiempo establecido.
- Estas reglas básicas definen el éxito de la gestión del equipo y serán verificadas por el Champion como parte de sus funciones.

En las reuniones primará el proceso conocido como “lluvia de ideas”, siendo el principal objetivo generar una cantidad importante de ideas para ser evaluadas y definirlas como acciones futuras, así como crear un ambiente de creatividad e innovación siendo esta una característica común entre todos los integrantes del equipo.



Tabla 5.2 Propuesta de Agenda y minuta de reunión

AGENDA Y MINUTA DE REUNIÓN

1.- PROYECTO :
 2.- ASISTENTES :
 3.- AUSENTES :
 4.- ASUNTO : Seguimiento de actividades de proyecto
 5.- FECHA Y HORA :
 6.- AGENDA :

Actividad	Tipo de Actividad	Duración	Responsable	Comentario
6.1 Análisis de causas				
6.2 Revisión de principales acciones				

7.- ACUERDOS :

8.- MEDICIÓN DE LA EFICACIA DE LA REUNIÓN:

PUNTOS A EVALUAR	EVALUACIÓN (DEL 1 AL 10)
1. Entrega de resultados	
2. Participación	
3. Dinamismo	
4. Atención	
5. Cumplimiento de reglas básicas	
EFECTIVIDAD TOTAL:	

NOTA:
 Mayor o igual a 40 puntos reunión efectiva
 De 30 a 40 puntos reunión con oportunidades pero aceptable, pueden tomar acción para la mejora.
 Menor a 30 puntos reunión necesita mejorar, incluir acciones para la mejora.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.3 Reglas Básicas para los equipos Six Sigma

REGLAS BÁSICAS PARA LOS EQUIPOS SIX SIGMA		
1.- PROYECTO:		
2.- INTEGRANTES DEL EQUIPO:		
3.- REGLAS BÁSICAS:		
3.1 Inicio de las reuniones en la hora y tiempo establecido.		
3.2 No interrumpir a una persona del equipo cuando expresa sus ideas.		
3.3 Celulares en silencio o en modo vibración, pueden contestar llamadas retirándose de la sala de reunión.		
3.4 Por ningún motivo está permitido la falta de respeto entre los integrantes del equipo.		
3.5 De presentarse algún contratiempo para la asistencia, será informado al champion del proyecto con anticipación a la reunión.		
3.6 Las acciones establecidas en las reuniones deben ser cumplidas según lo requerido y en el tiempo establecido.		
4.- FIRMAS DE CONFORMIDAD:		
Las personas que firman líneas abajo dan aceptación y conformidad a comprometerse con cumplir con cada una de las reglas descritas para un eficaz desarrollo del proyecto y en claro respeto a los integrantes del equipo.		
_____	_____	
Champion	Black belt	
_____	_____	_____
Green Belt1	Green Belt2	Green Belt3

Fuente: Elaboración propia

5.1.2 Análisis de la voz del cliente a Críticos para la calidad

Para definir la voz del cliente, el equipo se enfocará a determinar lo que es importante para el cliente, lo que quiere y necesita, en este sentido se usará de referencia la base de datos interna.

El siguiente proceso de análisis tiene como objetivo determinar la voz del cliente (VOC) en los requerimientos críticos del cliente (CCR) y cómo se determina en los críticos para la calidad (CTQ) del producto o proceso, como se muestra en la Figura 5.3.



Figura 5.3 Proceso de determinación de VOC a CCR a CTQ

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis de la voz del cliente, en el presente trabajo también se tomó en cuenta el análisis del modelo de Noriaki Kano (Pyzdek, 2003, p.120), para lo cual se procede a esquematizar al neumático desde el punto de vista del cliente interno como el externo tal como se muestra en la Figura 5.4.

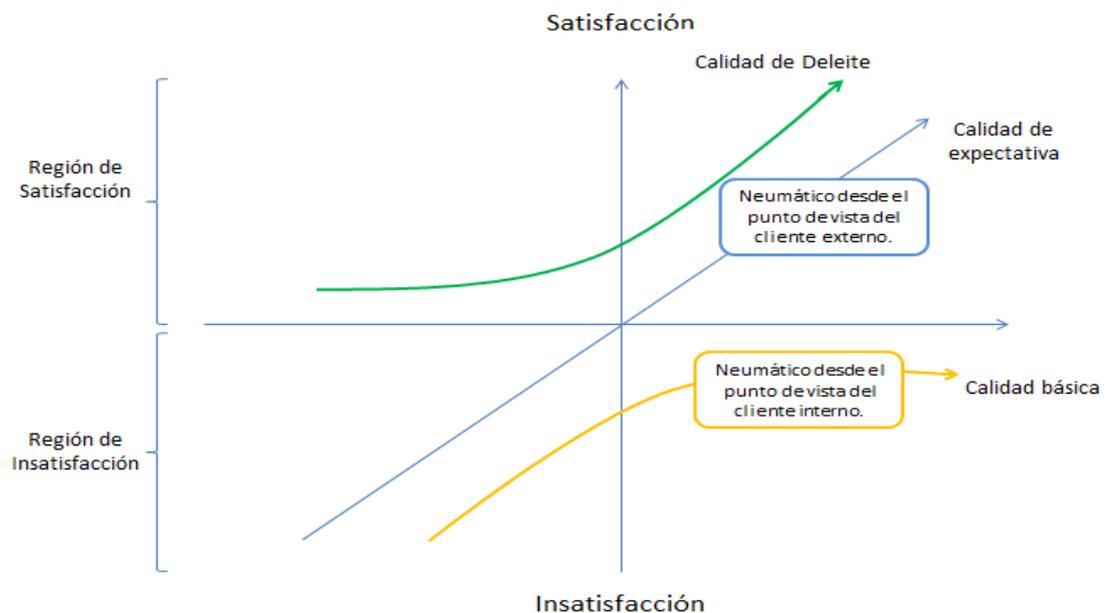


Figura 5.4 Representación del neumático – Modelo de Kano

Fuente: The Six Sigma Handbook – Pyzdek. (2003)

Como se puede visualizar, desde el punto de vista de cliente interno el neumático es considerado como un conjunto de los componentes internos que se necesitan para desarrollar el neumático en el proceso, de esta forma la calidad de cada componente es percibida como un requerimiento de calidad básica y que debe ser cumplido para satisfacer los requerimientos del proceso actual y subsiguiente. Si estos requerimientos no son obtenidos, generará una insatisfacción en cada proceso, debido a que no sólo genera desperdicio; sino también, genera otros tipos de insatisfacciones a los clientes internos como bajo nivel de producción, aumento de reproceso, sobre esfuerzo, entre otros.

Desde el punto de vista del cliente externo el neumático es considerado como un producto de calidad con expectativa, la cual tiene otro tipo de características críticas como buen rendimiento, durabilidad, confort, estabilidad, uniformidad y apariencia, para lo cual si bien es cierto el cliente considera que el neumático cumple las características técnicas, lo que puede causar una insatisfacción al cliente si no se cumplen uno de estos requisitos; sin embargo, el cumplirlos puede llevar a que el cliente sienta una satisfacción mayor lo cual se reflejará en un continuo consumo de la marca y por ende representa una fidelización del cliente.

Si bien es cierto el modelo de Kano presenta una caracterización del producto como calidad de deleite, no se consideró al neumático en este escenario debido a que las características críticas para los clientes no logran ser superadas para llegar a dicho nivel.

Para el presente análisis de categorización, se tomó en cuenta la data obtenida mediante las entrevistas a 58 personas, en su gran mayoría operadores de los procesos de producción (clientes internos) y 47 personas que consumieron los neumáticos (clientes externos) en los locales de distribución asignados, quienes apoyaron a gestionar y brindar la información. Esta información servirá al equipo para evaluar y establecer los requerimientos de la voz del cliente en función de las categorías presentadas por el Modelo de Kano.

Es por ello que a continuación se presenta en la Tabla 5.4 Análisis de Kano, el resumen de la determinación de la voz del cliente basado en el modelo de Kano.

Tabla 5.4 Análisis de Kano

Categoría	Voz del Cliente/Voz del negocio
Básico	Calidad de materiales/ componentes/ neumáticos de acuerdo con especificación Neumático sin defectos
Expectativa	Apariencia óptima Mayor rendimiento Mejor confort y uniformidad
Deleite	No considerado

Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

De esta forma se puede determinar que la reducción del nivel de desperdicio es considerado como un básicos de satisfacción para el cliente interno y a la vez es un requerimiento de la voz del cliente del negocio, para lo cual se procederá a definir los requerimientos críticos del cliente, tal como se muestra en la Tabla 5.5 Determinación del requerimiento crítico del cliente.

Tabla 5.5 Determinación del requerimiento crítico del cliente

Voz del Cliente/ Voz del negocio	Requerimiento Crítico del Cliente
Reducción de neumáticos defectuosos	Reducir el nivel de desperdicio de %FSV a 1%

Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

En el proceso actual, el desperdicio se presenta de tres tipos, los cuales son medidos según el porcentaje del valor final almacenado FSV, por sus siglas en inglés (Finished Stocked Value). El %FSV representa el porcentaje de desperdicio con respecto al total del valor almacenado en un periodo determinado. A continuación en la Tabla 5.6 se visualiza el nivel de desperdicio %FSV presentado en el proceso de producción en los últimos 3 años.

Tabla 5.6 %FSV

	2011	2012	2013	2014
Valor del producto almacenado (MUSD)	90,000	91,686	87,133	83,400
Valor del nivel desperdicio (MUSD)	882	1,057	1,194	1,449
% FSV	0.98	0.96	1.37	1.73

Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

El desperdicio que se genera del proceso productivo está clasificado en tres tipos de desperdicio tal como se muestra en la Figura 5.5 Clasificación del desperdicio.



Figura 5.5 Clasificación del desperdicio

Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

Estos tipos de desperdicio impactan de manera distinta a la calidad del proceso, dependiendo de la complejidad del proceso y de los controles implementados. A continuación se presenta una revisión más detallada del impacto del nivel de los tipos de desperdicio en función del %FSV, notándose un incremento considerable en la generación de desperdicio en lo que va del año 2014, llegando a su mayor nivel en los últimos años, tal como se muestra en la Figura 5.6.

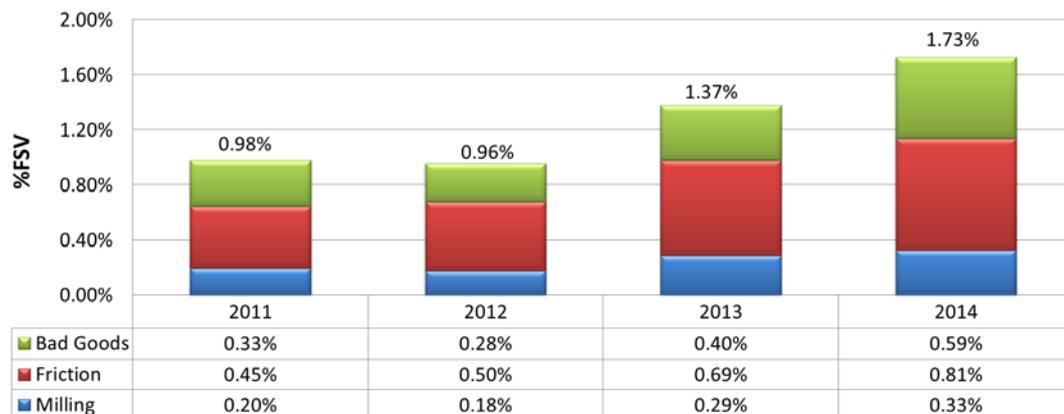


Figura 5.6 Evolución por tipo de desperdicio 2011 – 2014 en %FSV

Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

Como se muestra en la Figura 5.7 se presenta mediante el diagrama de Pareto la participación de cada tipo de desperdicio con respecto al nivel total de desperdicio para el año 2014.

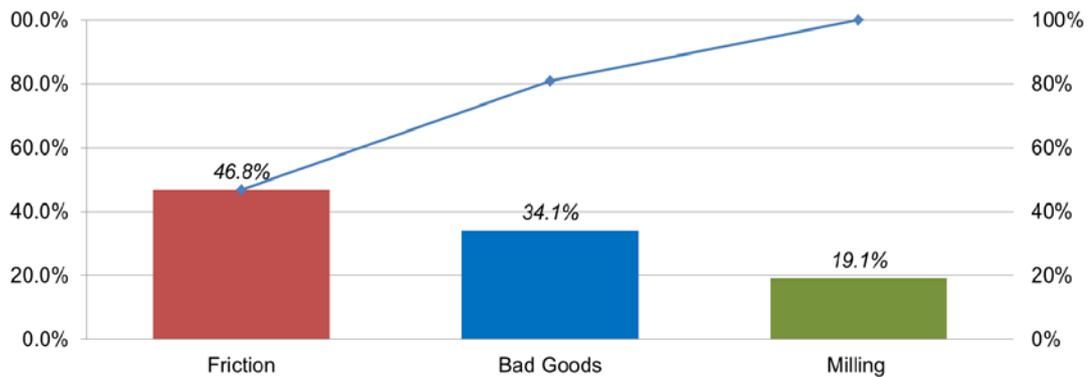


Figura 5.7 Diagrama de Pareto por tipo de desperdicio 2014

Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

Como se puede visualizar de la figura anterior, para el año actual 2014, existen dos tipos de desperdicios los cuales representan casi el 80% del total de desperdicio en la producción, estos son Friction y Badgoods, si bien es cierto Friction representa el 46.8% y Badgoods el 34.1%, se considera que el principal foco es el defecto tipo Badgoods debido a que presenta un mayor impacto al cliente como producto final.

Mediante el diagrama de Pareto para el tipo de desperdicio Badgoods, se puede visualizar que este se genera por una serie de defectos que impactan al neumático final, tal como se muestra en la Figura 5.8 Diagrama de Pareto por tipo de defectos en Badgoods.

De esta forma se puede visualizar que el tipo de defecto con mayor impacto en el nivel de desperdicio de Badgoods es ampolla en el costado, la cual representa un 25.7% de los defectos, representando un nivel de FSV de 0.21%.

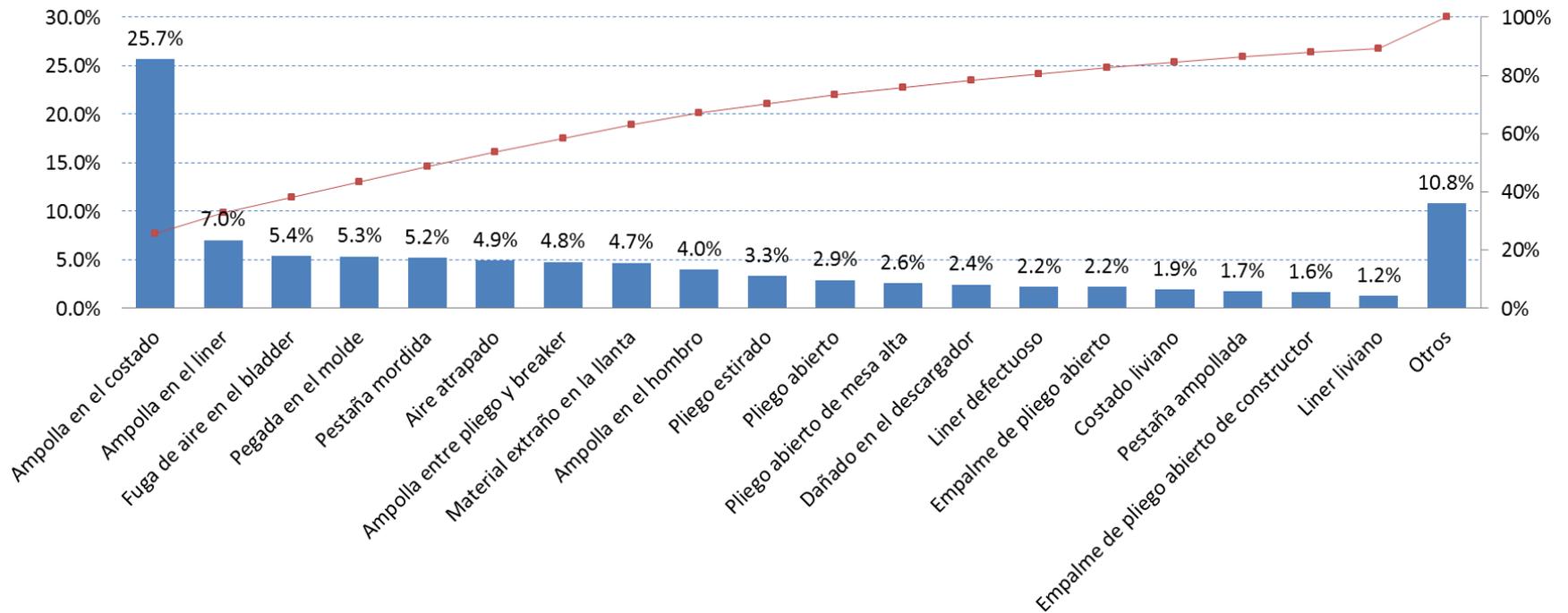


Figura 5.8 Diagrama de Pareto por tipos de defectos en Badgoods

Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

Finalmente el equipo puede concluir el proceso definiendo la voz del cliente como el nivel actual de desperdicio muy alto, transformándolo en un requerimiento crítico del cliente a reducir el nivel de %FSV a 1.0% y de esta forma traducirlo a un requerimiento crítico para la calidad como una pequeña “y” para el proyecto. Tal como se muestra en la Figura 5.9 Relación entre la voz del cliente (VOC), los requerimientos críticos del cliente (CCR) y los críticos para la calidad (CTQ).

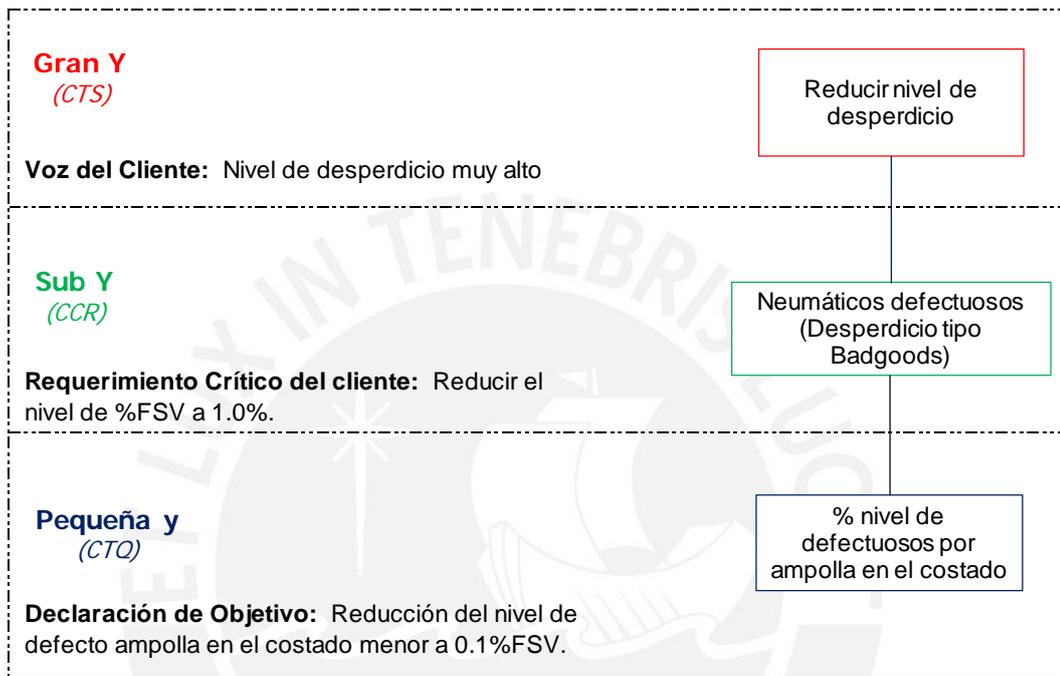


Figura 5.9 Relación de Voz del cliente, requerimiento crítico del cliente y críticos para la calidad

Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

5.1.3 Diagrama del proyecto

Una vez definida la relación de voz del cliente y determinados los críticos para la calidad, se procederá a elaborar un diagrama del proyecto para establecer un claro entendimiento del proyecto a todos los miembros del proyecto. Este diagrama del equipo es un documento clave que permitirá definir el alcance y el objetivo del proyecto.

Inicialmente este documento requerirá una refinación por parte del equipo en base al conocimiento de los procesos, pero luego será el black belt quien lo mantenga actualizado ante cualquier cambio que se requiera en toda la etapa del proceso.

Para estandarizar este documento se recomienda llevar las pautas propuestas por McCarty *et al.* (2004), el cual fue adaptado para las actividades de la empresa y

mostrado en la Tabla 5.7, el cual divide en 6 partes la formulación de este documento:

- Caso del proyecto
- Descripción de la oportunidad
- Objetivo de la implementación
- Alcance del proyecto
- Plan del proyecto
- Selección del equipo

Cuando se finalice el primer bosquejo del diagrama del equipo, se necesitará una evaluación involucrando a todos los responsables del proyecto.

En esta reunión el equipo establecerá el diagrama de forma específica, medible, relevante y con el tiempo correcto, con la finalidad de asegurar una efectiva comunicación.



Tabla 5.7 Diagrama del Proyecto de reducción %FSV

<p>Caso del proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Existe una gran oportunidad en la reducción del nivel de desperdicio en los procesos. 	<p>Descripción de la oportunidad/problema :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Actualmente el nivel de desperdicio se encuentra en el más alto nivel de los últimos años, el cual se incrementó en un 26.3% con respecto al periodo anterior, lo que representa un costo anual adicional de 691,200 USD. 												
<p>Objetivo de la implementación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reducir el nivel de desperdicios en un 20% hasta diciembre 2015. 	<p>Alcance del Proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Proceso de construcción y vulcanización de neumáticos. - Neumáticos radiales y convencionales 												
<p>Plan del proyecto</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Actividad</th> <th>Fecha</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Definir</td> <td>27/1</td> </tr> <tr> <td>Medir</td> <td>25/2</td> </tr> <tr> <td>Analizar</td> <td>20/3</td> </tr> <tr> <td>Mejorar</td> <td>10/6</td> </tr> <tr> <td>Control</td> <td>25/8</td> </tr> </tbody> </table>	Actividad	Fecha	Definir	27/1	Medir	25/2	Analizar	20/3	Mejorar	10/6	Control	25/8	<p>Selección del equipo:</p> <p>Champion: Black Belt: Green Belt1: Green Belt2: Green Belt3:</p>
Actividad	Fecha												
Definir	27/1												
Medir	25/2												
Analizar	20/3												
Mejorar	10/6												
Control	25/8												

Fuente: Elaboración propia

5.1.4 Mapas del proceso

En esta parte se presentarán los mapas de procesos, los cuales son parte importante de los entregables de la fase Definir, estos mapas fueron desarrollados en base al estado actual del proceso por los integrantes del equipo del proyecto, quienes tienen una comprensión completa del proceso con la finalidad de que se consideren todas las variables del proceso que afecten potencialmente a las características del producto o proceso a evaluar.

A continuación en la Figura 5.10, se presenta el análisis del mapa de proceso, como un primer paso para el proceso de mapeo se realizará la creación de un SIPOC el cual nos permitirá tener un rápido entendimiento del común del proceso. Si bien es cierto el SIPOC no especifica de manera detallada información para poder mejorar el proceso, se requiere un detalle mayor del proceso, para lo cual se continuará con un segundo paso para mayor nivel de información y detalles. Este segundo paso es conocido como diagrama de arriba-abajo y está enfocado a dar un mayor detalle y entendimiento del proceso, tal como se muestra en la Figura 5.11 el diagrama arriba-debajo del proceso productivo.

Una vez desarrollado este diagrama arriba abajo, se recomienda realizar un despliegue de funciones del mapa la cual muestra las funciones que desempeñan los pasos del proceso.

A continuación en la Figura 5.12 se muestra el despliegue funcional del mapa presentado en el SIPOC y en el diagrama arriba-abajo.

De esta forma se puede conocer más a detalle el proceso y de esta forma identificar rápidamente las actividades que agregan o no agregan valor.

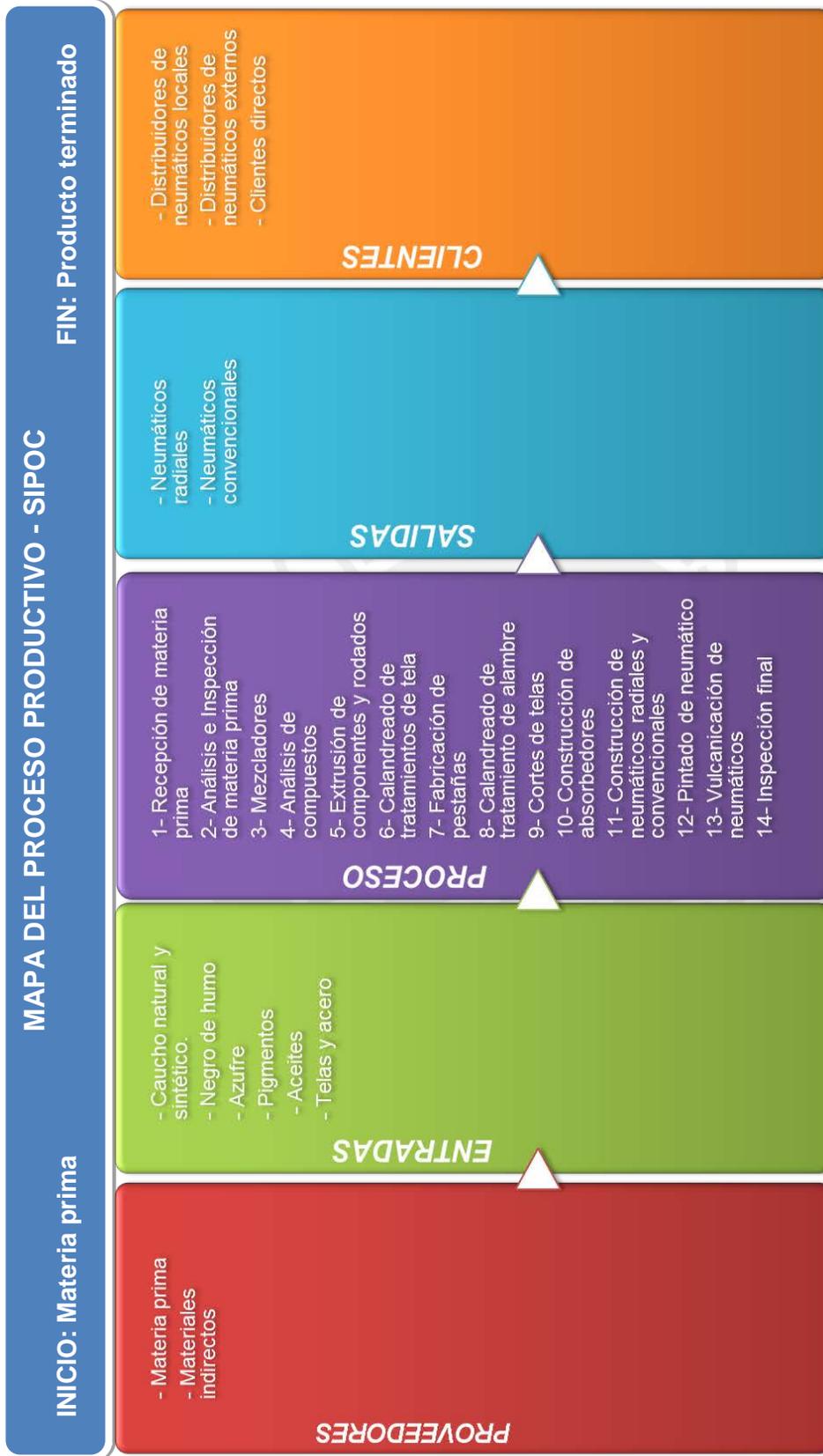


Figura 5.10 Mapa del proceso de producción – SIPOC

Fuente: Elaboración propia

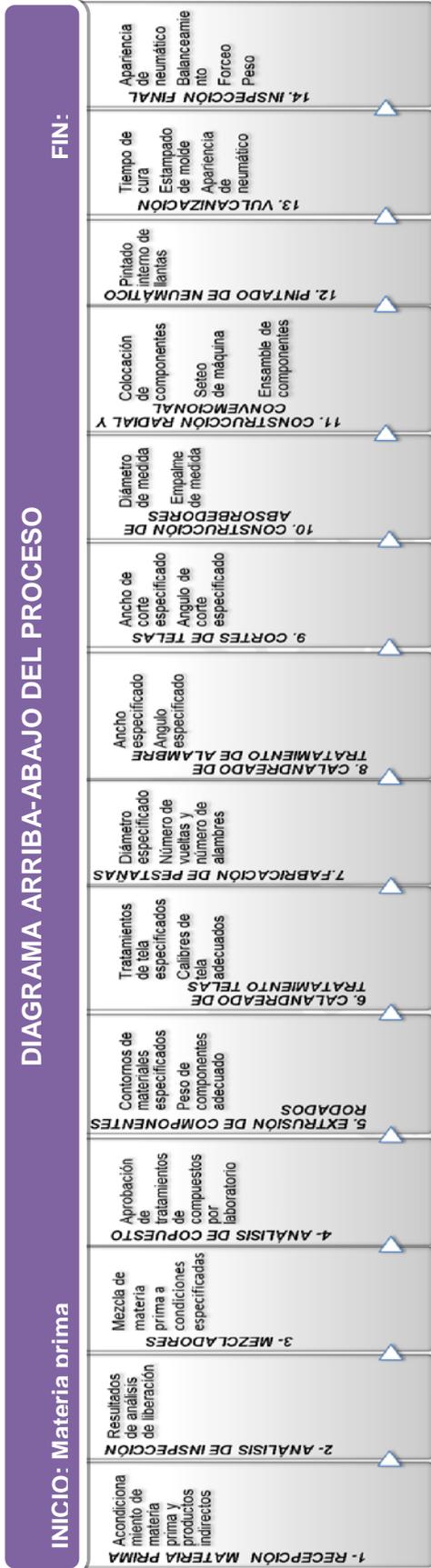


Figura 5.11 Diagrama arriba-debajo del proceso productivo

Fuente: Elaboración propia

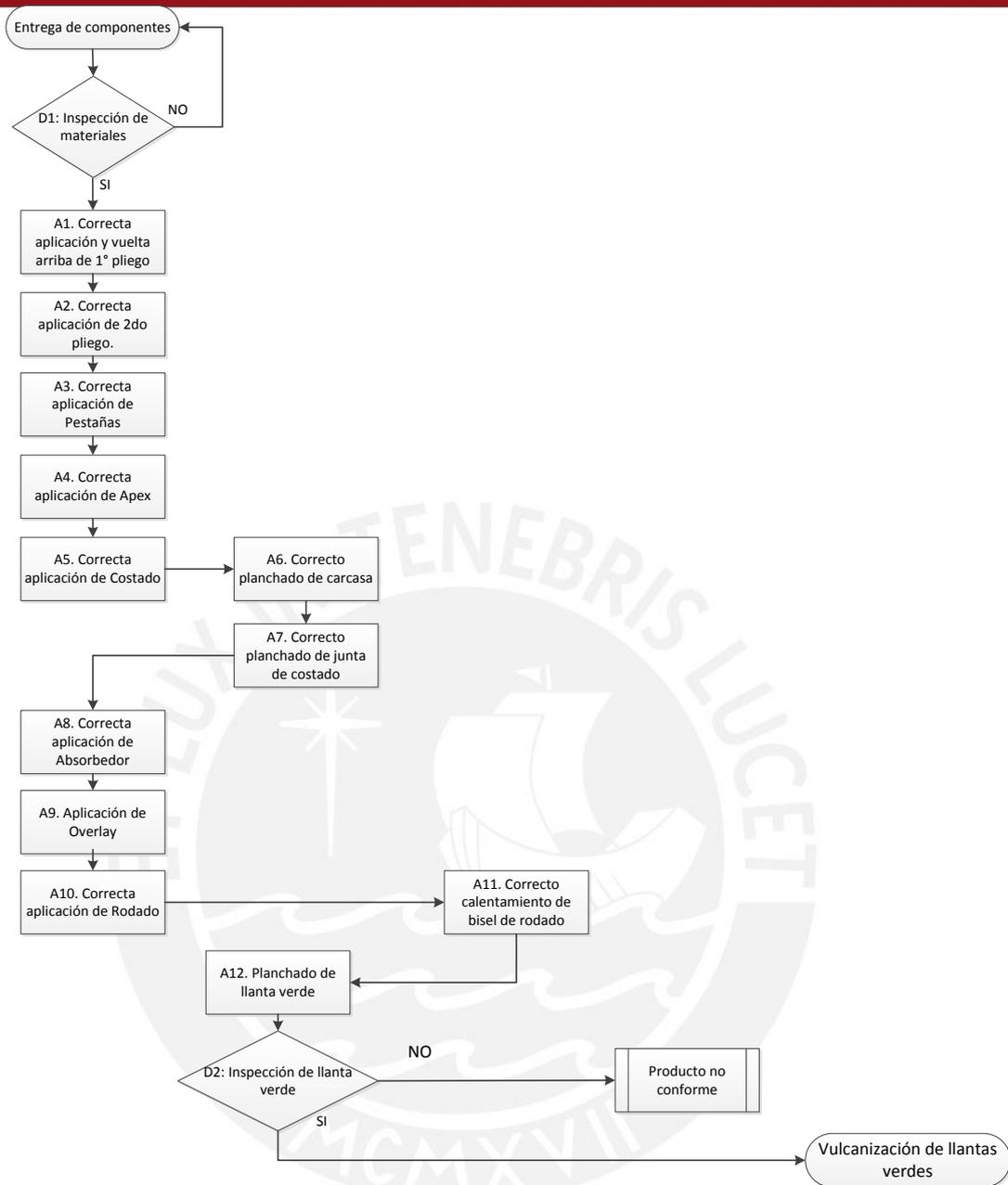


Figura 5.12 Mapa de despliegue funcional del proceso de construcción

Fuente: Elaboración Propia

Una vez establecido el equipo, con el propósito del proyecto validado mediante la voz del cliente y negocio, el diagrama del proyecto revisado y el proceso es asignado; se procede a la siguiente fase medir del proyecto.

5.2 Fase Medir

En la presente fase, se presentará cómo se está desarrollando actualmente el proceso, es decir, el equipo tiene que medir la línea de base del estado del % nivel de defectuosos por ampolla en el costado (CTQ). En esta etapa es importante que el equipo conozca cuáles son las variables del proceso que están midiendo y cuáles son causantes de las variaciones del proceso. Los entregables de la fase de la medida son:

- Datos a medir
- Tipos de datos y muestreo
- Plan de recolección de datos
- Análisis del sistema de medición
- Datos de línea base

5.2.1 Datos a medir

En el presente entregable se presentará las variables “x” como las variables de entrada del proceso donde se genera el tipo de defecto (variables y) definida como un crítico para la calidad (CTQ). Como primera consideración será identificar los datos de x para establecer una línea base para las variables “y” del proceso. Los datos de las variables “x” se recogerán simultáneamente con las de la variable “y” en esta fase, de manera que las relaciones entre los x e y de pueden ser relacionados en la fase Analizar. A continuación en la Figura 5.13 se muestra la relación de las variables “y” definidas para la medición del nivel de desperdicio del proceso “Y”.

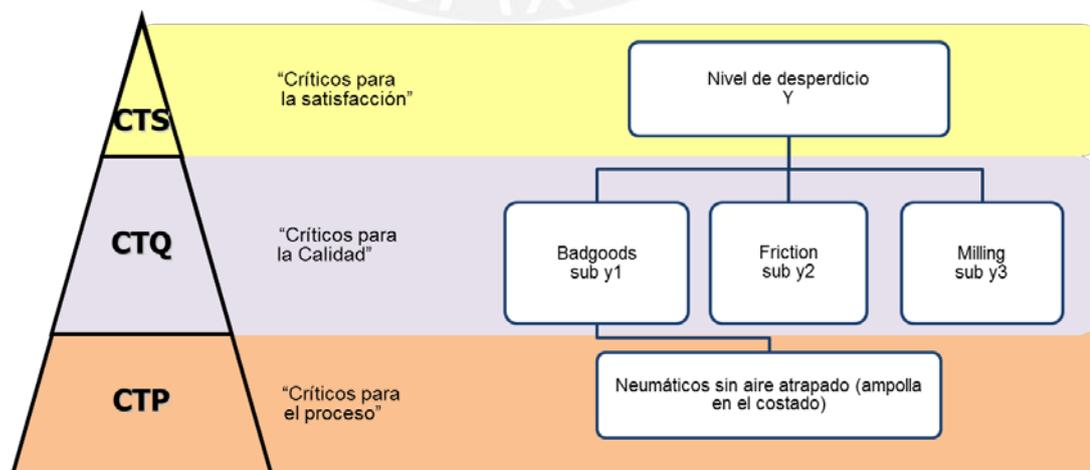


Figura 5.13 Relación de las variables Y, sub y e y

Fuente: Elaboración Propia

Una vez definida nuestra “y”, neumáticos sin aire atrapado, el cual representa un crítico para el proceso, se procedió a realizar un análisis de las causas potenciales mediante una lluvia de ideas del proceso, contando con la participación de los integrantes del equipo y la participación de algunos operadores de las máquinas. Mediante esta forma, a través de su conocimiento y experiencias en el proceso se logró establecer causas potenciales.

Como se puede observar, la relación entre el tipo de defecto “ampolla en el costado” se origina en el proceso de construcción, en la cual intervienen parámetros de procesos como potenciales causas y sub causas las cuales serán definidas como variables de entrada tal como se puede visualizar en la Figura 5.14 Diagrama de Análisis de Causas efectos – ampolla en el costado.

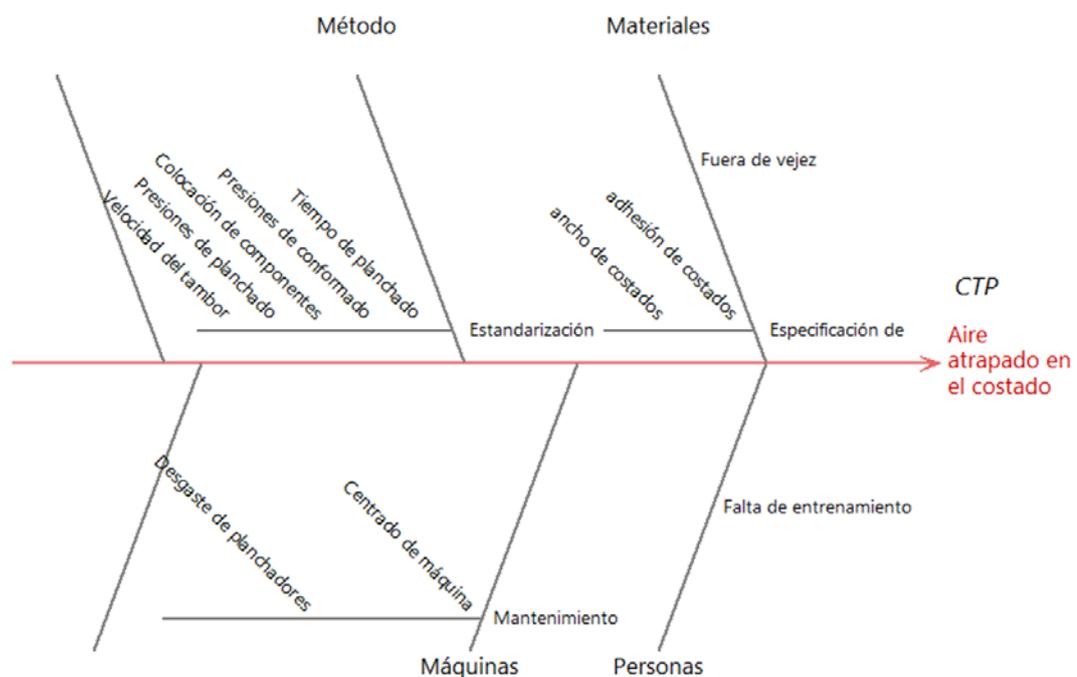


Figura 5.14 Diagrama de Causa y Efecto

Fuente: Elaboración Propia – Programa estadístico Minitab17

Una vez establecida las potenciales causas y sub causas, se determinarán como las variables “x” sólo aquellas que tengan una mayor correlación con el efecto, para tal forma, el equipo del proyecto definió mediante una sesión de evaluación del proceso cuales son las variables x que presentan una mayor correlación, tal como se muestra en la Figura 5.15 Variables críticas del proceso de construcción.

5.2.3 Plan de recolección de datos

El propósito del plan a desarrollar es asegurar que la data colectada sea consistentemente en todo el proceso de medición de las variables x e y definidas anteriormente. A continuación en el Anexo N° 4 se muestra el plan de colección de data para la toma de datos de las variables “ x ” e “ y ”.

La colección de data es determinante para la duración del proyecto, es debido a esto que la toma de datos se realizará de acuerdo al plan de colección y el equipo se basará en el formato establecido por el equipo del Dpto. de Calidad quienes identifican los neumáticos defectuosos separados por los inspectores y se identifica el tipo de defecto, turno, medida y causa; tal como se muestra en el Anexo N° 5 para la variable “ y ”; de esta manera se busca garantizar que la toma de datos se realice de manera correcta y que los problemas sean registrados y entendidos.

El análisis de los datos será desarrollado en la fase analizar del presente proyecto.

5.2.4 Análisis del sistema de medición (MSA)

Una vez definido los tipos de datos y la forma de muestreo, se validará el sistema de medición y la data antes de que esta sea analizada, de acuerdo a los expuesto por Down *et al.* (2010) en el Manual de Análisis del Sistema de Medición (MSA).

Tomando como referencia los lineamiento del manual de análisis del sistema de medición y haciendo uso programa MINITAB versión 17, se realizará el estudio para las variables “ x ” e “ y ” identificadas anteriormente.

5.2.4.1 MSA para la variable “ y ”

A continuación se mostrará el análisis del sistema de medición de atributos para la identificación de producto defectuoso, para lo cual se mostrarán las principales consideraciones tomadas y los resultados en función del estudio realizado.

El análisis fue realizado con tres personas responsables de evaluar el producto, considerando una muestra de 50 neumáticos de los cuales 34 fueron determinados como buenos y otros 16 como malos.

El procedimiento es realizado analizando los 50 neumáticos por las tres personas en un primer día, segundo día y un tercer día. Las personas a realizar el análisis de los neumáticos no conocen las muestras ni los códigos de identificación con la finalidad de que no exista alguna injerencia no permitida en el análisis.

A continuación en el siguiente Cuadro se muestran los resultados del análisis del sistema de medición realizado, Figura 5.17 Resultados del análisis por atributos.

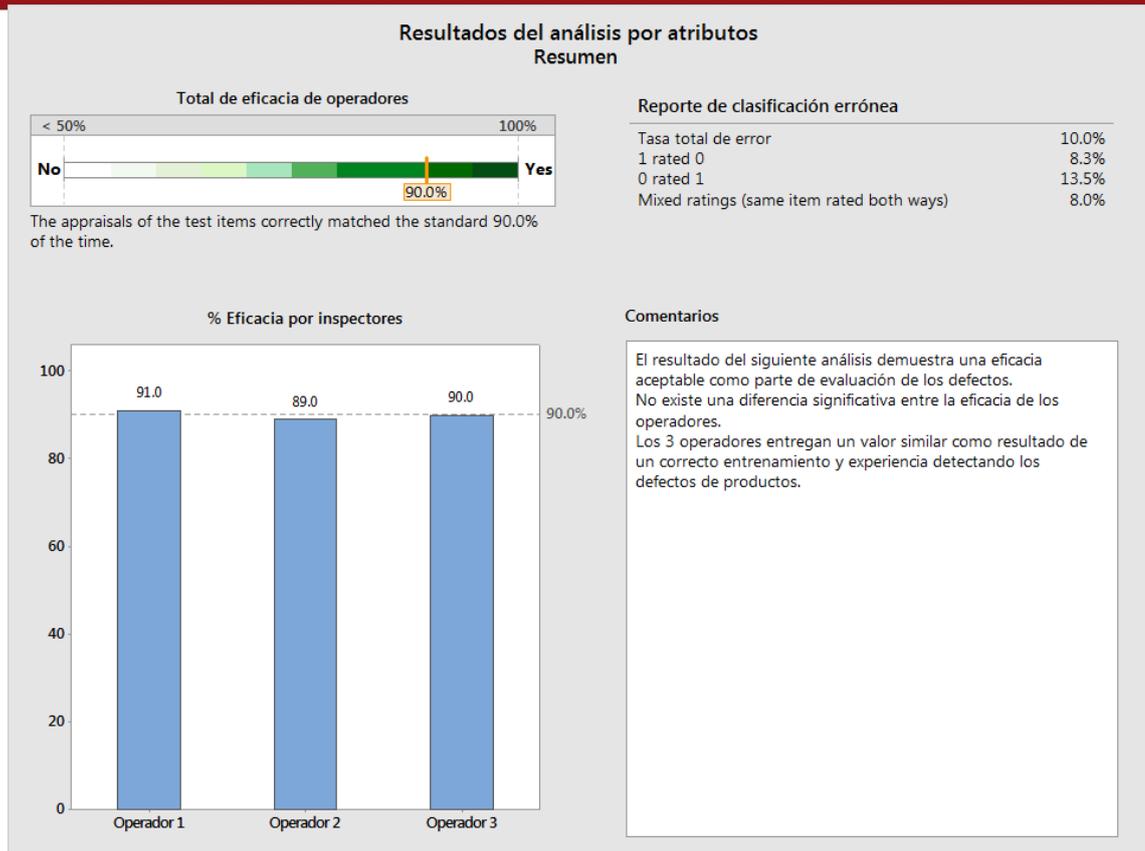


Figura 5.17 Resultados del análisis por atributos

Fuente: Elaboración propia – Programa estadístico Minitab 17

En la Tabla 5.8 se presenta los criterios de decisión del sistema, tomados como referencia del Manual del MSA 4° edición. El cual establece un rango de aceptabilidad mayor a 90%, marginalmente aceptable mayor a 80% y menor a 80% inaceptable, considerando que el operador u observador debe mejorar su capacidades de retener neumáticos defectuosos.

Tabla 5.8 Criterios decisión del estudio del análisis

Decisión del Sistema de medición	Efectividad	Tasa de Falla	Tasa Falsa Alarma
Aceptable por observador	$\geq 90\%$	$\leq 2\%$	$\leq 5\%$
Marginalmente aceptable para el observador - Puede necesitar mejora	$\geq 80\%$	$\leq 5\%$	$\leq 10\%$
Inaceptable por observador - Necesita mejora	$< 80\%$	$> 5\%$	$> 10\%$

Fuente: Elaboración propia – Manual MSA Cuarta Edición.

Como conclusión se puede mencionar que el sistema de medición para la variable discreta “y” es aceptable, no presentándose diferencias significativas entre evaluadores. Sin embargo es necesario mejorar el entrenamiento de las observadores o inspectores debido a que según el cuadro de resultados existe un 13.5% de neumáticos defectuosos que fueron considerados como buenos.

5.2.4.2 MSA para las variables “x”

A continuación se muestra el análisis del sistema de medición de variables, para lo cual se muestran las principales consideraciones tomadas y los resultados en función del estudio realizado para las variables críticas “x”.

Para determinar si el sistema de medición es capaz de evaluar el rendimiento del proceso, se toman como muestras 10 neumáticos de la variación típica del proceso, debido a que este tipo de estudio tiene una data histórica.

El análisis fue realizado con tres personas responsables de tomar mediciones para evaluar el producto, considerando una muestra de 10 neumáticos en la construcción.

El procedimiento es realizado analizando los valores reportado para cada variable en cada uno de los 10 neumáticos por las tres personas en un primer día, segundo día y un tercer día no correlativos. Las personas a realizar el análisis de las variables no tenían ningún tipo de acercamiento que afecte la medición ni que exista alguna injerencia no permitida en el análisis.

En la Tabla 5.9 se muestran las características principales de los equipos utilizados para el análisis del sistema de medición.

Tabla 5.9 Características principales de los equipos

Variable medir	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
Escala a medir:	Presión	Distancia	Presión	Tiempo
Unidad de medición:	psi	mm	psi	s
Equipo:	Manómetro	vernier	Manómetro	Cronómetro digital
Identificación:	MVX1	MVX2	MVX3	MVX4

Fuente: Elaboración propia – Información de la empresa

A continuación en la Tabla 5.10 se muestran los valores medidos del análisis del sistema de medición.

Tabla 5.10 Datos de medición de variable "x"

VALORES MEDIDOS DE ANÁLISIS DEL SISTEMA DE MEDICIÓN						
N° Corrida	Operadores	N° Parte	X_1	X_2	X_3	X_4
1	Operador 1	3	20	200	15	22
2	Operador 1	1	25	205	20	27
3	Operador 1	6	21	201	16	23
4	Operador 1	5	20	200	15	22
5	Operador 1	10	20	200	13	20
6	Operador 1	4	20	200	14	21
7	Operador 1	2	21	201	16	23
8	Operador 1	7	20	200	15	22
9	Operador 1	9	21	201	16	23
10	Operador 1	8	20	200	15	22
11	Operador 2	10	20	199	13	20
12	Operador 2	7	20	200	15	22
13	Operador 2	8	20	200	15	22
14	Operador 2	2	20	200	15	22
15	Operador 2	9	20	200	15	22
16	Operador 2	3	21	201	16	23
17	Operador 2	5	20	200	15	22
18	Operador 2	1	25	205	20	27
19	Operador 2	4	20	200	14	21
20	Operador 2	6	20	200	15	22
21	Operador 3	8	20	200	15	22
22	Operador 3	1	25	205	20	27
23	Operador 3	6	20	200	15	22
24	Operador 3	10	20	200	13	20
25	Operador 3	3	20	200	15	22
26	Operador 3	4	20	200	14	21
27	Operador 3	2	20	200	15	22
28	Operador 3	9	20	200	15	22
29	Operador 3	7	21	201	16	23
30	Operador 3	5	19	199	14	21
31	Operador 1	3	20	200	15	22
32	Operador 1	1	25	205	20	27
33	Operador 1	2	20	200	15	22
34	Operador 1	5	20	200	15	22
35	Operador 1	4	20	200	14	21
36	Operador 1	10	20	200	13	20
37	Operador 1	7	20	200	15	22
38	Operador 1	8	20	200	15	23
39	Operador 1	6	20	200	15	22
40	Operador 1	9	21	201	16	23
41	Operador 2	1	25	205	20	27
42	Operador 2	5	20	200	15	22
43	Operador 2	10	20	200	13	20
44	Operador 2	4	20	199	14	21
45	Operador 2	3	21	201	16	23
46	Operador 2	7	20	200	15	22
47	Operador 2	9	20	200	15	22

48	Operador 2	2	20	200	15	22
49	Operador 2	8	20	200	15	22
50	Operador 2	6	20	200	15	22
51	Operador 3	8	20	200	15	21
52	Operador 3	2	20	200	15	22
53	Operador 3	3	20	200	15	22
54	Operador 3	6	20	199	15	22
55	Operador 3	9	20	200	15	22
56	Operador 3	10	20	200	13	20
57	Operador 3	1	25	205	20	27
58	Operador 3	7	21	201	16	23
59	Operador 3	5	20	200	15	22
60	Operador 3	4	20	200	14	21
61	Operador 1	3	20	200	15	21
62	Operador 1	1	25	205	20	26
63	Operador 1	2	20	200	15	22
64	Operador 1	5	20	200	15	22
65	Operador 1	4	20	200	15	22
66	Operador 1	10	20	200	13	20
67	Operador 1	7	20	200	15	22
68	Operador 1	8	20	200	15	22
69	Operador 1	6	20	199	15	22
70	Operador 1	9	21	201	16	23
71	Operador 2	1	24	204	19	26
72	Operador 2	5	20	200	15	21
73	Operador 2	10	19	199	13	20
74	Operador 2	4	20	200	15	22
75	Operador 2	3	21	201	16	23
76	Operador 2	7	20	200	15	22
77	Operador 2	9	20	200	15	22
78	Operador 2	2	20	200	15	22
79	Operador 2	8	20	200	15	22
80	Operador 2	6	20	200	15	21
81	Operador 3	8	20	200	15	22
82	Operador 3	2	20	200	15	22
83	Operador 3	3	20	200	15	22
84	Operador 3	6	20	200	15	22
85	Operador 3	9	20	200	15	22
86	Operador 3	10	20	200	13	20
87	Operador 3	1	25	205	20	27
88	Operador 3	7	21	201	16	23
89	Operador 3	5	20	200	15	22
90	Operador 3	4	20	200	14	22

Fuente: Elaboración propia

Con el presente cuadro se procede a realizar los cálculos de los análisis del sistema de medición realizados mediante el uso de la herramienta del programa estadístico Minitab 17, tal como se presenta a continuación:

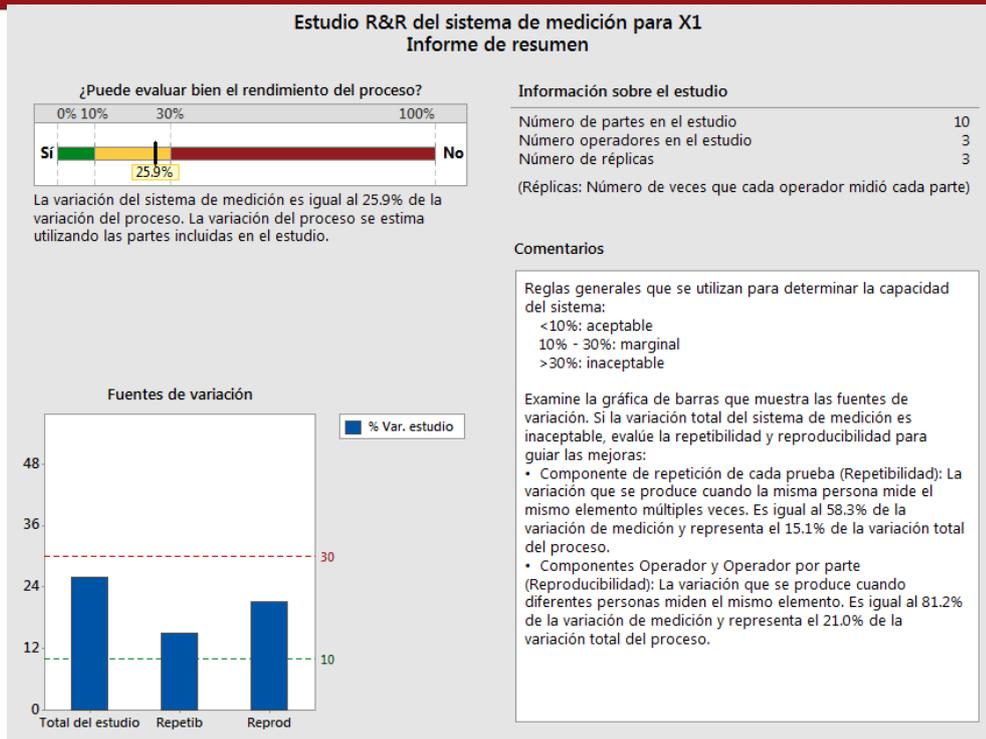


Figura 5.18 Análisis del Sistema de Medición – Variable x_1

Fuente: Elaboración propia

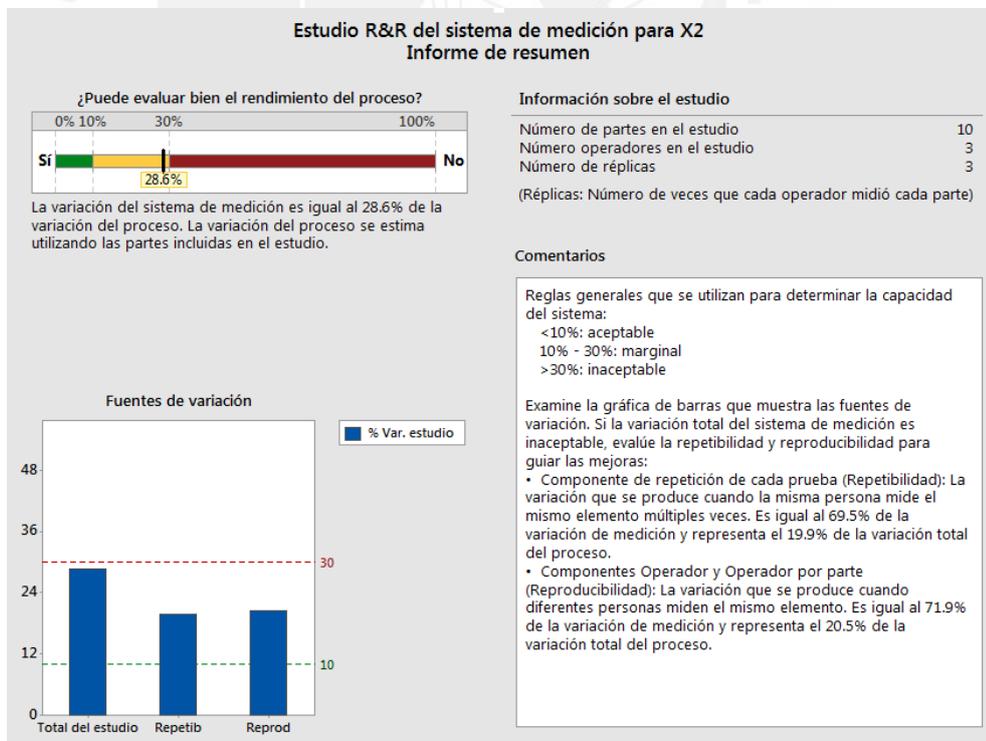


Figura 5.19 Análisis del Sistema de Medición – Variable x_2

Fuente: Elaboración propia

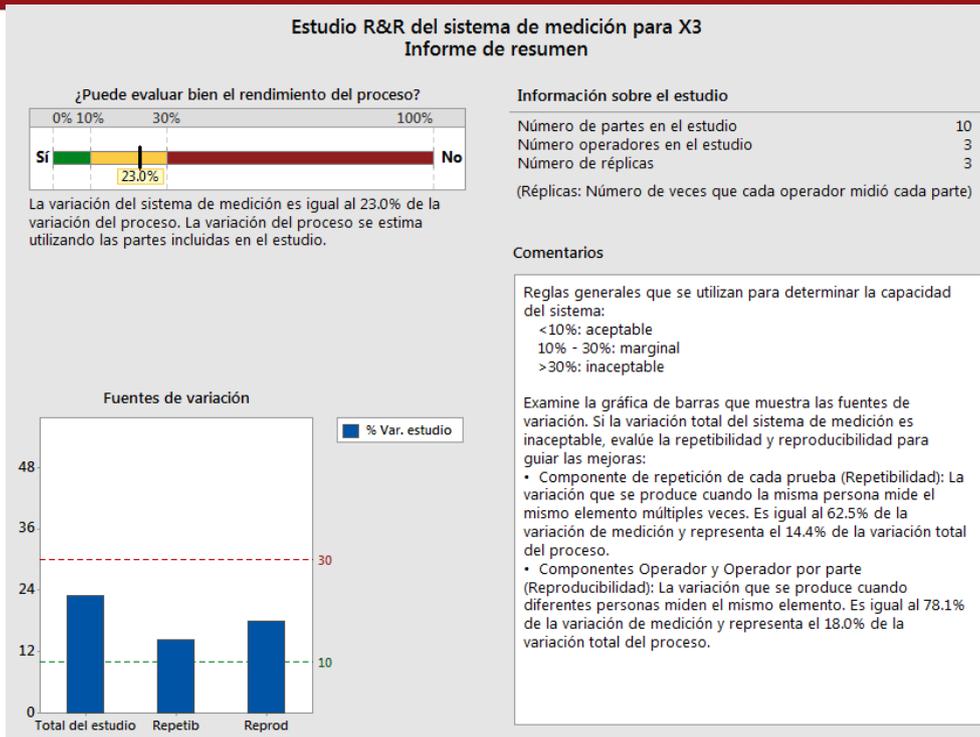


Figura 5.20 Análisis del Sistema de Medición – Variable x_3

Fuente: Elaboración propia

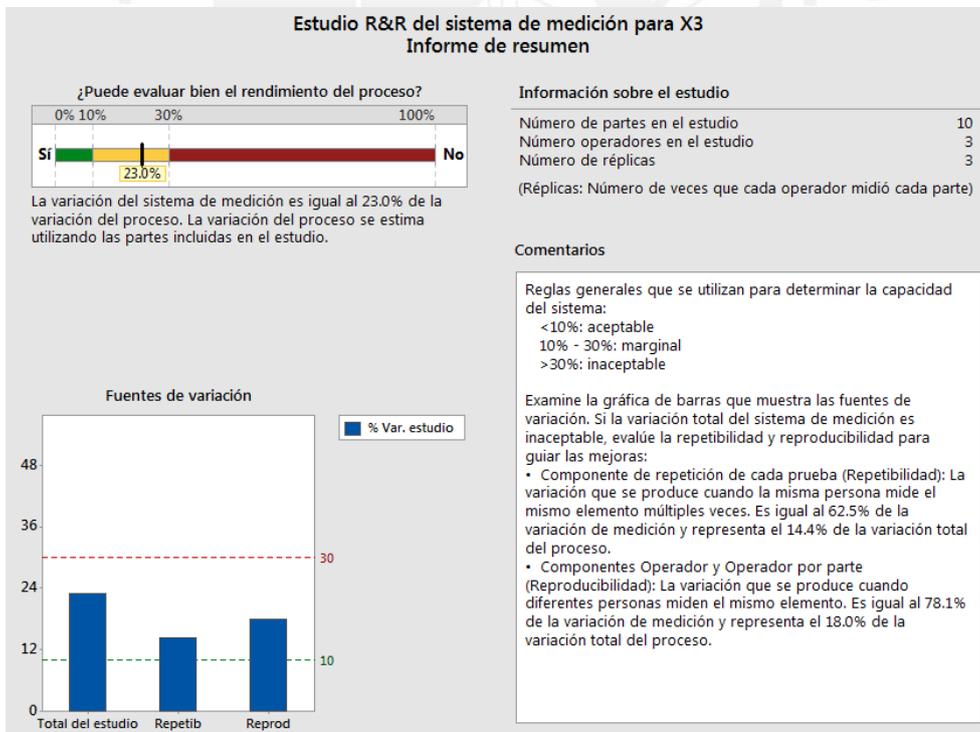


Figura 5.21 Análisis del Sistema de Medición – Variable x_4

Fuente: Elaboración propia

De las figuras mostradas, análisis del sistema de medición por variables “x”, en las gráficas de barras se muestran las fuentes de variación. Como se puede observar, cada variable presenta una fuente de variación mayor a 10% pero menor al 30%, encontrándose en una zona amarilla. Es por ello que para el presente trabajo se concluye que la variación total del sistema de medición no es aceptable, en donde la variación asociada al componente de repetición de cada prueba (Repetitividad) y la variación asociada con los componentes entre operador y operador por parte (Reproducibilidad) representan menos del 30% de la variación total del proceso, es por ello que es requerido implementar un plan de mejora según se muestra en la Tabla 5.11 con la finalidad de que la variación del sistema de medición (R&R) comparado con la variación total del proceso pueda representar una variación menor al 10% y de esta forma garantizar que los errores asociados a las mediciones realizadas no alteren la confiabilidad de los resultados.

Tabla 5.11 Plan de mejora para la mejora del Sistema de Medición

Acciones	Responsable	Fecha
1. Entrenamiento a operadores relacionado a métodos de medición y uso de equipos.	Entrenador de labores	08/03/2015
2. Calibración de equipos de medición.	Ingeniero de Calibración	22/04/2015
3. Renovar equipos de medición por otros con una mejor discriminación efectiva de acuerdo a requerimientos del proceso.	Ingeniero de Calibración	25/04/2015
4. Realizar estudios de MSA para todos los equipos, incluyendo una frecuencia para los estudios.	Ingeniero de procesos	09/05/2015

Fuente: Elaboración propia

Una vez implementado el plan de mejora se procedió a verificar la eficacia de la implementación, por lo que se procedió a realizar un nuevo análisis de los sistemas de medición para las variables “x”. A continuación en las siguientes figuras se muestran los resultados de las variaciones de los sistemas de medición, encontrándose valores menores a 10% por lo que se concluye que los sistemas de medición son adecuados y se acepta la variación, por lo que se procederá a seguir con la etapa medición.

Una vez analizados los sistemas de medición para ambas variables “x” e “y”, se procederá a realizar los estudios del comportamiento de las mediciones de los procesos mediante el uso de herramientas estadísticas.

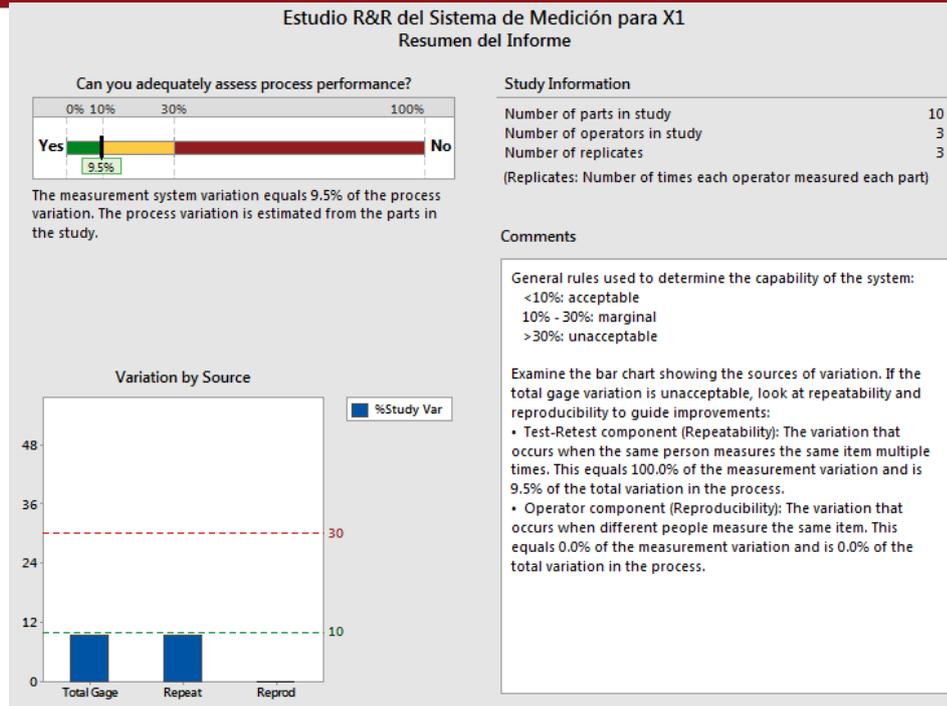


Figura 5.22 Verificación del Sistema de Medición – Variable x_1

Fuente: Elaboración propia

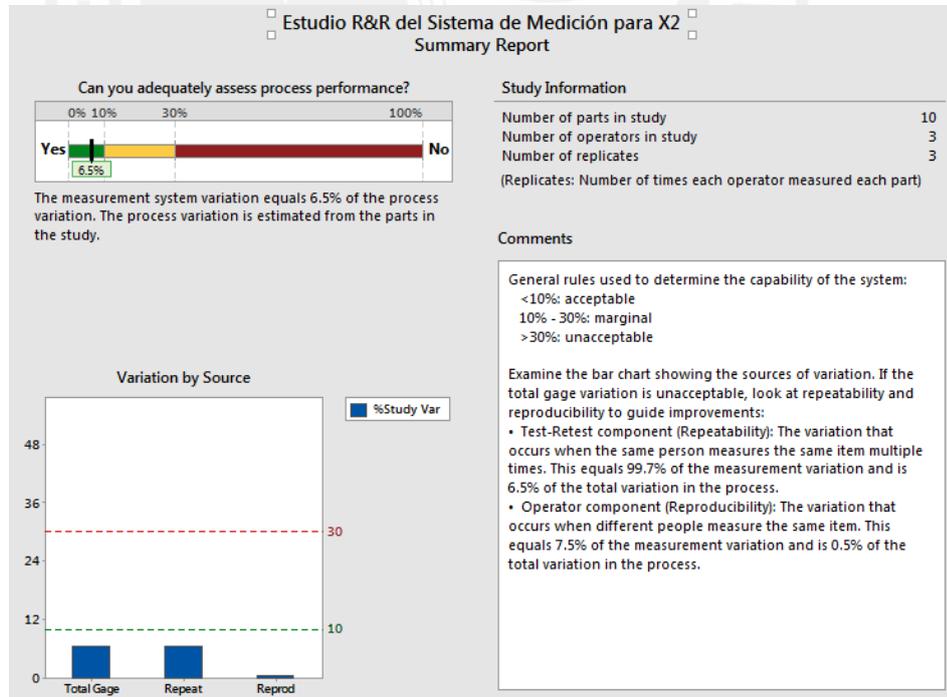


Figura 5.23 Verificación del Sistema de Medición – Variable x_2

Fuente: Elaboración propia

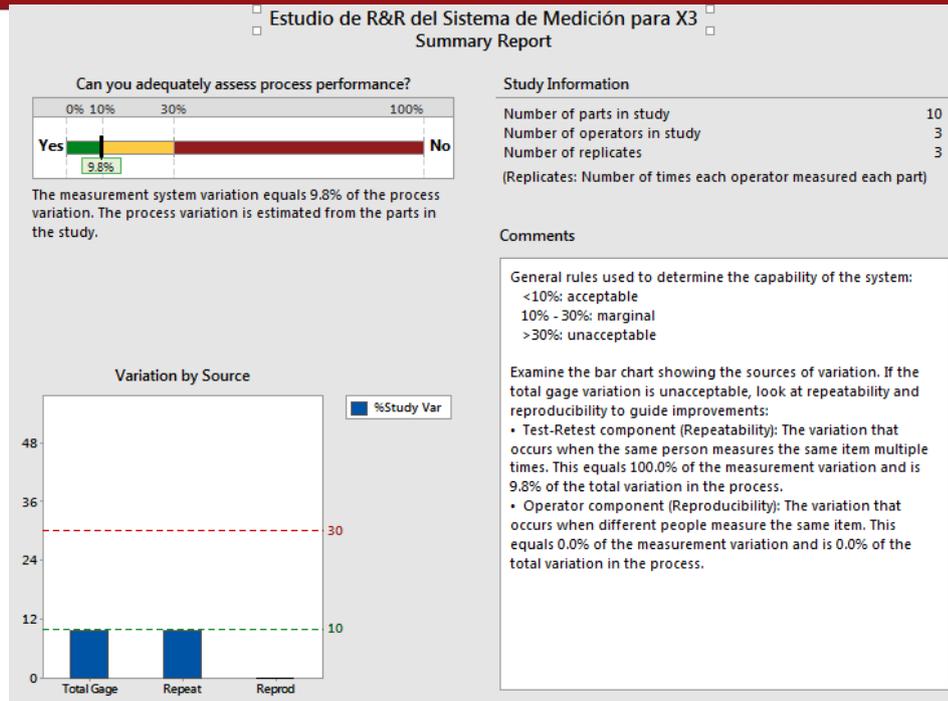


Figura 5.24 Verificación del Sistema de Medición – Variable x_3

Fuente: Elaboración propia

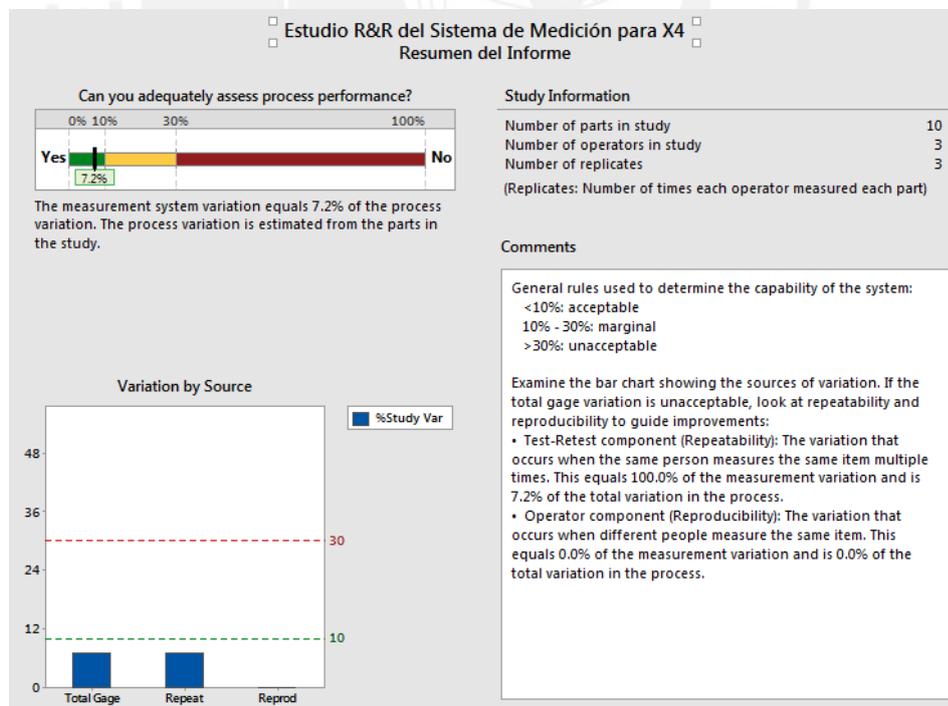


Figura 5.25 Verificación del Sistema de Medición – Variable x_4

Fuente: Elaboración propia

5.2.5 Datos de línea base

Una vez que el equipo colectó la data y validó el sistema de medición, el equipo medirá cómo se está realizando actualmente el proceso y para ello se utilizarán métricas como el nivel Sigma, C_p y C_{p_k} o P_p y P_{p_k} ,

Para el cálculo de C_p , será basada en la siguiente Ecuación 5.1, la cual denota la capacidad potencial de cómo un proceso podría estar si estuviera centrado en el objetivo.

Ecuación 5.1 Cálculo de C_p

$$C_p = \frac{(USL - LSL)}{6s}$$

De la misma manera para el cálculo de C_{p_k} , mediante la siguiente Ecuación 5.2, la cual considera la localización, considerando la cercanía del promedio hacia los límites de especificación.

Ecuación 5.2 Cálculo de C_{p_k}

$$C_{p_k} = \min \left[\frac{USL - \bar{x}}{3s}, \frac{\bar{x} - LSL}{3s} \right]$$

Para calcular el P_p y P_{p_k} , se usarán las mismas fórmulas, con la diferencia de la estimación para la desviación estándar la cual es usada. Establecido el tipo de métricas, el objetivo principal es comparar la capacidad del proceso antes de que el equipo haya hecho mejoras, para que posterior a ello se pueda cuantificar el impacto de las mismas sobre las capacidades del proceso. A continuación se procede a presentar las mediciones realizadas para las variables críticas definidas en el proceso.

5.2.5.1 Medición de variables “x”

Una vez implementada las mejoras y validado el sistema de medición, se establecen las especificaciones de procesos para las variables “x” con sus respectivas tolerancias de procesos tal como se muestra en la Tabla 5.12. De acuerdo a lo definido en la Figura 5.15, las variables “x” son del tipo de variable continuas; por lo cual, se procederá a presentar los valores de las mediciones realizadas por el equipo encargado de la toma de datos y de acuerdo al programa de muestreo tal como se muestra en la Tabla 5.13 Valores medidos de las variables “x”.

Tabla 5.12 Especificaciones de procesos para las variables “x”

VARIABLES	ESPECIFICACIÓN	Tolerancia Superior	Tolerancia Inferior
X ₁ : Presiones de planchado	20 psi	25 psi	15 psi
X ₂ : Colocación de planchadores	200 mm	205 mm	195 mm
X ₃ : Presiones de conformado	15 psi	16 psi	14 psi
X ₄ : Tiempo de planchado	20 s	25 s	15 s

Fuente: Elaboración propia – Información de la empresa

Tabla 5.13 Valores medidos de las variables “x”

Medición de Variables Críticas "x"				
Muestra	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	14	199	16.1	23
2	16	202	15.2	25
3	19	203	16.3	24
4	22	201	17	25
5	19	197	16.2	24
6	23	205	16.2	22
7	22	204	15.3	22
8	24	201	15.5	15
9	26	203	15.6	21
10	25	202	15.7	21
11	22	204	15.8	19
12	23	202	14.9	19
13	25	205	15	17
14	23	206	14.5	23
15	21	197	13.5	18
16	16	197	15.4	22
17	25	196	15.3	18
18	24	201	15.2	19
19	25	199	14.5	19
20	24	200	15.4	18
21	22	195	15.2	17
22	22	202	15.1	17
23	15	196	15.5	18
24	21	201	14.6	16
25	21	204	15.6	23
26	19	198	14.1	24
27	19	198	13.2	16
28	17	199	15.3	16
29	23	203	15.1	21
30	18	201	15.2	17
31	22	199	14.2	22

32	18	204	15.3	22
33	19	199	15.5	21
34	19	195	14.6	21
35	18	203	13.7	21
36	17	205	15.8	15
37	20	201	15.9	21
38	18	203	15	19
39	20	200	14.5	22
40	20	203	15.5	19
41	20	197	15.4	23
42	20	200	15.3	22
43	20	198	15.2	24
44	21	206	15.5	25
45	20	201	15.4	22
46	22	201	15.2	16
47	20	205	14.1	23
48	21	200	15.2	17
49	21	199	15.3	23
50	21	198	14.1	21
51	14	202	15.2	16
52	21	202	15.2	25
53	19	203	16.3	24
54	22	200	15.5	21
55	19	197	16.6	24
56	23	200	16.7	22
57	22	199	15.8	17
58	24	203	15.9	15
59	26	199	15	18
60	25	199	16.5	18
61	16	196	16.5	19
62	23	202	14.4	19
63	17	205	13	17
64	23	206	14.2	23
65	21	202	13.5	18
66	16	196	14.1	22
67	25	196	13.2	18
68	24	201	13.3	19
69	21	202	14.1	19
70	24	200	16.2	18
71	22	200	16.2	23
72	17	200	16.3	20
73	15	195	16.5	18
74	18	201	14.6	20
75	18	203	12.7	20
76	19	198	14.1	16

77	19	198	14.2	20
78	17	199	15.3	20
79	23	201	17.1	21
80	18	201	16.2	20
81	22	204	14.2	22
82	18	195	14.3	20
83	19	198	16.5	21
84	19	198	14.6	21
85	18	200	13.7	21
86	17	194	16.8	20
87	20	201	16.9	20
88	18	194	16	20
89	20	200	16.5	15
90	20	203	16.5	19
91	20	197	17.4	23
92	20	200	17.2	25
93	20	198	16.2	20
94	21	200	16.5	20
95	20	202	14.4	20
96	22	203	14.2	20
97	20	200	14.1	19
98	21	200	16.5	20
99	21	194	16.6	20
100	21	197	14.6	19

Fuente: Elaboración propia – Información de la empresa

A continuación mediante el uso de programa estadístico MINITAB 17, se procederá a realizar la medición de los niveles de Cp, Cpk, Pp, Ppk para cada tipo de variable “x” con la finalidad de medir el nivel actual del proceso. De esta forma se usa la herramienta estadística de análisis de capacidad, la cual muestra como resultados la prueba de normalidad, índices de capacidades y nivel sigma.

Cabe indicar que es necesario dentro de la presente medición, realizar el cálculo para la determinación de la distribución normal del proceso, el cual pueda identificar si la medición de cada variable “x” presenta una distribución normal o no. Para ello se basará en la técnica gráfica de probabilidad normal y adicionalmente se determinará la prueba de normalidad considerando la prueba estadística de Anderson-Darling. Si la población es normal, los puntos de la gráfica conformarán una línea aproximadamente derecha y la prueba de normalidad consignará un “valor p” mayor a 0.05.

Los resultados de prueba de normalidad e índices de capacidades son mostrados en las siguientes Figuras N° 5.26, 5.27, 5.28 y 5.29 para cada variable “x”, de donde

se concluye que los análisis de normalidad para las variables “x” tienen un comportamiento normal debido a que los valores p mostrados son mayores a 0.05 y según su representación gráfica, los valores presentan una línea aproximadamente derecha.

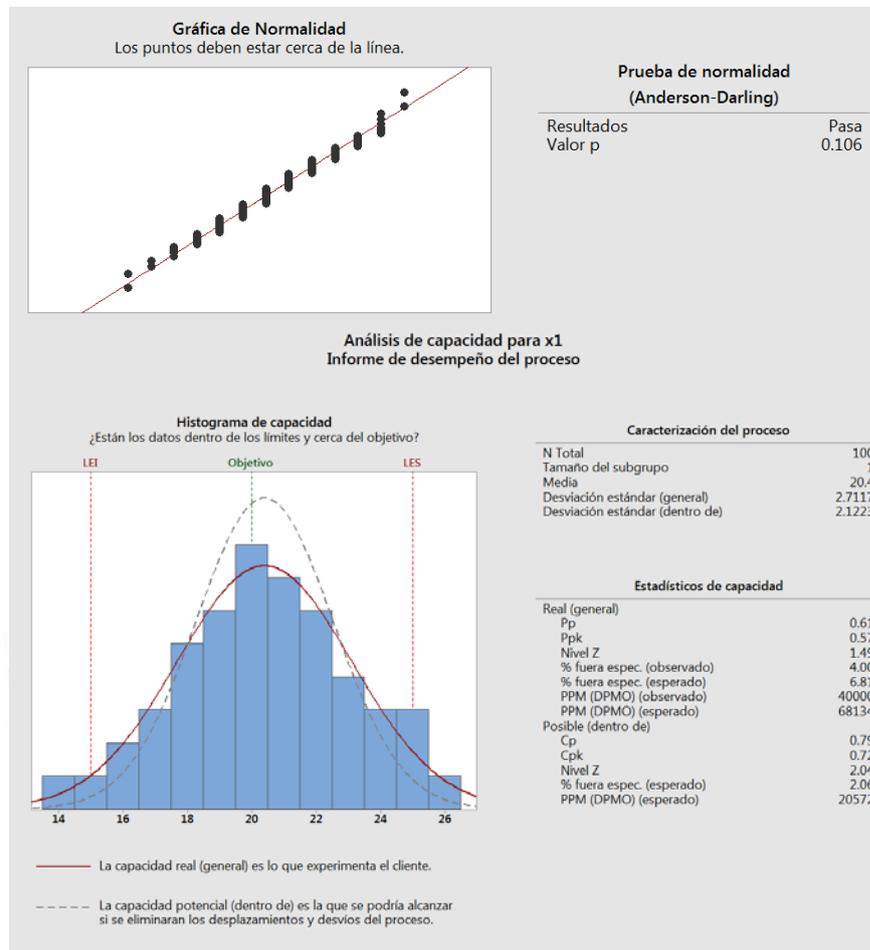


Figura 5.26 Resultados de Prueba de Normalidad y Análisis de Capacidades para la variable “x₁”

Fuente: Elaboración propia – Programa estadístico Minitab 17

Como se puede visualizar en la gráfica de normalidad presentada para la variable x₁, la tendencia de los puntos tienden a estar alineados a una recta, lo cual indica una correcta distribución de los valores con respecto al comportamiento normal. El valor p resultante es de 0.106, siendo este mayor a 0.05 por lo cual se concluye que tiene un comportamiento de distribución normal.

De la gráfica de Análisis de Capacidad para x₁, presenta el histograma de los valores medidos, en el cual se visualiza que no todos los datos medidos se encuentra dentro de los límites pero tiene una mayor densidad cerca del objetivo.

De la misma manera, se puede observar que como características del proceso se presenta una media de 20.4 y una desviación estándar (dentro de) 2.1223.

Como parte de la evaluación estadística se puede observar que el porcentaje de los productos fuera de especificación (esperado) es de 2.06%, medido en ppm representa un valor de 20572 productos no conformes.

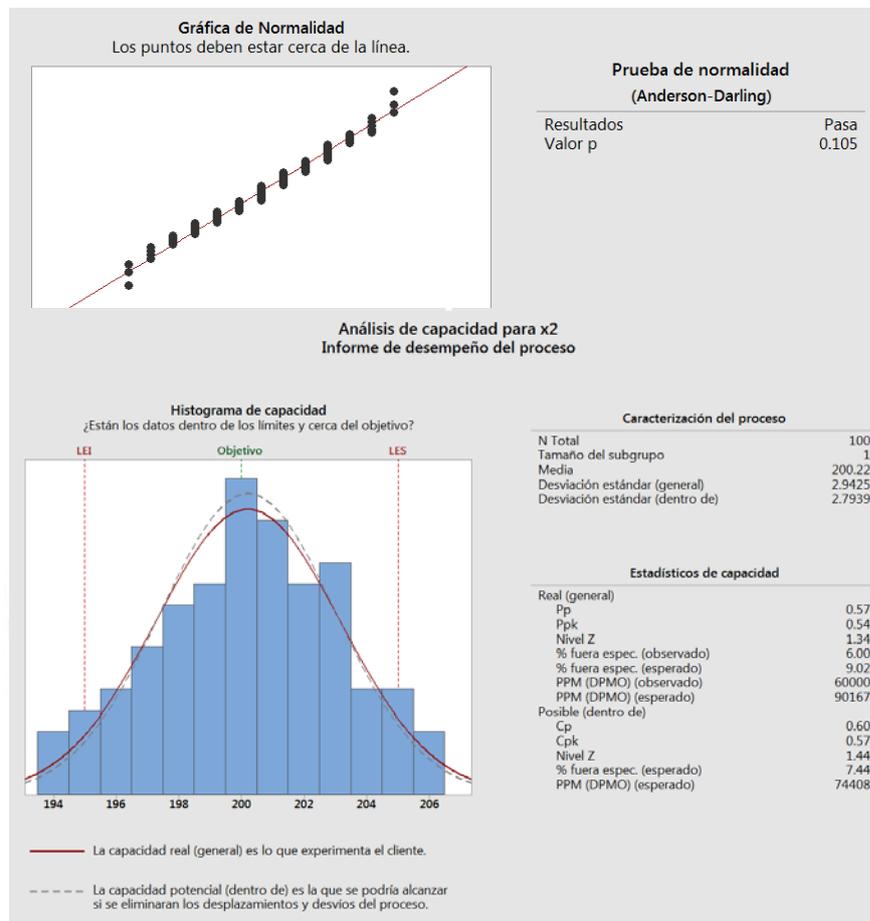


Figura 5.27 Resultados de Prueba de Normalidad y Análisis de Capacidades para la variable “x₂”

Fuente: Elaboración propia – Programa estadístico Minitab 17

Como se puede visualizar en la gráfica de normalidad presentada para la variable x₂, la tendencia de los puntos tienden a estar alineados a una recta, lo cual indica una correcta distribución de los valores con respecto al comportamiento normal. El valor p resultante es de 0.105, siendo este mayor a 0.05 por lo cual se concluye que tiene un comportamiento de distribución normal.

De la gráfica de Análisis de Capacidad para x₂, presenta el histograma de los valores medidos, en el cual se visualiza que no todos los datos medidos se encuentran dentro de los límites pero tiene una mayor densidad cerca del objetivo.

De la misma manera, se puede observar que como características del proceso se presenta una media de 200.22 y una desviación estándar (dentro de) 2.7939.

Como parte de la evaluación estadística se puede observar que el porcentaje de los productos fuera de especificación (esperado) es de 7.44%, medido en ppm representa un valor de 74408 productos no conformes.

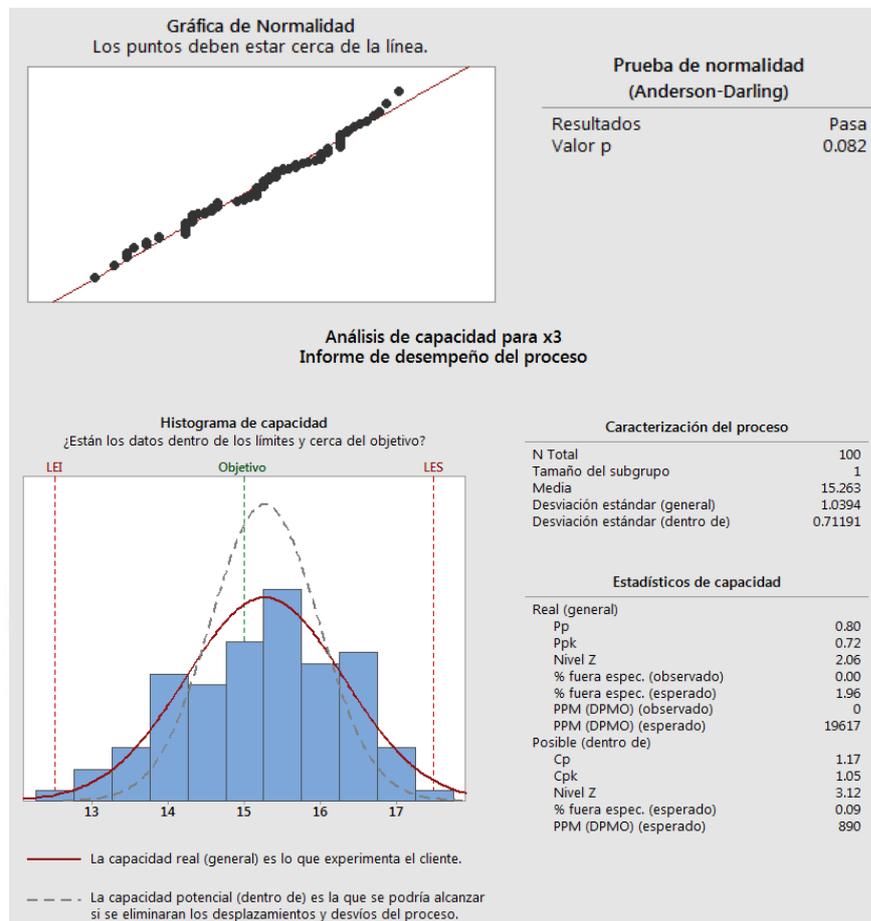


Figura 5.28 Resultados de Prueba de Normalidad y Análisis de Capacidades para la variable “x₃”

Fuente: Elaboración propia – Programa estadístico Minitab 17

Como se puede visualizar en la gráfica de normalidad presentada para la variable x₃, la tendencia de los puntos tienden a estar alineados a una recta, lo cual indica una correcta distribución de los valores con respecto al comportamiento normal. El valor p resultante es de 0.082, siendo este mayor a 0.05 por lo cual se concluye que tiene un comportamiento de distribución normal.

De la gráfica de Análisis de Capacidad para x₃, presenta el histograma de los valores medidos, en el cual se visualiza que no todos los datos medidos se encuentran dentro de los límites pero tiene una mayor densidad cerca del objetivo.

De la misma manera, se puede observar que como características del proceso se presenta una media de 15.263 y una desviación estándar (dentro de) 0.71191. Como parte de la evaluación estadística se puede observar que el porcentaje de los productos fuera de especificación (esperado) es de 0.09%, medido en ppm representa un valor de 890 productos no conformes.

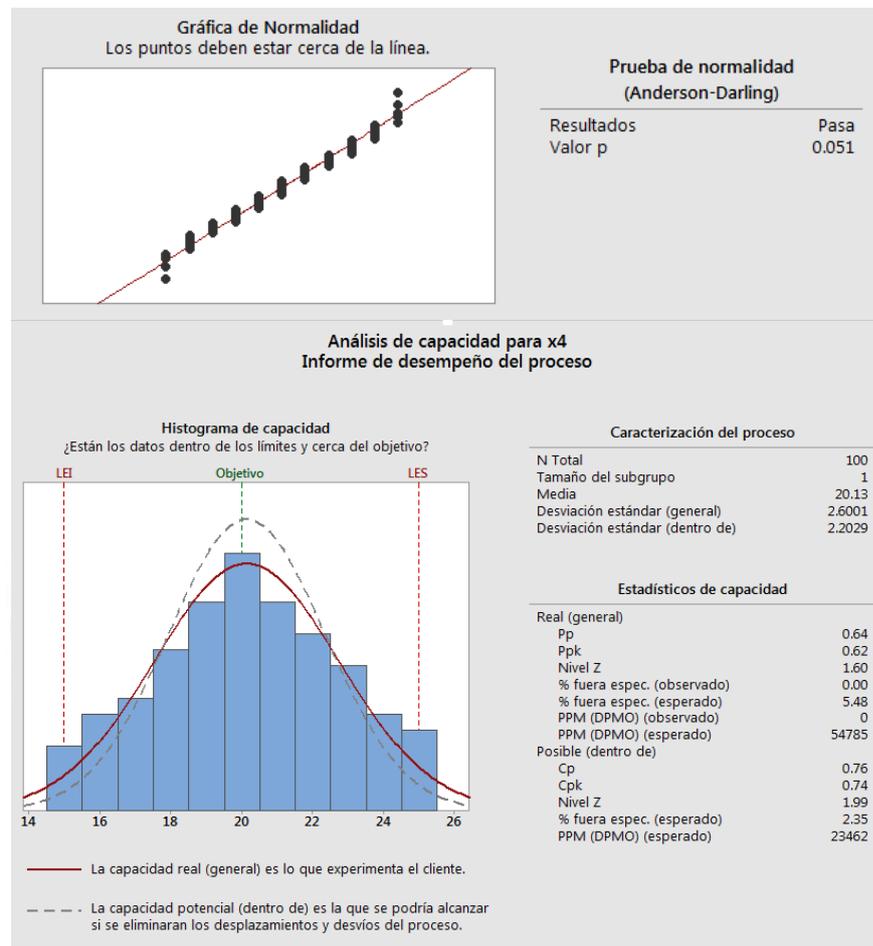


Figura 5.29 Resultados de Prueba de Normalidad y Análisis de Capacidades para la variable “x₄”

Fuente: Elaboración propia – Programa estadístico Minitab 17

Como se puede visualizar en la gráfica de normalidad presentada para la variable x₄, la tendencia de los puntos tienden a estar alineados a una recta, lo cual indica una correcta distribución de los valores con respecto al comportamiento normal. El valor p resultante es de 0.051, siendo este mayor a 0.05 por lo cual se concluye que tiene un comportamiento de distribución normal.

De la gráfica de Análisis de Capacidad para x₃, presenta el histograma de los valores medidos, en el cual se visualiza que no todos los datos medidos se encuentran dentro de los límites pero tiene una mayor densidad cerca del objetivo.

De la misma manera, se puede observar que como características del proceso se presenta una media de 20.13 y una desviación estándar (dentro de) 2.2029.

Como parte de la evaluación estadística se puede observar que el porcentaje de los productos fuera de especificación (esperado) es de 2.35%, medido en ppm representa un valor de 23,462 productos no conformes.

A continuación en la Tabla 5.14 se muestra el resumen de los resultados de los valores de capacidades y nivel seis sigmas calculadas en las figuras para cada variable “x”, denotando el objetivo del nivel sigma a ser alcanzado.

Tabla 5.14 resumen de resultados de medición de variables “x”

Resultados	Variables			
Nivel Sigma Z	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
Real 	1.49	1.34	2.06	1.60
Objetivo 	2.00	1.40	3.10	1.90
Potencial 	2.04	1.44	3.12	1.99
Deseado 	6.00	6.00	6.00	6.00
Capacidades de procesos				
Pp	0.61	0.57	0.8	0.64
Ppk	0.57	0.54	0.72	0.62
Cp	0.79	0.60	1.17	0.76
Cpk	0.72	0.57	1.05	0.74

Fuente: Elaboración propia

Debido a que el tamaño de la muestra no es total (no poblacional), se considerarán los valores de las capacidades de procesos como Cp y Cp_k, los cuales presentan valores menores a 1.33.

Como conclusión se puede mencionar que los índices de capacidad (dentro de) están asociados con la desviación típica dentro de subgrupo por lo que muestra que el proceso no es capaz debido a que presentan valores mínimos menores a 1.33. Esto representa a que los valores de Cp y Cp_k para las variables x₁, x₂, x₃, x₄ no están alineados dentro de una tendencia de 6 sigmas para el cumplimiento de la especificación. Ahora, considerando la ubicación de la media del proceso Cp y Cp_k son aproximadamente iguales para todas las variables “x” medidas por lo que se considera que el proceso está centrado.

5.2.5.2 Medición de variable “y”

Para la medición actual de las variables “y” del proceso, los valores fueron tomados de los reportes entregados, según el seguimiento mensual del nivel de desperdicio, como se muestra en la tabla 5.15 Medición de la Línea Base.

Tabla 5.15 Medición de la línea base

2014	N° neumáticos producidos	Neumáticos defectuosos	Ampolla en el costado
Enero	167,431	735	82
Febrero	162,953	569	90
Marzo	175,635	596	67
Abril	140,467	689	137
Mayo	160,770	571	47
Junio	150,797	402	105
Julio	143,359	824	187
Agosto	132,923	1,387	340
Septiembre	148,062	1,254	324
Octubre	152,652	1,011	486
Noviembre	144,494	1,139	386
Diciembre	118,694	878	273

Fuente: Elaboración propia – Datos de la empresa.

A continuación se determinan las capacidades actuales del proceso en base del nivel sigma, representado en partes por millón, calculados según la siguiente fórmula de Defectos Por Millón (DPM) según se muestra en la Ecuación 5.3.

Ecuación 5.3 Cálculo de Defectos por millón (DPM).

$$DPM = \frac{\text{Defectos} \times 1 \text{ millón}}{\text{Unidades}}$$

Para la presente fase y considerando que el enfoque principal se realiza para el tipo de desperdicio badgoods, a continuación en la Figura 5.30 se muestra la tendencia de DPMM en neumáticos defectuosos y DPM de ampollas en el costado presentados en el 2014.

De la Figura 5.30 y el siguiente Tabla 5.16 DPM y Nivel sigma, se puede determinar la medición actual del proceso en un nivel sigma. Por tal, los resultados son mostrados en la Tabla 5.17 Resumen de Línea Base 2014.

Línea Base variable y (DPM) 2014

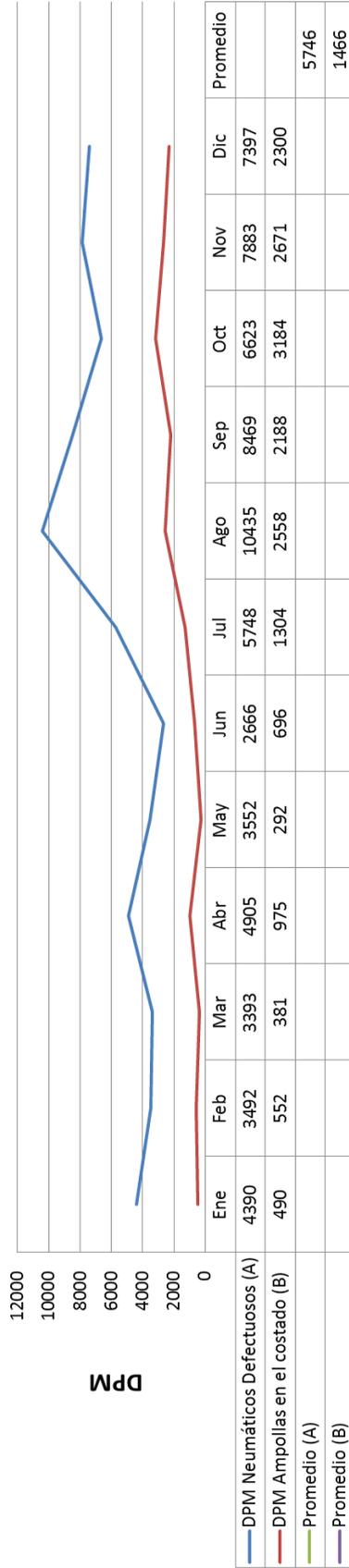


Figura 5.30 Estudio de Línea Base

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.16 DPM y Nivel sigma

DPM	NIVEL SIGMA
5.4	5.9
8.5	5.8
13	5.7
21	5.6
32	5.5
48	5.4
72	5.3
108	5.2
159	5.1
233	5
337	4.9
483	4.8
687	4.7
968	4.6
1350	4.5
1866	4.4
2555	4.3
3467	4.2
4661	4.1
6210	4
8198	3.9
10724	3.8
13903	3.7

Fuente: Handbook de Motorola

Tabla 5.17 Resumen de Línea Base 2014

	DPM	Nivel Sigma	Objetivo
Promedio neumáticos defectuosos	5746	4.0	4.5
Promedio ampollas en el costado	1466	4.5	5.0

Fuente: Elaboración propia

Realizado los entregables de la presente fase medida con la entrega de la línea base, se procede a realizar la siguiente fase de análisis.

5.3 Fase Analizar

En la fase de Análisis, el equipo buscará analizar lo que está mal en el proceso y determinará cuáles son las causas fundamentales de los problemas identificados del proceso en las fases anteriores. El objetivo clave de la presente fase es validar causas raíces, para lo cual se presenta un análisis usando diversos tipos de herramientas y técnicas estadísticas en el proceso para llegar a este fin.

En el capítulo anterior se presentó las mediciones de los niveles de Six Sigma y capacidades de proceso de cada variable mostrando el nivel actual del desempeño del proceso. Por ello a continuación se realiza un análisis gráfico de los resultados de las mediciones, haciendo uso del programa estadístico del Minitab17.

5.3.1 Análisis de variable “y”

A continuación se presenta el análisis de control de nuestra variable “y”, para lo cual se soportará con un diagrama de atributos considerando el número de neumáticos defectuosos por ampollas en el costado en función de la cantidad de neumáticos producidos como una población total y con un periodo mensual de tiempo, tal como se presentó en la Tabla 5.14 Medición de la línea base.

En el análisis se usará como fundamento denotado por Down et al. (2005), en el manual de control estadístico de proceso (SPC), gráfica de control “P” y haciendo uso del programa estadístico MINITAB 17 se muestra la Figura 5.31.

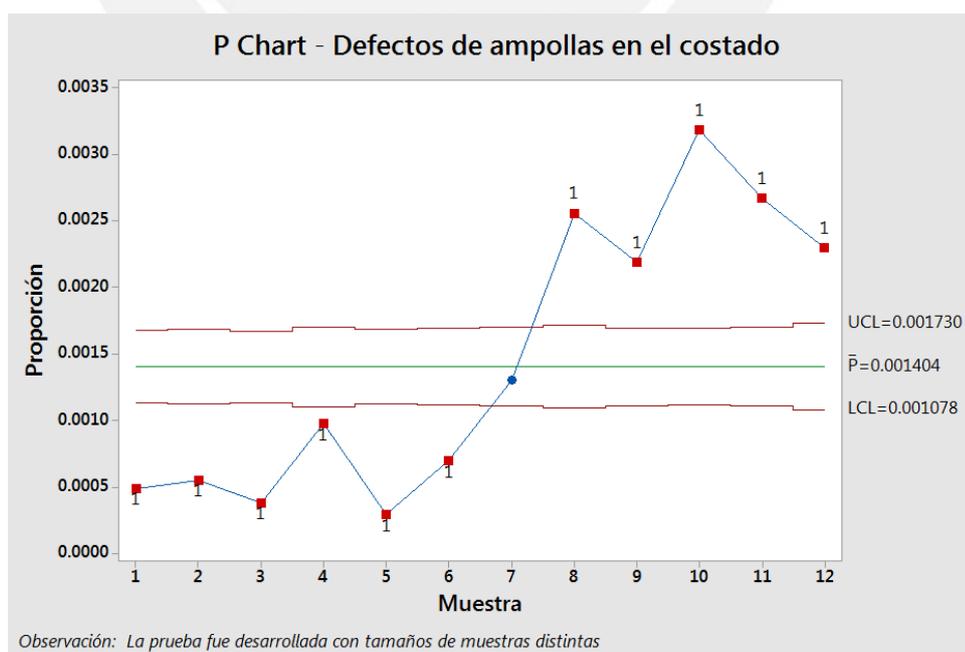


Figura 5.31 P chart ampollas en el costado

Fuente: Elaboración propia – Minitab 17

De la gráfica p chart, se puede observar cuál es el comportamiento del proceso e indica que todos los puntos, excepto uno, se encuentran fuera de los límites inferiores y superiores. Es así que se identifican dos zonas claramente divididas por los límites superior e inferior, de tal forma que todos los puntos que se encuentran fuera de los límites de control se interpretan como una evidencia de que el proceso está fuera de control estadístico y están presentes causas especiales que afectan al proceso. De esta forma, es preferente dividir en dos partes el análisis debido a que el proceso presenta 2 tipos de comportamiento, del punto 1 al 6 y del punto 8 al 12, en donde ambos comportamientos son inestables según la Figura 5.27. Cabe indicar que los tamaños de muestras para cada uno de los puntos son variables, los cuales originan variaciones adicionales dentro del sistema.

De la Figura 5.32 se realizó el análisis de las causas especiales que originaron que los valores del 3,4 y 5 estuvieran fuera de los límites de control, encontrándose que como principales causas que originaron estos problemas presiones de planchado por debajo de especificación con un 70% de incidencias y incorrecta colocación de planchadores con un 15% de incidencias dentro del total de causas.

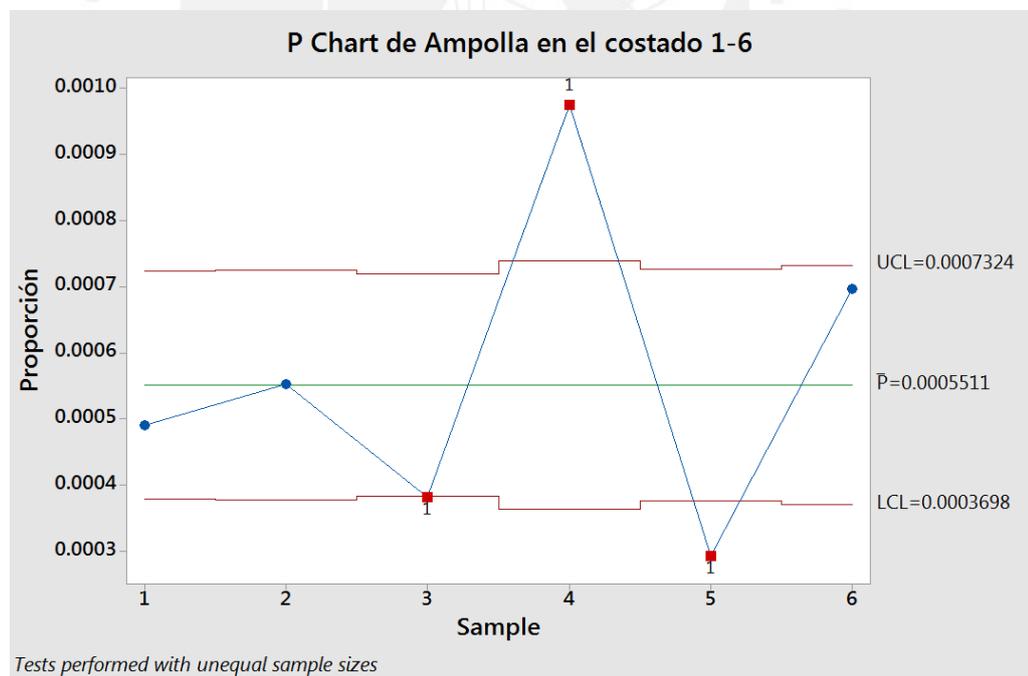


Figura 5.32 P chart ampollas en el costado 1-6

Fuente: Elaboración propia – Minitab 17

Caso similar sucede en el análisis de la Figura 5.33, donde se realizó el análisis de las causas especiales que originaron que los valores del 9 y 10 para que estuvieran

fuera de los límites de control, encontrándose que como principales causas que originaron estos problemas fueron originadas por presiones de planchado por debajo de especificación con un 60% de incidencias y incorrecta colocación de planchadores con un 25% de incidencias dentro del total de causas. Cabe indicar que existieron otros tipos de causas raíces que originaron ampollas en los costados de los neumáticos.

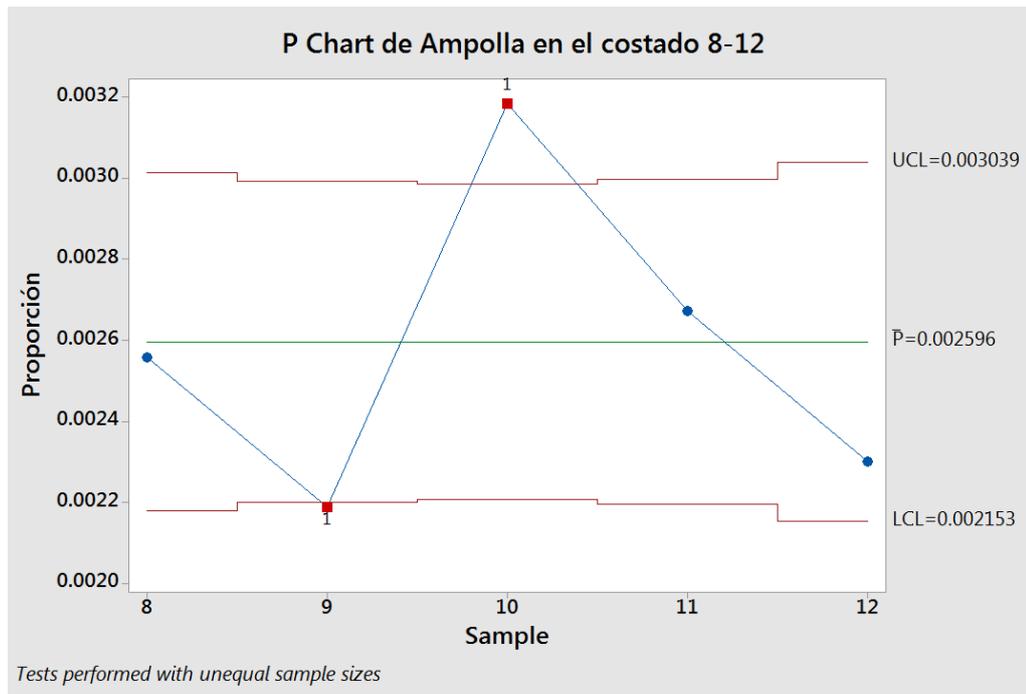


Figura 5.33 P chart ampollas en el costado 8-12

Fuente: Elaboración propia – Minitab 17

De esta forma, es necesario realizar un estudio que ayude a determinar el nivel de significancia que implica la variación de cada variable “x” con respecto a la variable “y” y de esta forma conocer el nivel de significancia o influencia de estas variables de entrada en el proceso. A continuación, mediante el uso del método de Diseño de Experimentos (DOE) se determinará el nivel de significancia de las variables “x” con respecto a las variables “y”, tal como se visualiza en la siguiente Figura N° 5.33.

El presente experimento fue liderado por los Green Belts con soporte del Balck Belt permitiendo de esta forma diseñar el proyecto de manera correcta. Para el presente experimento de optimización se creó un diseño factorial modelado con los 4 factores críticos (variables “x”) que tienen la mayor influencia en la salida. El objetivo principal fue determinar la relación de los factores críticos que crean la respuesta a la variable de salida “y”.



Figura 5.34 Principales factores para el DOE

Fuente: Elaboración propia - Información de la empresa

Para ello, se consideraron las condiciones operativas del proceso actual para definir los niveles de los factores, de acuerdo a la información proporcionada por la Tabla 5.11 Especificaciones de procesos para las variables “x”. De esta forma, para cada factor numérico se consideró cuánto puede aumentar o disminuir el factor de su configuración actual para ver si existe alguna diferencia en la respuesta y de esta forma estimar el efecto principal para cada factor, así como las interacciones entre cada par de factores. Siendo el principal efecto la diferencia entre la media de la respuesta a la baja de ajuste de un factor y la media de la respuesta en el ajuste alto. A continuación en la Tabla 5.18 Matriz de Diseño Factorial para 4 factores se muestran las consideraciones de las variables a ser consideradas para el experimento.

Tabla 5.18 Matriz de Diseño Factorial para 4 factores

N° prueba	x_1	x_2	x_3	x_4	$x_1 \cdot x_2$	$x_1 \cdot x_3$	$x_1 \cdot x_4$	$x_2 \cdot x_3$	$x_2 \cdot x_4$	$x_3 \cdot x_4$	$x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$	$x_2 \cdot x_3 \cdot x_4$	$x_1 \cdot x_3 \cdot x_4$	$x_1 \cdot x_2 \cdot x_4$	$x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4$
1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
4	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1
5	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
6	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1
7	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
8	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
9	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1
10	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1
11	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	-1	-1
12	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1
13	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1
14	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1
15	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1
16	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	-1

Fuente: Elaboración propia - Información de la empresa

Como se puede visualizar, se desarrollaron un total de 16 pruebas de acuerdo al número de variables y los resultados fueron considerados de acuerdo al grado de apariencia del neumático especificado por los requerimientos del Departamento de Calidad, tal como se muestra en la Tabla 5.19 Grado de apariencia del neumático.

Tabla 5.19 Grado de apariencia del neumático

Calificación	Grado de apariencia
Muy bueno	0
Bueno	1
Requiere separar y corregir	2
Defectuoso/residuo	3

Fuente: Elaboración propia - Información de la empresa

A continuación en la Tabla 5.20 Resultados de las pruebas, se muestran los resultados de la calidad del neumático evaluada al realizar la interacción de cada factor presentada en la Tabla 5.18, haciendo uso de la herramienta de Diseño de Experimentos (DOE) brindada por el programa Minitab 17.

Tabla 5.20 Resultados de las pruebas

N° prueba	x_1	x_2	x_3	x_4	Resultado
1	15	195	14	15	3
2	25	195	14	15	1
3	15	205	14	15	2
4	25	205	14	15	1
5	15	195	16	15	2
6	25	195	16	15	1
7	15	205	16	15	2
8	25	205	16	15	1
9	15	195	14	25	2
10	25	195	14	25	0
11	15	205	14	25	2
12	25	205	14	25	0
13	15	195	16	25	2
14	25	195	16	25	0
15	15	205	16	25	2
16	25	205	16	25	0

Fuente: Elaboración propia - Información de la empresa

A continuación en la Figura 5.35 Gráfico Normal de los Efectos, se muestra el nivel de significancia de las variables “x”. De esta forma se determina que sólo las variables x_1 y x_4 presentan un tipo de efecto significativo.

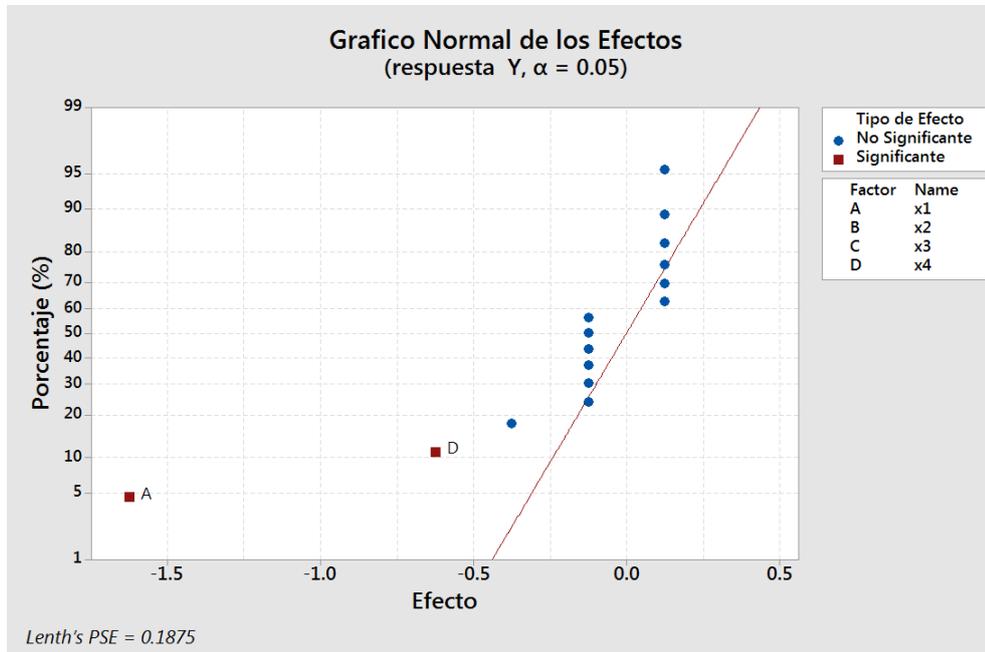


Figura 5.35 Gráfico Normal de los Efectos

Fuente: Elaboración propia – Minitab 17

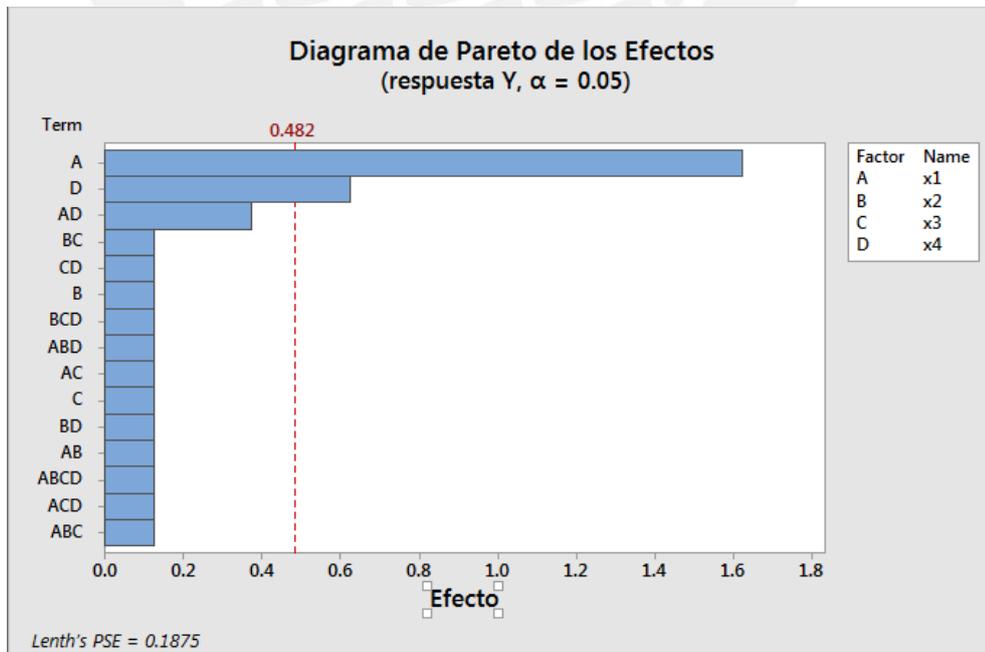


Figura 5.36 Diagrama de Pareto de Efectos

Fuente: Elaboración propia – Minitab 17

De la misma forma si se analiza el resultado de los efectos de la interacción de los factores de acuerdo a la Figura 5.36 Diagrama de Pareto de Efectos, se puede concluir que existe un mayor efecto de los factores de las variables x_1 y x_4 , las cuales representan más del 55% del efecto al presentarse una variación entre cada una de ellas y esto a la vez origina un mayor efecto al tener una combinación entre ellas como $x_1.x_4$ tal como se puede visualizar en la Figura 5.37 Gráfica de Iteracción para Y, conforme aumenta el valor de x_1 disminuye la influencia de los valores de $x_1.x_4$ con respecto a la media de Y. Los demás factores de las variables x_2 , x_3 y sus combinaciones no generan una influencia importante en variable de salida “y”.

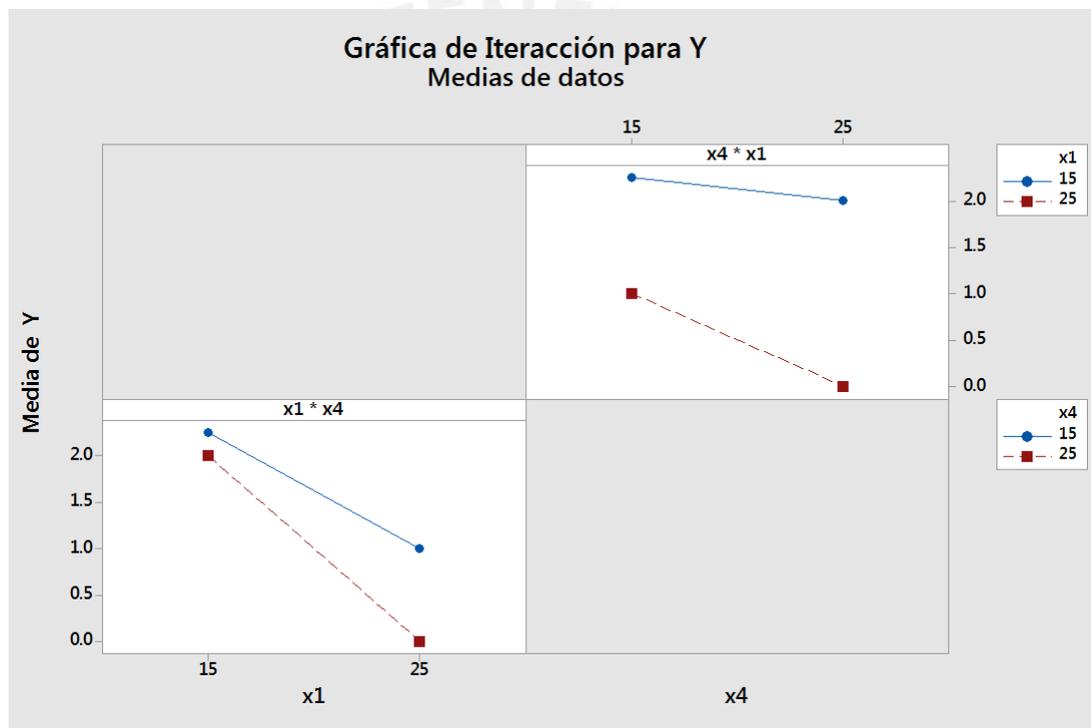


Figura 5.37 Gráfica de Iteracción para Y

Fuente: Elaboración propia – Minitab 17

Como conclusión, teniendo un análisis más detallado de las potenciales causas, se determina cuáles son los niveles de significancia de las variables de entrada “x” que están originando esta variación en la variable de salida “y”, tal como se presenta en la Tabla 5.21 Nivel de significancia de las variables “x” con la variable “y”.

Tabla 5.21 Nivel de significancia de las variables “x” con la variable “y”

Variable	Significancia con variable “y”
x1	39.4%
x2	3.0%
x3	3.0%
x4	15.2%

Fuente: Elaboración propia - Información de la empresa

A continuación en la Tabla 5.22 se muestra el Análisis de Modos Falla y Efectos potenciales del proceso de construcción de neumáticos, el cual permite determinar el nivel de riesgo (NPR) considerando los efectos de falla potenciales. Como se puede observar existe un efecto potencial de falla (variable “x”) determinado en el análisis que corresponde a las ampollas o aire atrapado en el costado (variable “y”) y en muchos de los modos de fallas del proceso son consideradas como características especiales del proceso, esto indica que éstas variables o causas son más críticas y deben ser controladas mediante acciones enfocadas a la prevención y detección o algún mecanismo que reduzca el nivel de significancia del mismo. Tal como se puede visualizar en el requisito del proceso N° 6 correcto planchado de carcasa presenta una severidad para este tipo de efecto potencial de 7, lo cual indica que puede comprometer a la seguridad de las personas de presentarse la falla; el nivel de máximo de ocurrencia es de 6 y con un nivel de detección de 5 para las causas potenciales de falla, determinándose un nivel de riesgo de 210. Esta evaluación se realizó considerando los criterios establecidos por Down *et al.* (2008) en el Manual de Análisis de modos y efectos de falla (AMEF). Como conclusión, los análisis de causas de estos efectos y modos de falla fueron identificadas y determinadas correctamente, debiendo de ser monitoreadas de manera especial con controles específicos para reducir el nivel de riesgo (NPR).

Tabla 5.22 AMEF del proceso de construcción

ETAPA DEL PROCESO/ FUNCIÓN	REQUISITO	MODO DE FALLA POTENCIAL	EFECTO (S) POTENCIAL (ES) DE FALLA	CLASIFICACION	SEVERIDAD	CAUSA (S) POTENCIALES DE FALLA	PROCESO ACTUAL		Nº PR	ACCIONES RECOMENDADAS	RESPONSABLE Y FECHA DE TERMINACIÓN	RESULTADO DE LAS ACCIONES			
							CONTROLES DE PREVENCIÓN	CONTROLES DE DETECCIÓN				OCURENCIA	DETECCION	ACCIONES TOMADAS	OCURENCIA
Construcción Radial	5. Correcta aplicación de Costado	Aplicación incorrecta costado	Vibración y mala dirigibilidad	5	7	Junta pesada	Entrenamiento	5	Balancesadora	4	100				
						Spotting Irregular	Limpieza de control - monitor	4	80						
		Aplicación incorrecta costado	5	7	Costado con colocación invertida	Entrenamiento	3	Inspección Final - Visual	8	120					
					Junta Irregular	Entrenamiento	6	FVM	4	80					
					Largo Irregular	Marcar para largo especificado	4								
					Aplicación Irregular	Set-up de liberación	5	Bima laser	4	100					
	6. Correcto planchado de carcasa	Planchado irregular de costado	7	Largo Irregular	Especificación de trabajo/referencia p/ fotocélida	5	Inspección Final - Visual	4	100						
				Adhesión de material	Liberación de máquina por monitor	6	Inspección Final - Visual	4	120						
				Ajuste irregular de colocación de planchadores	Liberación de máquina por monitor	6									
		7	Parada intermedia de planchadores inoperativa	Liberación de máquina por monitor	6										
			Presión de planchador dinámico por debajo de especificado	Liberación de máquina por monitor	3	Inspección Final - Visual	5	210							
			Condición irregular de planchadores/equipos	Mantenimiento preventivo	2										
7. Correcto planchado de junta de costado	Costado sin planchar	7	Alta vibración y mala dirigibilidad	Ajuste irregular	3	FVM	3	63							
			Empalme de costado abierto	Condiciones de Planchador	5	Inspección Final - Visual	6	150							
	10. Correcta aplicación de Rodado	Junta pesada o junta abierta	6	Fuerza Radial y Armónica	Rodado conolargo después de aplicación	4	FVM	4	96						
				Esfriamiento excesivo de aplicación	Entrenamiento	3									
		Junta abierta	6	Fuerza Radial y Armónica	Aplicación de Rodado fuera de centro	5	Luz Bima	4	120						
				Conicidad	Junta leve	3	Inspección Final - Visual	8	144						
11. Correcto calentamiento de bisel por rodado	Calentamiento de bisel por debajo de temperatura especificada	7	Mala dirigibilidad	Rodado descentrado	3	FVM	4	72							
			Desgaste prematuro con Junta de rodado abierta.	Seleto incorrecto de temperatura y tiempo de calentamiento de bisel	7	Auditoria visual	7	98							
	Calentamiento de bisel por encima de temperatura especificada	7	7	Falla en servicio de la banda de rodamiento por desgaste en el empalme.	Incorrecta colocación de rodado en servidor (con equipo de calentador de bisel)	2	Auditoria visual	7	98						
				Flux de planchadores	Entrenamiento	2									
				Presión planchadores	Entrenamiento	2									
				Presión interna de carcasa	Entrenamiento	2									
12. Planchado de llanta verde	Fuerza Radial y Armónica	6	Vibración y mala dirigibilidad	Flux de planchadores	3										
				Presión planchadores	4	FVM	4	96							
7	Planchado irregular	7	Apariencia irregular - Ampollas	Tempo irregular de planchado	4										
				Presión y alineamiento de planchadores	Set-up de liberación	3	Inspección Final - Visual	8	168						
						Ajuste planchadores	3	168							

Fuente: Elaboración propia

5.3.2 Análisis de variables “x”

A continuación se realiza el análisis de capacidades para las variables “x”, para ello se hace uso de las herramientas estadísticas del Minitab 17; la cual detalla un análisis gráfico de diagnóstico del proceso mediante gráficas individuales y rangos móviles, tal como se presenta a continuación en las siguientes figuras. Cabe indicar que cada una de estas mediciones fueron validadas en el capítulo anterior y a continuación se brindará un análisis de los resultados obtenidos para identificar las causas raíces del problema.

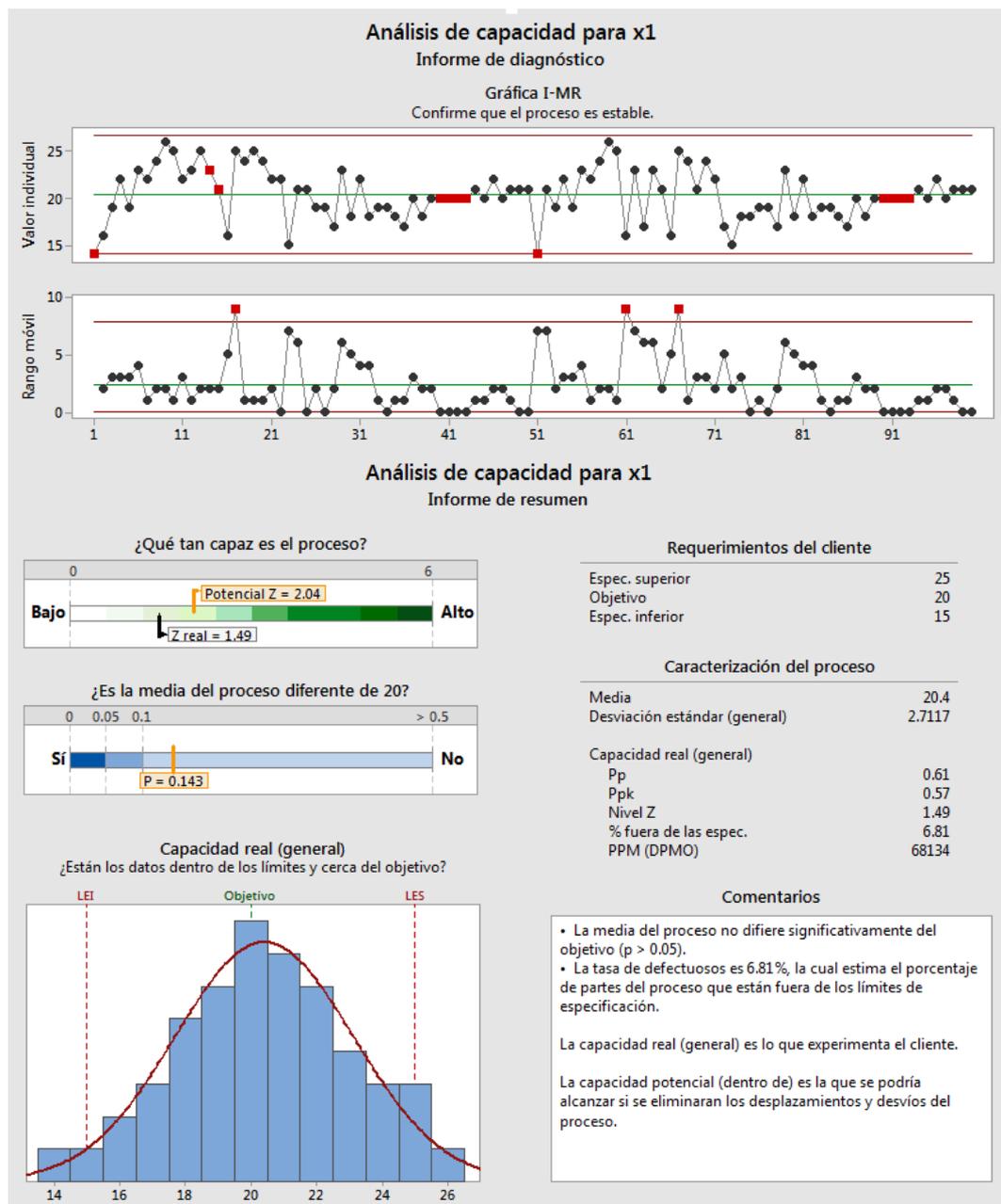


Figura 5.38 Análisis de capacidad para variable x_1

Fuente: Elaboración propia – Minitab 17

De la Figura 5.38 la gráfica de control individual y rango móvil presenta valores fuera de los límites de control, lo cual denota que existen causas especiales que están originando un descontrol en el proceso y un potencial efecto para la variable y . De la misma forma, la variable x_1 presenta un nivel sigma muy bajo con un valor de 1.49, con un sigma potencial de 2.04 si logra eliminar los desplazamientos y desvíos del proceso.

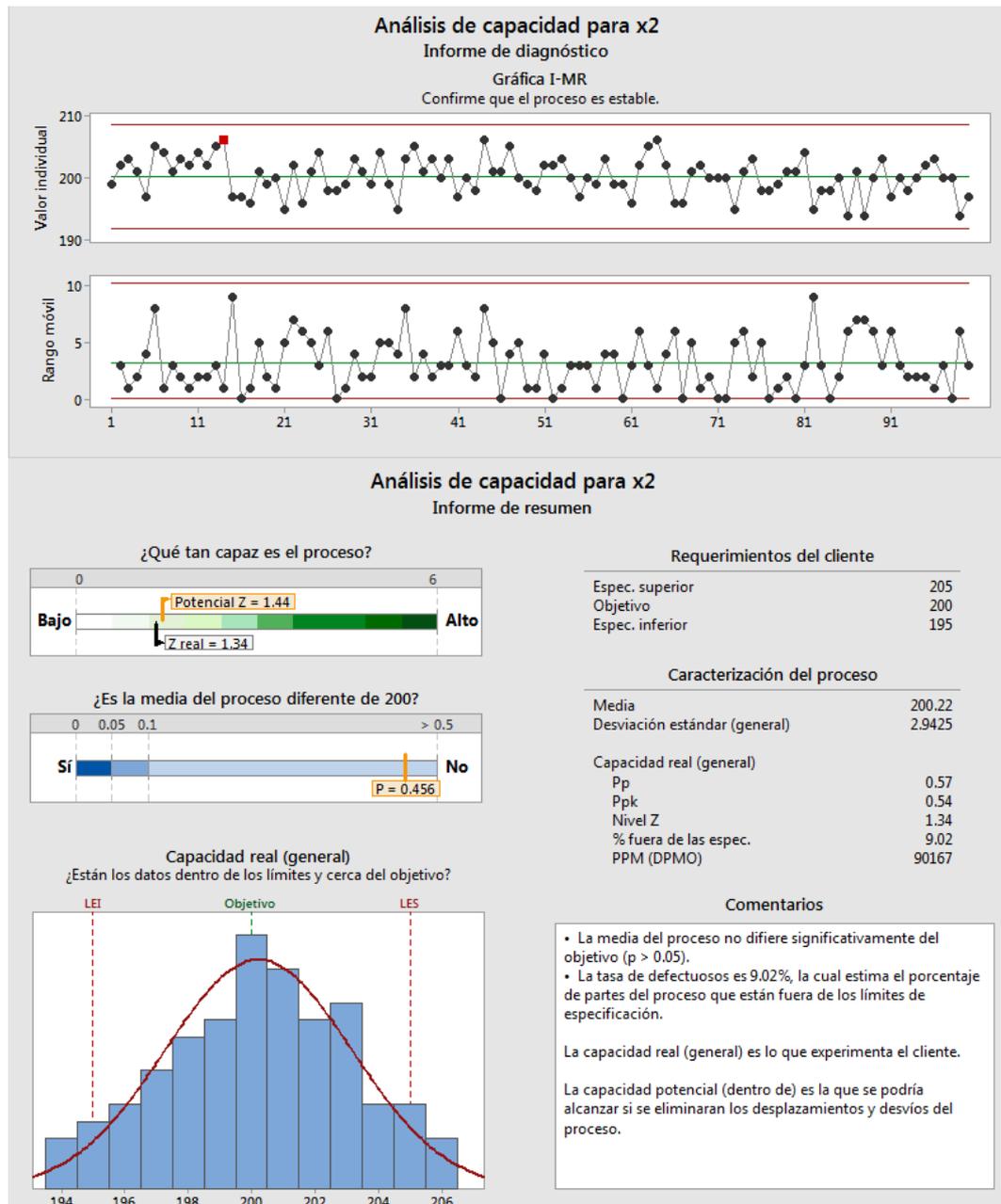


Figura 5.39 Análisis de capacidad para variable x_2

Fuente: Elaboración propia – Minitab 17

De la Figura 5.39 la gráfica de control individual y rango móvil no presentan valores fuera de los límites de control, lo cual denota que no existen causas especiales que estan originando un descontrol en el proceso y un potencial efecto para la variable y . De la misma forma, la variable x_2 presenta un nivel sigma muy bajo con un valor de 1.34, con un sigma potencial de 1.44 si logra eliminar los desplazamientos y desvios del proceso. Por tal, se puede concluir que la presente variable x_2 no afecta significativamente a la variable “y”.

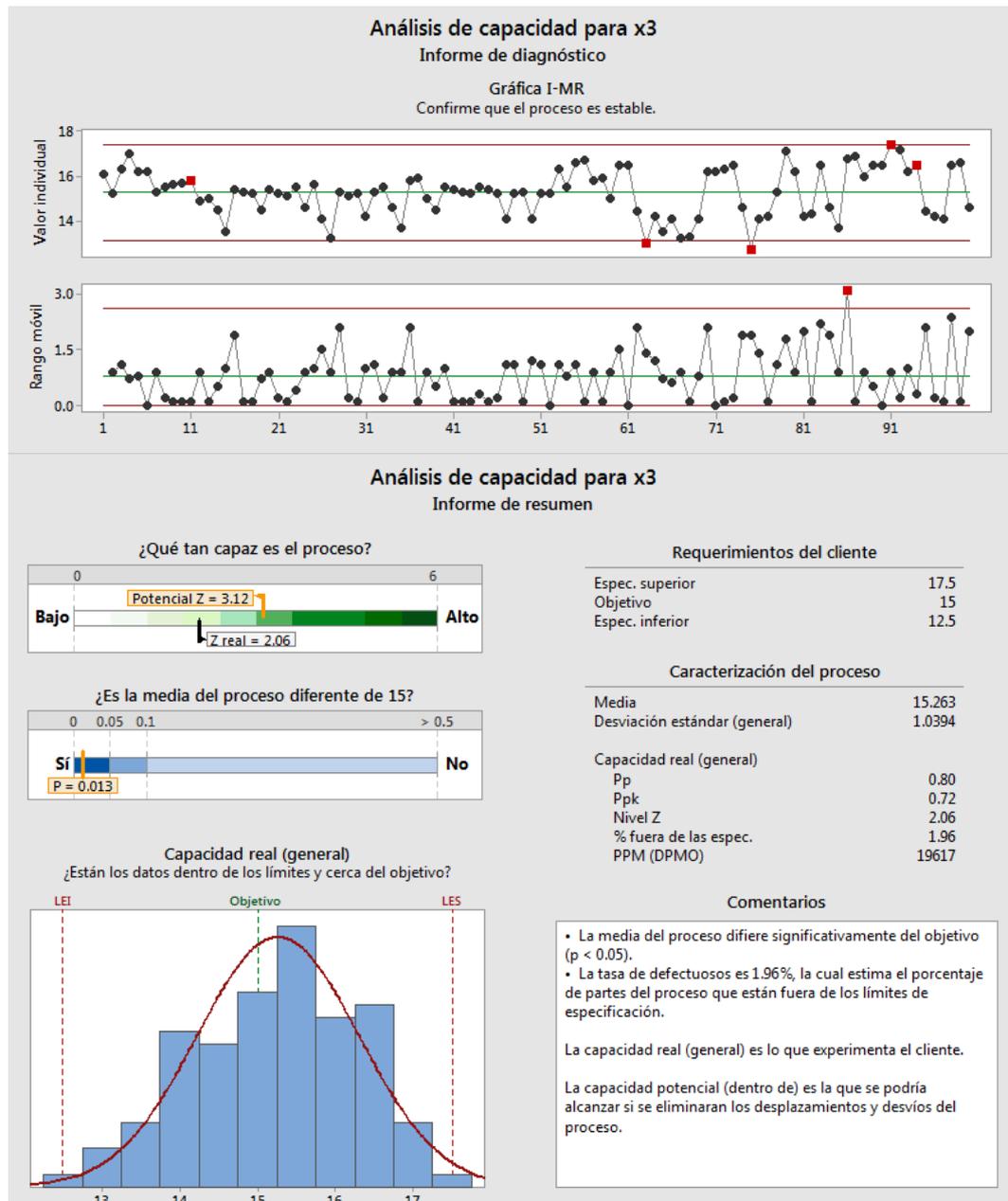


Figura 5.40 Análisis de capacidad para variable x_3

Fuente: Elaboración propia – Minitab 17

De la Figura 5.40 la gráfica de control presenta valores por fuera de los límites de control, lo cual denota que existen causas especiales que están originando un descontrol en el proceso y un potencial efecto para la variable y . De la misma forma, la variable x_3 presenta un nivel sigma muy bajo con un valor de 2.06, con un sigma potencial de 3.12 si logra eliminar los desplazamientos y desvíos del proceso.

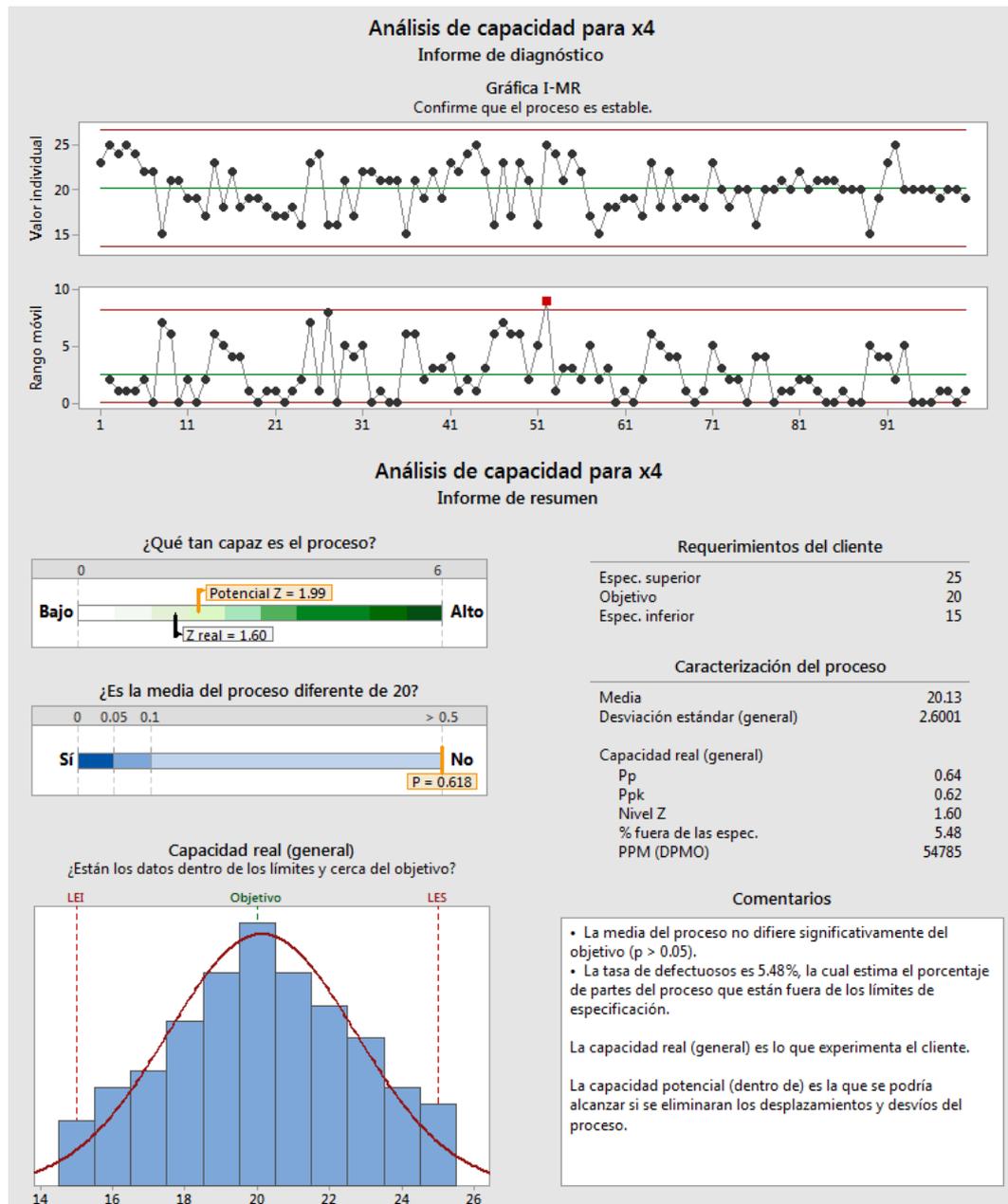


Figura 5.41 Análisis de capacidad para variable x_4

Fuente: Elaboración propia – Minitab 17

De la Figura 5.41 la gráfica de control presenta valores por fuera de los límites de control, lo cual denota que existen causas especiales que están originando un descontrol en el proceso y un potencial efecto para la variable y . De la misma forma, la variable x_4 presenta un nivel sigma muy bajo con un valor de 1.60, con un sigma potencial de 1.99 si logra eliminar los desplazamientos y desvíos del proceso.

5.3.3 Determinación de las causas raíces potenciales

En la Figura 5.42 se muestra el análisis de causa raíz mediante la herramienta conocida como Porqué/Porqué o Porqué matricial, generado a partir del grado de determinación y considerando el análisis realizado de las variables “ x ” e “ y ”.

Este análisis mediante la herramienta Porqué/Porqué permite afrontar el análisis de manera matricial identificando diversas causas potenciales que pueden estar originando el problema en el proceso. Por tal, se concluye que las principales causas raíces que producen la variación del proceso para la variable “ y ” son originadas debido a:

- a) No existe un instructivo de ajuste adecuado de principales equipos en máquina de construcción.
- b) No está establecido una frecuencia de análisis del sistema de medición de los principales equipos
- c) Equipos de compresión de aire presentan nivel de presión menor a 150 psi
- d) Diseño de planchadores no se ajustan correctamente a lo requerido por el proceso
- e) Presiones de planchado no están adecuadas a lo requerido por el proceso.

A continuación, después de haber identificado las causas raíces se procede a la etapa de mejora de la metodología.

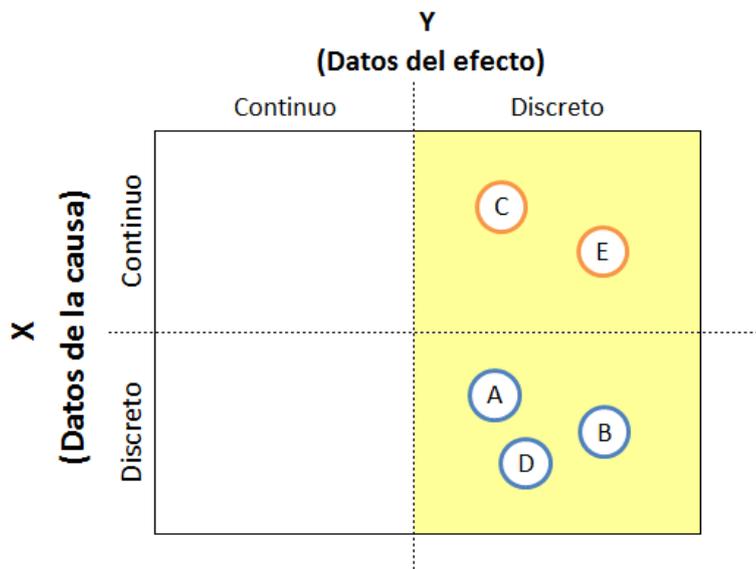
Variable y = Ampolla en el costado (aire atrapado)						
Variables x	fenómeno	Porqué	Porqué	Porqué	Porqué	Porqué
x1: Presiones de planchado	baja presión de planchado	Porque planchadores ingresaron con baja presión	Porque no se reguló correctamente las presiones	Porque regulación no está correctamente especificada	Porque no existe un instructivo de ajuste de principales equipos en máquina	
				Porque equipos de medición no tienen una correcta discriminación	Porque no se verificó el requerimiento de rango de operación del proceso	
					Porque no se realizó un análisis del sistema de medición del equipo	Porque no está establecido una frecuencia de análisis del sistema de medición de los principales equipos
			Porque presión de aire no es continua	Porque sistema de envío de presión de aire principal tiene fluctuaciones	Porque equipos de compresión de aire requieren mantenimiento	
					Porque equipos no presentan un sistema de control automático	
x2: Colocación de planchadores	Colocación de planchadores distinto a especificado	Porque no se reguló correctamente	Porque personal de mantenimiento no conoce la forma correcta	Porque regulación no está correctamente especificada	Porque no existe un instructivo de ajuste de principales equipos en máquina	
		Porque se reguló de acuerdo a lo requerido en proceso	Porque especificado está equivocado	Porque no se diseñó correctamente la especificación de la colocación		
				Porque diseño de equipos de planchado no son los adecuados	Porque diseño de planchadores no se ajustan correctamente a lo requerido por el proceso	
x4: Tiempo de planchado	Colocación de planchadores distinto a especificado	Porque no se está siguiendo estándar de tiempo requerido para el planchado	Porque se redijo el tiempo de planchado	Porque sistema permite modificar los tiempos en máquina	Porque no existe un bloqueo de cambio de variables críticas	
Causas raíces identificadas						
(1) No existe un instructivo de ajuste adecuado de principales equipos en máquina de construcción (2) No está establecido una frecuencia de análisis del sistema de medición de los principales equipos (3) Equipos de compresión de aire no presentan un sistema de control automático (4) Diseño de planchadores no se ajustan correctamente a lo requerido por el proceso						

Figura 5.42 Análisis de causas mediante herramienta porqué/porqué

Fuente: Elaboración propia

5.3.4 Verificación de las causas raíces potenciales

Una vez determinadas las causas raíces potenciales, se procedió a dar validez de las causas mediante el uso de herramientas estadísticas. Para ello es importante identificar los tipos de datos que se necesitarán para validar las causas potenciales, es por ello que a continuación se presenta la Tabla el resumen de los tipos de datos de las causas y el tipo del dato del efecto. Una vez identificados los tipos de datos se procedió a realizar mediciones para que en base a nuevos datos, validar cada causa raíz potencial identificada.



- A- No existe un instructivo de ajuste adecuado de principales equipos en máquina de construcción.
- B- No está establecido una frecuencia de análisis del sistema de medición de los principales equipos
- C- Equipos de compresión de aire presentan nivel de presión menor a 150 psi
- D- Diseño de planchadores no se ajustan correctamente a lo requerido por el proceso
- E- Presiones de planchado no están adecuadas a lo requerido por el proceso.

Figura 5.43 Tipos de datos de las causas y efecto

Fuente: Elaboración propia

5.3.4.1 Verificación de la causa raíz potencial A

A continuación se muestra los resultados de la verificación realizada de la causa raíz potencial A, una vez obtenidas las mediciones, se procedió a evaluar los datos haciendo uso de tablas de contingencia, tal como se muestra a continuación en la siguiente Figura 5.44, realizándose la medición de 300 neumáticos, entre defectuosos y no defectuosos en la misma proporción.

Los valores en los recuadros de la Figura 5.40 se construyen con la finalidad de mostrar los resultados de los datos discretos presentados para X y para Y, y de esta forma relacionar la ocurrencia del defecto ("aire atrapado en el costado") con la

ocurrencia del X discreto (“no existencia de un instructivo de ajuste adecuado de principales equipos en máquina de construcción”).

Causa X: A- No existe un instructivo de ajuste adecuado de principales equipos en máquina de construcción

		Causa X: A- No existe un instructivo de ajuste adecuado de principales equipos en máquina de construcción		
		Presente	No presente	
Defecto Y: "Aire atrapado en el costado"	Presente	32	118	$n_1 = 150$
	No presente	92	58	$n_2 = 150$

n_1 : número de neumáticos defectuosos
 n_2 : número de neumáticos en buenas condiciones
 n : número de muestras total

Figura 5.44 Tabla de contingencia causa potencial A

Fuente: Elaboración propia

Si la teoría de la causa raíz está acertada, entonces esperaríamos ver número bajos en los recuadros superior izquierdo e inferior derecho (color verde). Los números en esta tabla son muy diferentes unos de los otros. En otras palabras, la no existencia de un instructivo de ajuste adecuado de principales equipos en máquinas de construcción está en relación con la presencia de defectos tipo aire atrapado en el costado, por lo que se puede concluir que existe una relación fuerte entre la no existencia de un instructivo de ajuste en maquinas de construcción radial y el aire atrapado ene l costado de los neumáticos.

5.3.4.2 Verificación de la causa raíz potencial B

De acuerdo a la verificación realizada de la causa raíz potencial B, una vez obtenidas las mediciones, se procedió a evaluar los datos haciendo uso de tablas de contingencia, tal como se muestra a continuación en la siguiente Figura 5.45, tomando como muestra una cantidad de 200 neumáticos, entre defectuosos y no

defectuosos en la misma proporción. Los valores en los recuadros de la Figura 5.45 se construyen con la finalidad de mostrar los resultados de los datos discretos presentados para X y para Y, y de esta forma relacionar la ocurrencia del defecto (“aire atrapado en el costado”) con la ocurrencia del X discreto (“No está establecido una frecuencia de análisis del sistema de medición de los principales equipos”).

Causa X: B- No está establecido una frecuencia de análisis del sistema de medición de los principales equipos

		Presente	No presente	
		Defecto Y: "Aire atrapado en el costado"	Presente	
No presente	41	59	$n_2 = 100$	

n_1 : número de neumáticos defectuosos
 n_2 : número de neumáticos en buenas condiciones
 n : número de muestras total

Figura 5.45 Tabla de contingencia causa potencial B

Fuente: Elaboración propia

Si la teoría de la causa raíz está acertada, entonces esperaríamos ver números bajos en los recuadros superior izquierdo e inferior derecho (color amarillo). Los números en esta tabla no son muy diferentes unos de los otros. En otras palabras, la no existencia de un instructivo de ajuste adecuado de principales equipos en máquinas de construcción está en relación con la presencia de defectos tipo aire atrapado en el costado, por lo que se puede concluir que no existe una fuerte relación entre la no existencia de una frecuencia de análisis del sistema de medición de los principales equipos instructivo de ajuste en máquinas de construcción radial y el aire atrapado en el costado de los neumáticos (ampollas).

5.3.4.3 Verificación de la causa raíz potencial C

Se presenta el proceso de verificación de la causa raíz potencial C (“Equipos de compresión de aire presentan nivel de presión menor a 150 psi”), para lo cual se hizo uso de la herramienta de análisis prueba de hipótesis.

Cuando el equipo realizó las mediciones de la presión de aire de la línea abastecida al tambor de construcción esperaba que la presión presente el valor de 150 psi. Alternativamente, si la presión de línea no alcanza los 150 psi la presión de planchado de los componentes no es la adecuada por lo que puede originar aire atrapado en los componentes. Es por ello que se debe asegurar que la presión alcance dicho valor. Por tal se procede a definir la hipótesis nula como la presión que envía la línea es de 150 psi y la hipótesis alternativa es que no envía una presión de 150 psi. A continuación escribimos las hipótesis nula y alternativa como:

- H_0 : presión de línea = 150 psi
- H_1 : presión de línea < 150 psi

Se establece que la variable aleatoria X representa la presión de aire de 150 psi posible. De los datos medidos de una muestra aleatoria de 100, se obtiene que X presenta una distribución normal. A continuación en la siguiente Tabla 5.23 se presenta el resumen de los datos medidos.

Tabla 5.23 Resumen de valores medidos

Variable	Valor
Tamaño de muestra (n)	100
Desviación estándar (σ)	0.15 psi
Promedio (X_{prom})	14.5 psi
Valor de Hipótesis (μ)	150 psi

Fuente: Elaboración propia – Información de la empresa

Una vez determinados los valores, se procedió a hacer uso del programa Minitab 17 para el cálculo del valor- p , a continuación en la Figura 5.46 se presentan los resultados de la prueba. Como conclusión, debido a que cuanto menor es el valor p , más contradictoria la estadística de prueba de la H_0 , por lo que la hipótesis nula debe ser rechazada si el p -valor es "suficientemente pequeño" comparado con el nivel de significación dada α igual 0,05. Por tal motivo se rechaza la H_0 dado que el valor- p (0.006) es menor que α (0.05).

De esta forma queda validada la causa C, demostrado que existe una baja presión de aire abastecida a la línea de construcción.

One-Sample Z

Test of $\mu = 150$ vs < 150
The assumed standard deviation = 0.8

N	Mean	SE Mean	95% Upper Bound	Z	P
100	149.800	0.080	149.932	-2.50	0.006

Figura 5.46 Resultados de la prueba de hipótesis

Fuente: Elaboración propia

5.3.4.4 Verificación de la causa raíz potencial D

De acuerdo a la verificación realizada de la causa raíz potencial D, una vez obtenidas las mediciones, se procedió a evaluar los datos haciendo uso de tablas de contingencia, tal como se muestra a continuación en la siguiente Figura 5.47, tomando como muestra una cantidad de 200 neumáticos, entre defectuosos y no defectuosos en la misma proporción. Los valores en los recuadros de la Figura 5.47 se construyen con la finalidad de mostrar los resultados de los datos discretos presentados para X y para Y, y de esta forma relacionar la ocurrencia del defecto ("aire atrapado en el costado") con la ocurrencia del X discreto ("Diseño de planchadores no se ajustan correctamente a lo requerido por el proceso").

Causa X: D- Diseño de planchadores no se ajustan correctamente a lo requerido por el proceso

		Causa X: D- Diseño de planchadores no se ajustan correctamente a lo requerido por el proceso		
		Presente	No presente	
Defecto Y: "Aire atrapado en el costado"	Presente	65	35	$n_1 = 100$
	No presente	28	72	$n_2 = 100$

n_1 : número de neumáticos defectuosos
 n_2 : número de neumáticos en buenas condiciones
 n : número de muestras total

Figura 5.47 Tabla de contingencia causa potencial D

Fuente: Elaboración propia

En este caso, si la teoría de la causa raíz está acertada, entonces esperaríamos ver números altos en los recuadros superior izquierdo e inferior derecho (color celeste). Los números en esta tabla son muy diferentes unos de los otros. En otras palabras, debido a que el diseño de los planchadores no se ajusta correctamente a lo requerido por el proceso está en relación con la presencia de defectos tipo aire atrapado en el costado, por lo que se puede concluir que existe una fuerte relación entre la causa y efecto denotado.

5.3.4.5 Verificación de la causa raíz potencial E

De la Tabla 5.20 Resultados de las pruebas de Diseño de Experimentos, mostrada para las variables “ x_1 ” y haciendo uso del programa Minitab 17 a continuación se realizará la verificación de la causa raíz potencial E, presión de planchado no está adecuada a lo requerido por el proceso. Como se puede visualizar en la Figura 5.44, se muestran las medidas de los efectos relacionados a las variables x_1 a x_4 , donde sólo las variables x_1 a x_4 muestran un efecto mayor para la variación de medida de Y.

De esta forma analizando la variable x_1 (E) de la gráfica de medida de los efectos para Y se observa que para un valor de 15 psi, la medida de variación para Y es de 2 y conforme se aumente la presión a 25 psi este valor de variación disminuye a 0.5, por lo que disminuye considerablemente la afectación al producto. Adicionalmente, de la Gráfica de Interacción para Y, conforme aumenta la presión de 15 psi a 25 psi de la variable x_1 , sólo la variable x_4 presenta una reducción en el mismo sentido, en donde las demás variables x_2 y x_3 , es por ello que se concluye que la hipótesis de la causa raíz es correcta.

Dado que el equipo ha verificado que las causas raíces potenciales presentadas son causas actuales, se procederá a la siguiente fase de mejora.

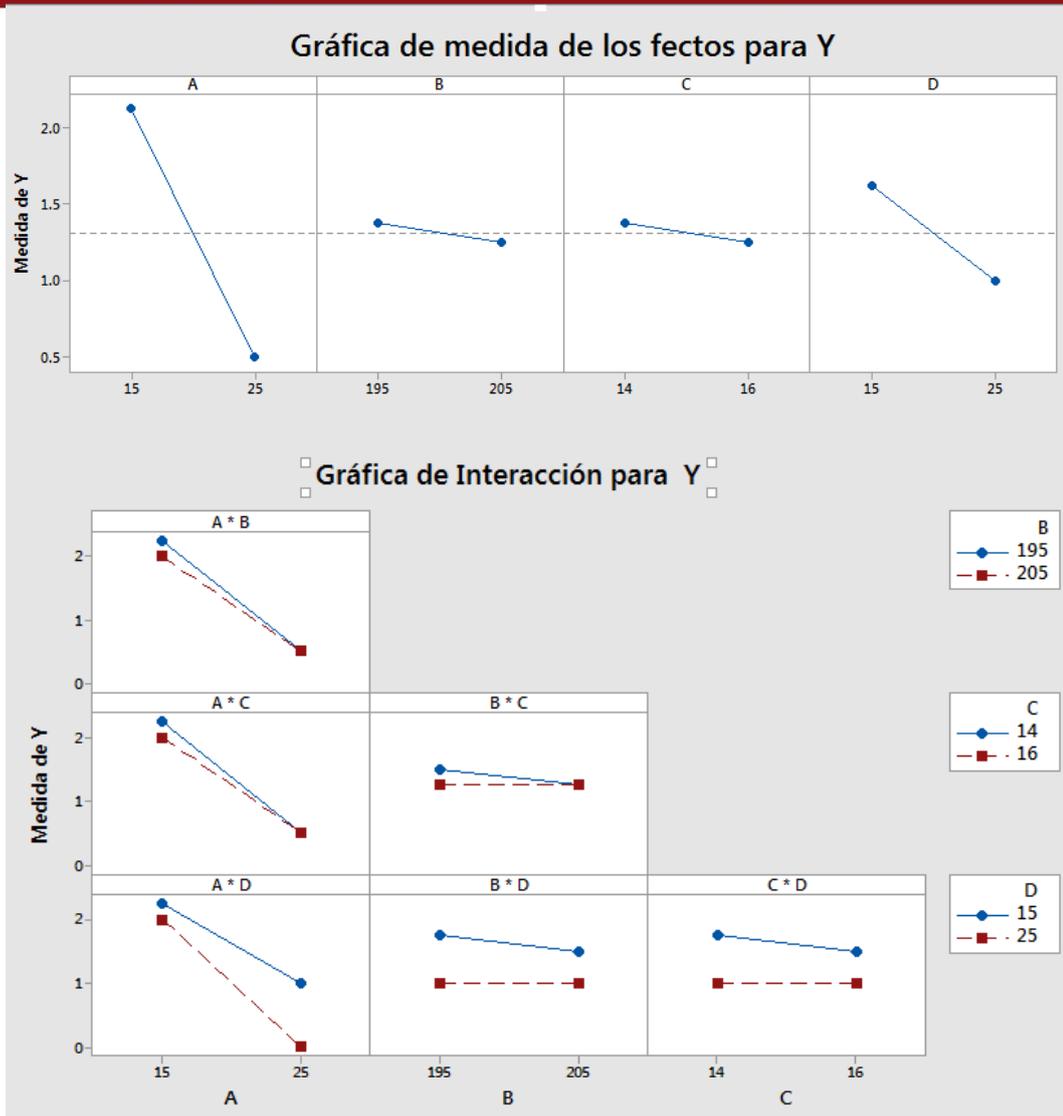


Figura 5.48 Gráficas de medidas e Interacción para la variable Y

Fuente: Elaboración propia – Minitab 17

5.4 Fase Mejorar

En la presente fase mejorar, el equipo procedió a generar una lista de potenciales soluciones para eliminar la causa raíz; para ello el equipo evaluó las acciones a tomar y definió dichas acciones tomando en cuenta el análisis de impacto de las soluciones planteadas, así como la mejor manera de presentar la propuesta al liderazgo de la empresa. Los entregables de la presente fase de mejorar definidos para el presente proyecto son una solución propuesta, análisis de impacto y plan de implementación.

5.4.1 Solución propuesta

Para el planteamiento de las ideas para mejorar el proceso y eliminar las causas raíces, el método tradicional para el desarrollo de ideas de mejora es utilizar la herramienta de “lluvia de ideas”. Para ello se realizaron dos sesiones con los integrantes de los equipos con la finalidad de que las ideas potenciales de solución, en la primera sesión, puedan ser las más creativas posibles y en la segunda sesión sean las más consistentes dado a que tiene un tiempo mayor de análisis para la propuesta.

A continuación en la Tabla 5.24 se presenta el resumen de la lista de acciones potenciales para la eliminación de la causa raíz discutida y establecida por el equipo del proyecto mediante una sesión mostrada en la minuta de reunión N° 12.

Una vez desarrollada la lista de acciones potenciales, se procedió a evaluar el impacto de la implementación; para ello, se hizo uso de la herramienta “matriz de evaluación de acciones”, la cual incluye un análisis integral mediante la denotación de categorías:

- Dificultad en la implementación
- Costo/beneficio
- Tiempo de implementación
- Impacto sigma en el proyecto

Estas categorías establecen un nivel de importancia tal como se muestra en la Tabla 5.25 Nivel de importancia de las categorías.

En la evaluación se consideró una lista de criterios con un peso definido para cada criterio con el valor del 1 al 10, siendo 1 el menos importante y 10 el más importante, tal como se muestra en la Tabla 5.26 Criterios de evaluación.

Una vez establecido estos criterios, se procedió a la evaluación de las acciones potenciales tal como se muestra en la Tabla 5.27 Matriz de evaluación de acciones;

como resultado se obtuvo que de las 12 acciones propuestas, sólo 1 de ellas fuera denegada por parte del equipo del proyecto por alcanzar un valor mayor de 150, siendo las acciones potenciales con mayor o igual a este valor denegadas por el equipo.

Tabla 5.24 Lista de acciones potenciales

MINUTA DE REUNIÓN N° 12				
1.- PROYECTO	: Reducción de ampollas en el costado			
2.- ASISTENTES	: Máster BB, BB, GB1, GB2.			
3.- AUSENTES	: N.A			
4.- ASUNTO	: Seguimiento de actividades de proyecto			
5.- FECHA Y HORA	: 8/04/15 8:00 am			
Actividad	Tipo de Actividad	Duración	Responsable	Comentario
5.2 Análisis de soluciones propuestas	Lluvia de ideas	2 horas	Black Belt	Lista de acciones a seguir para eliminación de causas raíces
6.- ACUERDOS	:			
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar un instructivo de ajuste de máquina para las principales herramientas. 2. Incluir información de ajuste de equipos en manual de entrenamiento de personas. 3. Cambiar equipos de medición por discriminación efectiva de acuerdo a requerimientos del proceso. 4. Realizar estudios de MSA para los principales equipos de procesos. 5. Establecer un procedimiento de análisis de los sistemas de medición, incluyendo una frecuencia para los estudios. 6. Realizar un mantenimiento correctivo de equipos de compresión de aire, e incluir dentro de mantenimiento preventivo con frecuencia semanal. 7. Instalar un equipo de control automático de presiones que corrija automáticamente las presiones. 8. Cambiar especificaciones de colocación de planchado. 9. Cambiar diseño de planchadores en máquina de construcción. 10. Instalar nuevos planchadores en máquinas de construcción. 			

Tabla 5.24: Lista de acciones – continuación

- 11. Revisar tiempos de planchado en máquinas.
- 12. Eliminar en el sistema cambio de regulación manual de variables críticas ya estandarizadas.

7.- MEDICIÓN DE LA EFICACIA DE LA REUNIÓN:

PUNTOS A EVALUAR	EVALUACIÓN (DEL 1 AL 10)
1. Entrega de resultados	8
2. Participación	9
3. Dinamismo	8
4. Atención	9
5. Cumplimiento de reglas básicas	9
EFECTIVIDAD TOTAL:	43

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.25 Nivel de importancia de las categorías

CATEGORIA	Dificultad en la implementación	Tiempo de implementación	Costo /beneficio	Impacto en el nivel sigma
IMPORTANCIA	4	5	8	10

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.26 Criterios de evaluación

CRITERIOS DE EVALUACIÓN			
Dificultad en la implementación	Tiempo de implementación	Costo /beneficio	Impacto en el nivel sigma
De 1 al 10: 1-- -> menor impacto 10---> mayor impacto			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.27 Matriz de evaluación de acciones

Dificultad en la implementación	Tiempo de implementación	Costo /beneficio	Impacto en el nivel sigma	CATEGORIA	IMPORTANCIA	EVALUACIÓN		ESTADO
						TOTAL	TOTAL	
SOLUCIONES POTENCIALES								
4	3	3	2		75	75		ACEPTADO
3	4	3	3		86	86		ACEPTADO
5	5	8	3		139	139		ACEPTADO
4	5	2	4		97	97		ACEPTADO
2	4	1	4		76	76		ACEPTADO
3	5	4	6		129	129		ACEPTADO
6	7	7	8		195	195		DENEGADO
4	4	1	5		94	94		ACEPTADO
5	4	5	6		140	140		ACEPTADO
5	6	5	6		150	150		ACEPTADO
3	3	4	5		109	109		ACEPTADO
4	2	2	3		72	72		ACEPTADO
1. Realizar un instructivo de ajuste de máquina para las principales herramientas.								
2. Incluir información de ajuste de equipos en manual de entrenamiento de personas.								
3. Cambiar equipos de medición por discriminación efectiva de acuerdo a requerimientos del proceso.								
4. Realizar estudios de MSA para los principales equipos de procesos.								
5. Establecer un procedimiento de análisis de los sistemas de medición, incluyendo una frecuencia para los estudios.								
6. Realizar un mantenimiento correctivo de equipos de compresión de aire, e incluir dentro de mantenimiento preventivo.								
7. Instalar un equipo de control automático de presiones que corrija automáticamente las presiones en cada máquina.								
8. Cambiar especificaciones de colocación de planchado.								
9. Cambiar diseño de planchadores en máquina de construcción.								
10. Instalar nuevos planchadores en máquinas de construcción.								
11. Revisar tiempos de planchado en máquinas.								
12. Eliminar en el sistema cambio de regulación manual de variables críticas ya estandarizadas.								

CRITERIOS DE EVALUACIÓN		
Dificultad en la implementación	Tiempo de implementación	Impacto en el nivel sigma
De 1 al 10: 1--> menor impacto 10--> mayor impacto		

Fuente: Elaboración propia

5.4.2 Análisis de Impacto de las soluciones en el proceso

Una vez realizado la implementación de acciones y eliminadas las causas raíces identificadas del proyecto, el equipo procedió a cuantificar y validar el impacto de las soluciones en el proceso, para lo cual procedió a realizar el análisis de las variables críticas del proceso x_1 , x_2 , x_3 y x_4 , las cuales representan una mayor influencia en el proceso. A continuación en la Tabla 5.28 se presentan los valores medidos para las variables "x".

Tabla 5.28 Valores medidos de las variables "x"

Medición de Variables Críticas "x"				
Muestra	x_1	x_2	x_3	x_4
1	20.0	199	15.9	22.5
2	20.5	202	15.2	19.0
3	21.5	203	15.0	22.1
4	22.5	201	15.0	19.5
5	23.5	197	15.0	23.6
6	20.5	205	15.1	21.6
7	21.5	204	15.3	21.8
8	18.5	201	15.5	19.5
9	19.0	203	15.6	20.7
10	22.0	202	15.7	20.7
11	21.5	204	15.8	18.7
12	22.5	202	14.9	18.6
13	18.5	205	15.0	18.9
14	22.5	206	14.5	22.6
15	19.5	197	15.5	17.7
16	19.5	197	15.4	21.5
17	18.5	196	15.3	21.0
18	21.0	201	15.2	18.6
19	22.0	199	14.5	19.0
20	17.0	200	15.4	20.0
21	21.5	195	15.2	22.0
22	21.5	202	15.1	19.4
23	18.0	196	15.5	22.0
24	20.5	201	14.6	19.0
25	20.5	204	15.0	22.6
26	20.0	198	14.7	22.5
27	19.0	198	14.8	19.0
28	21.0	199	15.3	20.0
29	22.5	203	15.1	20.7
30	20.0	201	15.2	22.5
31	21.5	199	14.2	21.5

32	18.0	204	15.3	21.6
33	18.5	199	15.5	20.7
34	20.0	195	14.6	20.5
35	17.5	203	15.1	20.0
36	16.5	205	15.8	20.0
37	18.0	201	15.9	20.6
38	17.5	203	15.8	19.2
39	20.0	200	15.0	21.5
40	19.0	203	15.5	19.7
41	20.5	197	15.4	22.6
42	19.0	200	15.3	21.8
43	20.0	198	15.2	19.5
44	20.5	206	15.5	20.0
45	20.5	201	15.4	21.5
46	18.5	201	15.2	19.0
47	21.0	205	14.2	21.5
48	20.5	200	15.2	19.0
49	20.5	199	15.3	20.0
50	20.5	198	14.7	20.6
51	21.0	202	15.2	18.0
52	20.5	202	15.2	20.0
53	18.5	203	15.0	19.8
54	21.5	200	15.5	20.7
55	21.0	197	15.0	21.0
56	22.5	200	15.2	22.0
57	21.5	199	15.1	21.0
58	18.0	203	15.2	21.0
59	19.5	199	15.0	21.0
60	19.5	199	15.0	20.0
61	19.0	196	15.2	23.0
62	22.5	202	15.1	19.5
63	21.0	205	14.5	20.8
64	22.5	206	14.7	22.7
65	20.5	202	14.8	21.0
66	19.5	196	14.8	21.6
67	22.0	196	14.5	20.0
68	23.5	201	14.8	19.0
69	19.5	202	14.7	20.0
70	19.5	200	15.0	21.0
71	21.5	200	15.7	20.5
72	16.5	200	14.8	19.9
73	19.5	195	15.3	20.5
74	17.5	201	14.6	19.5
75	19.0	203	14.5	22.0
76	18.5	198	14.8	22.5

77	18.5	198	14.9	20.0
78	19.5	199	15.3	18.2
79	22.5	201	15.0	20.6
80	19.5	201	15.9	19.8
81	21.5	204	14.9	21.9
82	22.0	195	15.2	21.0
83	19.5	198	15.0	18.0
84	19.5	198	15.1	18.9
85	20.5	200	14.6	20.5
86	21.0	194	15.9	19.5
87	20.5	201	15.0	19.5
88	20.0	194	15.0	18.5
89	19.5	200	14.9	21.0
90	19.5	203	14.9	18.7
91	20.0	197	15.9	21.8
92	19.5	200	15.7	19.5
93	19.5	198	14.8	19.6
94	20.5	200	15.0	19.8
95	19.5	202	14.9	19.9
96	20.0	203	14.7	18.4
97	19.5	200	14.8	18.7
98	20.5	200	15.0	22.1
99	20.5	194	14.9	21.0
100	20.5	197	14.6	20.8

Fuente: Elaboración propia – Información de la empresa

A continuación, en la Figura 5.49 se muestran los resultados de los análisis de capacidad para la variable x_1 , haciendo uso del programa estadístico Minitab 17, de esta forma se presentan los resultados los cuales indican que de acuerdo a la prueba de Anderson-Darling, el valor-p es mayor a 0.05 por lo que cumple una distribución normal. De la misma forma de acuerdo al reporte de diagnóstico, se puede observar que la variable x_1 se encuentra en control estadístico, por lo que se procede a analizar las capacidades de proceso mostrando como resultado un valor de C_p y C_{pk} de 1.18 y 1.14 respectivamente; así mismo se alcanzó un valor del nivel Z de 3.32.

En la Figura 5.50 se muestran los resultados de los análisis de capacidad para la variable x_2 , los cuales indican que de acuerdo a la prueba de Anderson-Darling, el valor-p es mayor a 0.05 por lo que cumple una distribución normal. De la misma forma de acuerdo al reporte de diagnóstico, se puede observar que la variable x_2 se encuentra en control estadístico, por lo que se procede a analizar las capacidades

de proceso mostrando como resultado un valor de C_p y C_{p_k} de 1.02 y 1.02 respectivamente; así mismo, se alcanzó un valor del nivel Z de 2.84.

En la Figura 5.51 se muestran los resultados de los análisis de capacidad para la variable x_3 , los cuales indican que de acuerdo a la prueba de Anderson-Darling, el valor-p es mayor a 0.05 por lo que cumple una distribución normal. De la misma forma de acuerdo al reporte de diagnóstico, se puede observar que la variable x_3 se encuentra en control estadístico, por lo que se procede a analizar las capacidades de proceso mostrando como resultado un valor de C_p y C_{p_k} de 0.90 y 0.80 respectivamente; así mismo se alcanzó un valor del nivel Z de 2.26.

En la Figura 5.52 se muestran los resultados de los análisis de capacidad para la variable x_4 , los cuales indican que de acuerdo a la prueba de Anderson-Darling, el valor-p es mayor a 0.05 por lo que cumple una distribución normal. De la misma forma de acuerdo al reporte de diagnóstico, se puede observar que la variable x_4 se encuentra en control estadístico, por lo que se procede a analizar las capacidades de proceso mostrando como resultado un valor de C_p y C_{p_k} de 1.26 y 1.15 respectivamente; así mismo, se alcanzó un valor del nivel Z de 3.43.

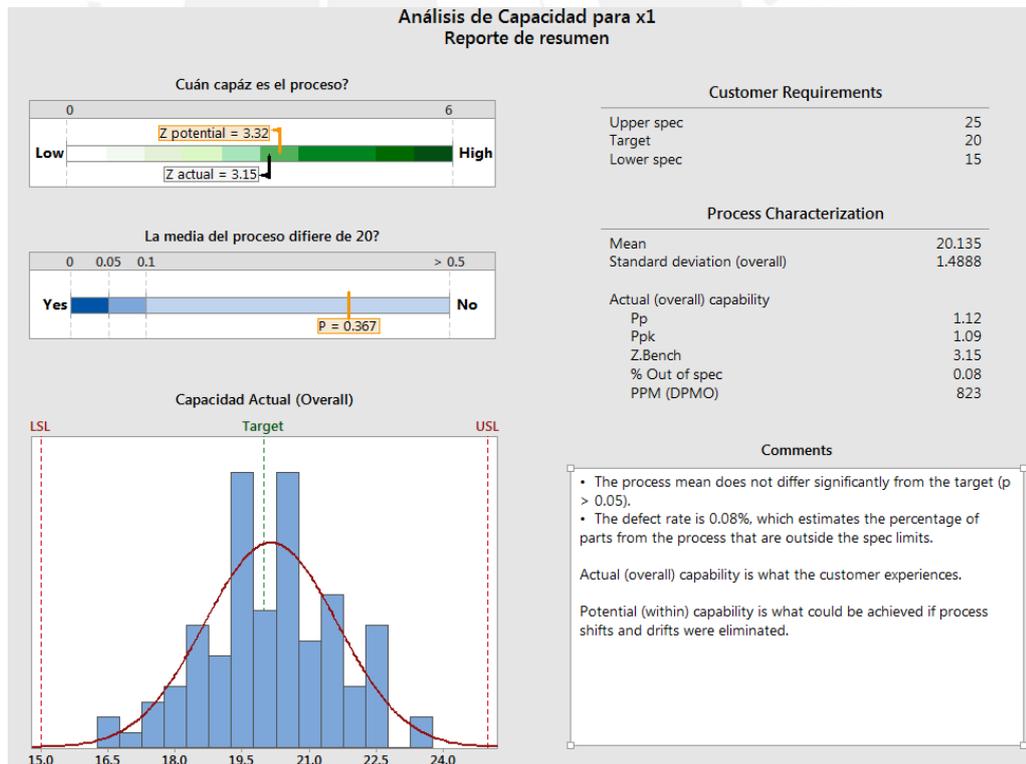


Figura 5.49 Análisis de capacidad de la variable x_1

Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

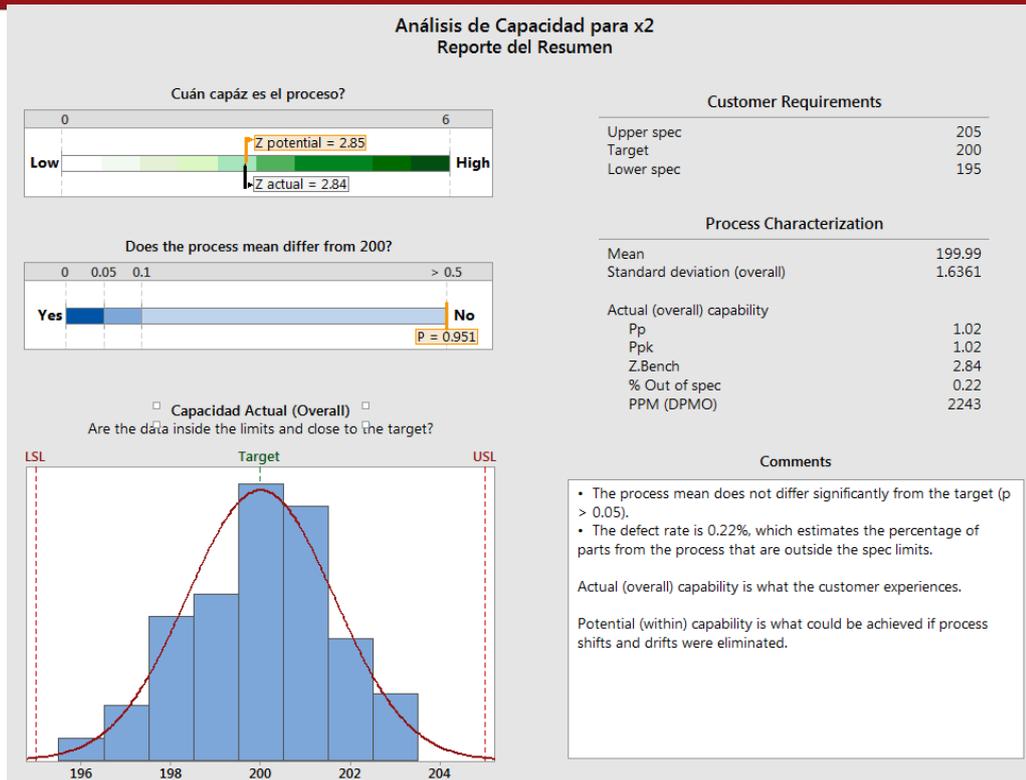


Figura 5.50 Análisis de capacidad de la variable x_2

Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

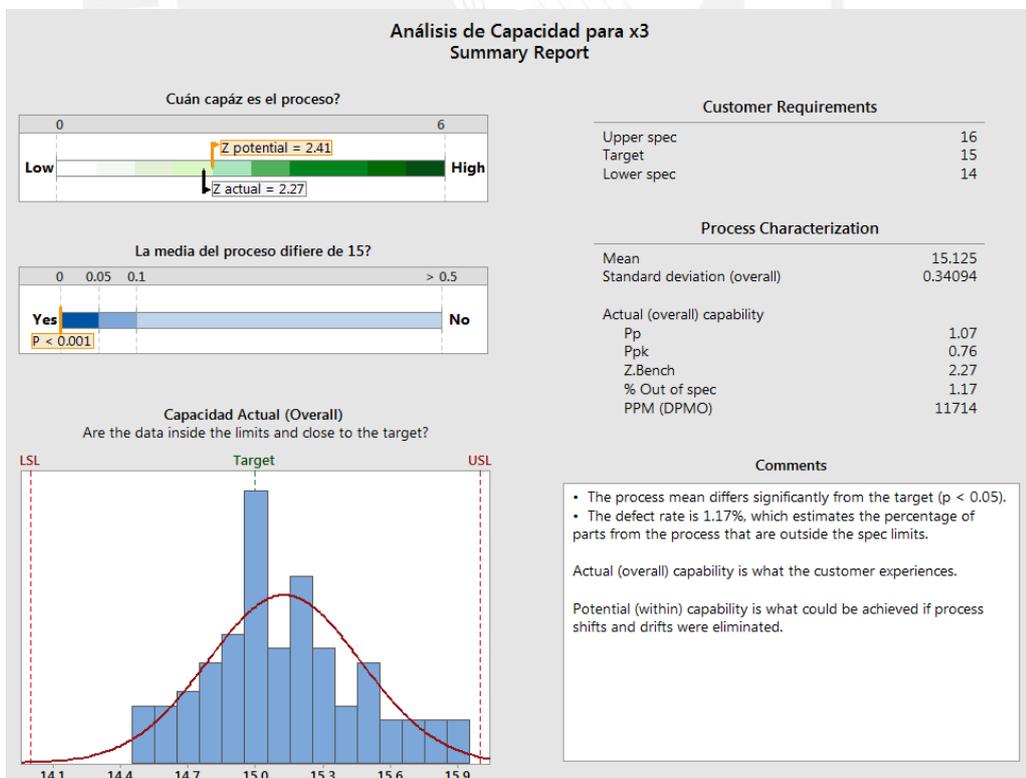


Figura 5.51 Análisis de capacidad de la variable x_3

Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

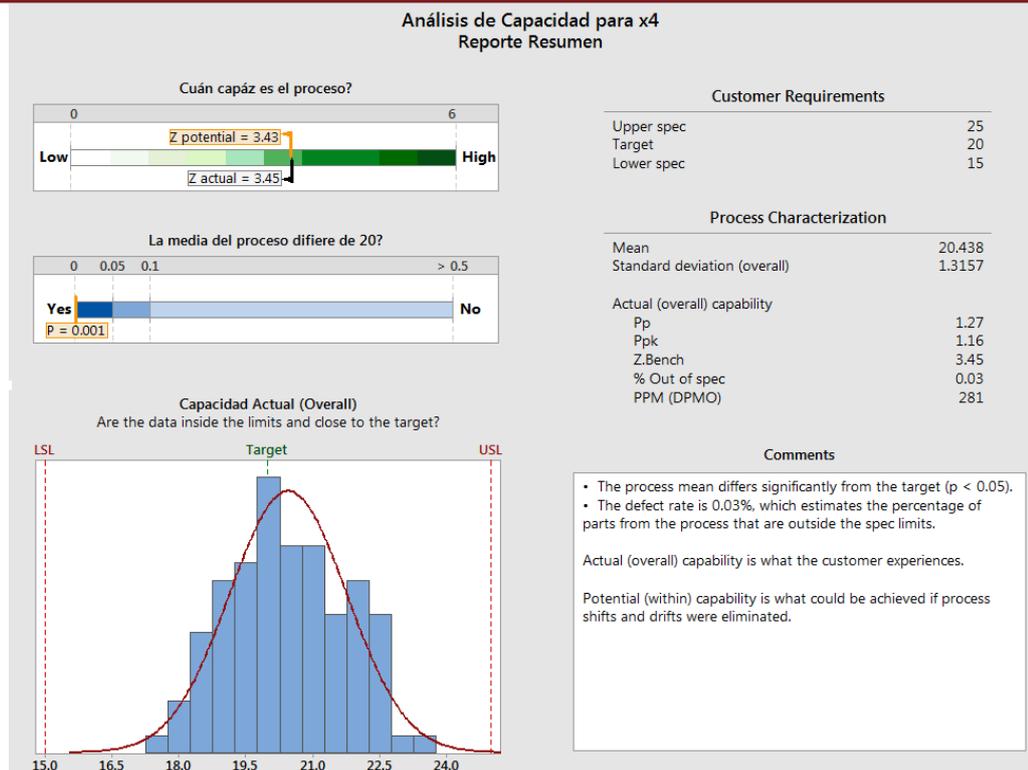


Figura 5.52 Análisis de capacidad de la variable x₄

Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

Como conclusión se muestra el resultado de los principales parámetros medidos en el proceso para las principales variables estipuladas, tal como se muestra en la siguiente Tabla 5.29, por lo que las capacidades esperadas de los procesos con respecto a las variables críticas fueron alcanzadas adecuadamente y esto es reflejado como consecuencia para la variable “y”.

Tabla 5.29 Resultados de los parámetros de procesos de las variables “x”

Resultados	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
Nivel sigma Z inicial	1.49	1.34	2.06	1.6
Nivel sigma Z final	3.32	2.84	2.27	3.43
Cp inicial	0.79	0.60	1.17	0.76
Cp final	1.18	1.02	1.14	1.26
Cp _k inicial	0.72	0.57	1.05	0.74
Cp _k final	1.14	1.02	0.80	1.15

Fuente: Elaboración propia – Información de la empresa.

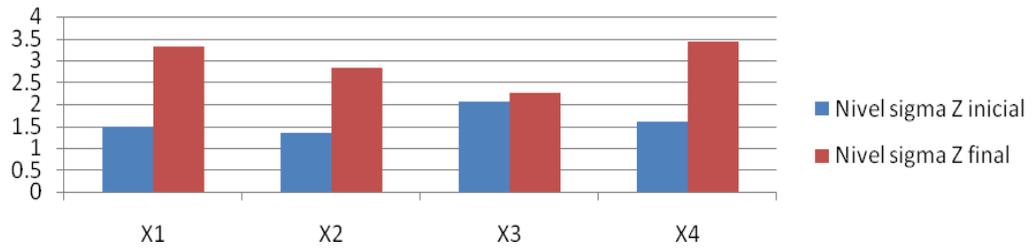


Figura 5.53 Comparación de los niveles sigma alcanzados
Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

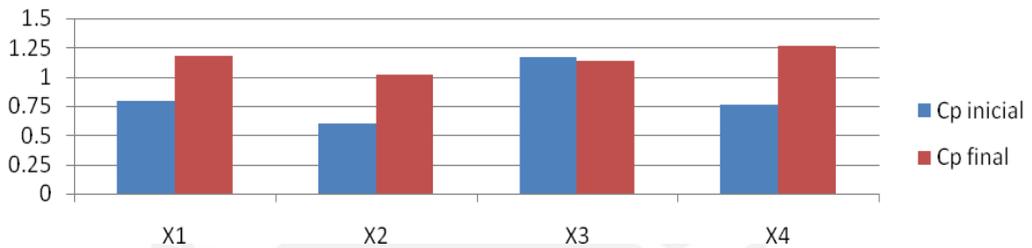


Figura 5.54 Comparación de los Cp alcanzados
Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

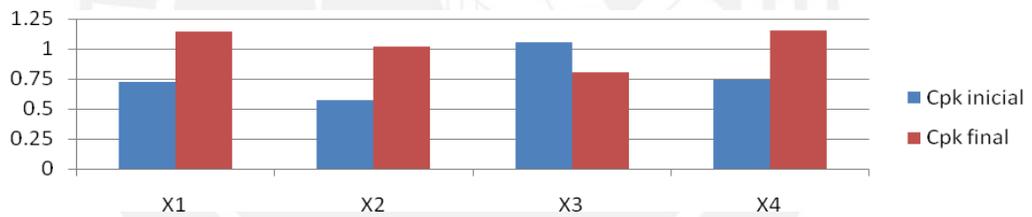


Figura 5.55 Comparación de los Cp_k alcanzados
Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

A continuación para la medición actual de la variable “y” del proceso, los valores fueron tomados de los reportes entregados, según el seguimiento mensual del nivel de desperdicio del 2015, como se muestra en la Tabla 5.30 Nivel de desperdicio por aire atrapado en el costado (ampollas).

Tabla 5.30 Nivel de desperdicio por aire atrapado en el costado

2015	N° neumáticos producidos	Neumáticos defectuosos	Ampolla en el costado
Enero	167,431	885	95
Febrero	162,953	969	86
Marzo	175,635	896	88
Abril	140,467	789	94
Mayo	160,770	771	78
Junio	150,797	602	66
Julio	143,359	624	45
Agosto	132,923	587	35
Septiembre	148,062	554	29
Octubre	152,652	511	26
Noviembre	144,494	539	20
Diciembre	130,694	423	16

Fuente: Elaboración propia – Información de la empresa.

De acuerdo a la información proporcionada, se procedió a determinar las capacidades actuales del proceso en base del nivel sigma, representado en partes por millón, calculados según la Ecuación 5.3 Defectos Por Millón (DPM) y de acuerdo a la Tabla 5.15 DPM, se presenta los niveles sigma alcanzados como resultados del proyecto en la Tabla 5.31.

Tabla 5.31 Resultados del nivel sigma de la variable “y”

	DPM		Nivel Sigma		Objetivo
	Inicial	Final	Inicial	Final	
Promedio neumáticos defectuosos	5,746	3,985	4.0	4.2	4.5
Promedio ampollas en el costado	1,466	327	4.5	4.9	5.0

Fuente: Elaboración propia

De esta forma se puede concluir que si bien el proyecto no alcanzó el objetivo esperado de 4.5 y 5.0 para nivel sigma de los neumáticos defectuosos y ampollas en el costado, es importante recalcar que se redujo un 31% el DPM el nivel de desperdicio y en un 78% DPM el nivel de ampollas en el costado lo que conllevó a un beneficio debido a la reducción de neumáticos defectuosos. A continuación se muestra gráficamente la evolución de la reducción de neumáticos defectuosos y de ampollas en el costado con respecto al periodo 2014-2015.

Neumáticos defectuosos (DPM) 2014-2015

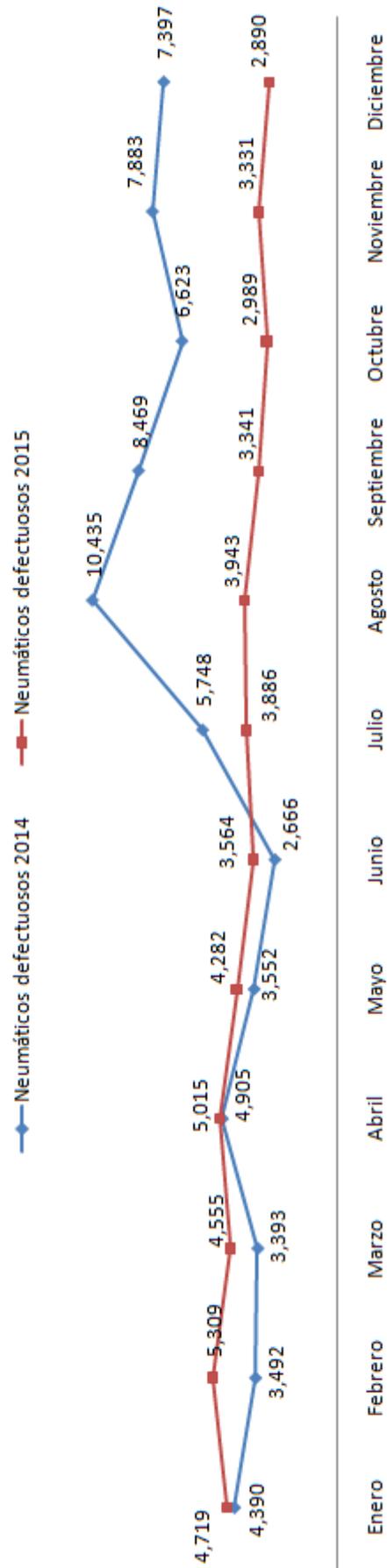


Figura 5.56 Neumáticos defectuosos (DPM) 2014-2015

Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

Ampolla en el costado (DPM) 2014-2015

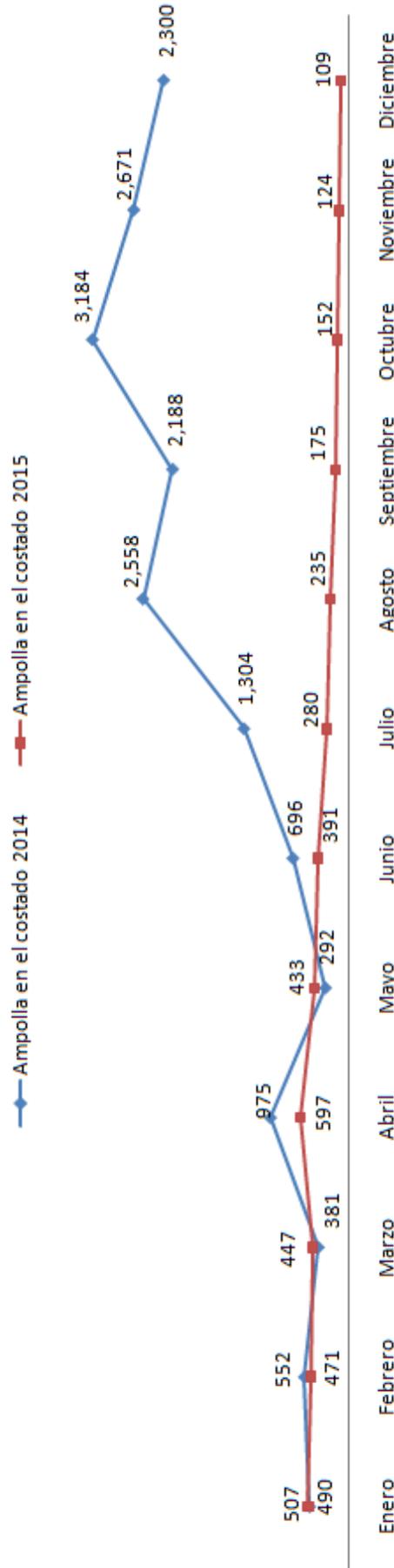


Figura 5.57 Ampolla en el costado (DPM) 2014-2015

Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

5.4.3 Análisis costos/beneficio de las soluciones

Una vez establecidas las acciones a seguir para la eliminación de las causas raíces, se procedió a la realización de un análisis de costo/beneficio. Si bien es cierto el análisis costo/beneficio fue desarrollado y revisado en las fases anteriores, fue necesario la revisión y actualización de los costos por parte del equipo para la implementación del proyecto. Es en esta parte del proyecto que el equipo tuvo el soporte del responsable del área Financiera, debido a que no sólo se tuvo que calcular los datos de costos asumidos por las órdenes de compra de los servicios solicitados, sino también tuvo que validar los beneficios monetarios por la implementación del proyecto, esta revisión se realizó de forma quincenal, conforme se fue implementando las acciones.

5.4.2.1 Costos del proyecto

En la Tabla 5.32 se presenta un análisis de costos operacionales para el mantenimiento del sistema Six Sigma, el cual incluye los siguientes puntos como costos principales:

- Pago de remuneraciones para el nuevo Gerente de Mejora Continua
- Pago de remuneraciones para el nuevo Coordinador de Mejora Continua
- Costo de entrenamiento para liderazgo de equipo, Black Belts, Green Belts

Cabe resaltar que los costos presentados a continuación se basaron en un análisis actual del mercado con soporte del área de Recursos Humanos y área de Entrenamiento de personas, quienes soportaron la entrega de los costos indicados a continuación. Por ejemplo, el costo de remuneraciones del nuevo Gerente de Mejora Continua se encuentra en un rango de 15,000 a 20,000 soles el cual depende del nivel de experiencia en desarrollo de proyectos Six Sigma y la cantidad de años como líder o gerente de mejora en otras empresas del sector. De la misma forma sucede con la remuneración del nuevo coordinado de mejora continua, el cual la remuneración se encuentra entre los 8,000 y 12,000, siguiendo el mismo criterio, de acuerdo a su experiencia previa en la implementación de proyectos six sigma y el nivel de complejidad o envergadura del mismo. La tasa de conversión de soles a dólares es de 3.2 soles por cada dólar. De esta forma el costo total por mantenimiento del sistema Six Sigma es de 113,625 dólares. Cabe indicar que este costo será considerado como un costo fijo dentro de la estructura financiera.

En la Tabla 5.33 se muestra el análisis de los costos para la implementación de soluciones, las cuales fueron determinadas de acuerdo al resultado de la Matriz de evaluación de acciones.

Tabla 5.32 Análisis de costos operacionales de mantenimiento

CARACTERISTICA	COSTO DE MANTENIMIENTO (USD)
1. Remuneración anual del Gerente de Mejora Continua	65,625
2. Remuneración anual del Coordinador de Mejora Continua	37,500
3. Costo de entrenamiento para liderazgo de equipo	1,500
4. Costo de entrenamiento para Black Belts	6,000
5. Costo de entrenamiento para Green Belts	3,000
COSTO TOTAL	113,625

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.33 Análisis de costos de implementación de soluciones

SOLUCIONES A IMPLEMENTAR	COSTO DE IMPLEMENTACIÓN (USD)
1. Realizar un instructivo de ajuste de máquina para las principales herramientas.	250
2. Incluir información de ajuste de equipos en manual de entrenamiento de personas.	250
3. Cambiar equipos de medición por discriminación efectiva de acuerdo a requerimientos del proceso.	1,100
4. Realizar estudios de MSA para los principales equipos de procesos.	350
5. Establecer un procedimiento de análisis de los sistemas de medición, incluyendo una frecuencia para los estudios.	250
6. Realizar un mantenimiento correctivo de equipos de compresión de aire, e incluir dentro de mantenimiento preventivo.	6,000
7. Cambiar especificaciones de colocación de planchado.	250
8. Cambiar diseño de planchadores en máquina de construcción.	500
9. Instalar nuevos planchadores en máquinas de construcción.	6,000
10. Revisar tiempos de planchado en máquinas.	250
11. Eliminar en el sistema cambio de regulación manual de variables críticas ya estandarizadas.	200
COSTO TOTAL	15,400

Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la Tabla 5.34 se presenta el cálculo de costo total del proyecto de mejora, el cual considera el costo total de las operaciones de mantenimiento y el costo por la implementación de las soluciones establecidas. El costo total del proyecto alcanza el valor de 129,025 USD.

Tabla 5.34 Costo total del proyecto

COSTOS	(USD)
1. DE MANTENIMIENTO	113.625
2. DE IMPLEMENTACIÓN	15,400
COSTO TOTAL DEL PROYECTO	129,025

Fuente: Elaboración propia

Una vez finalizado el análisis del costo total, se procede a realizar el análisis del beneficio de la implementación del proyecto.

5.4.2.2 Beneficios del proyecto

A continuación en la Figura 5.58 se presenta el nivel de desperdicio actual del año 2015 versus el año 2014, el cual de acuerdo a la gráfica se muestra una reducción sustancial de la generación del nivel del desperdicio del 19.7%, este valor resulta ser bastante positivo debido a que mediante se hubo implementando las mejoras, se vio representado en la reducción del nivel del desperdicio.

En la Figura 5.59 se muestra la distribución del nivel actual de desperdicio por tipo de componente, como se puede apreciar, el nivel de desperdicio por tipo badgoods se ha reducido en casi un 29.5% comparado con el año 2014. Esto constata lo mostrado en los impactos relacionados al proceso, debido a que es consecuencia de lo que el proceso está mostrando.

Nivel del desperdicio 2014 vs 2015 (%FSV)

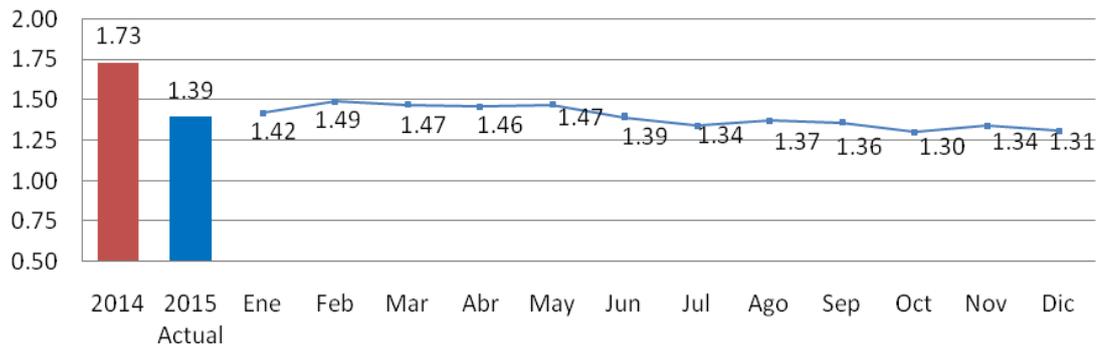


Figura 5.58 Gráficas de medidas e Interacción para la variable Y

Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

Distribución por tipo de desperdicio 2014 – 2015

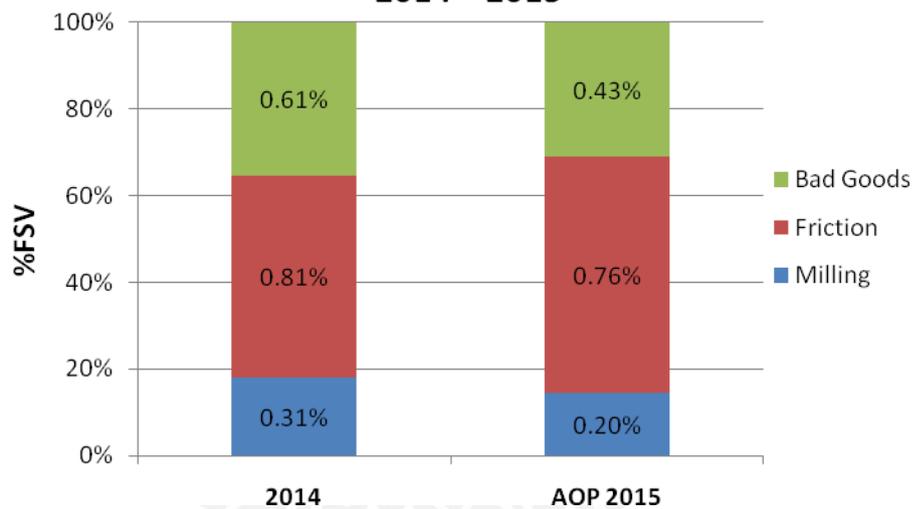


Figura 5.59 Distribución por tipo de desperdicio 2014 – 2015 en %FSV

Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

De la Figura 5.59 se consideró el valor de reducción de 19.7% el nivel de desperdicio de neumático, por lo cual considerando un ingreso promedio de 16 MMUSD mensuales y conociendo que el %FSV está en función del valor de neumáticos ingresados, el valor representa un beneficio total anual de 384,000 USD en el primer año, de acuerdo a los niveles de reducción de desperdicio logrado. Tal como se muestra en la siguiente Tabla 5.35 Beneficio total del proyecto.

Tabla 5.35 Beneficio del proyecto Six Sigma

PROYECTO	(USD)
1. Reducción del %FSV en 19.7% implementado el proyecto	384,000
BENEFICIO TOTAL	384,000

Fuente: Elaboración propia

Una vez determinados los costos totales y el beneficio total, se procede a determinar la utilidad bruta del proyecto, tal como se muestra en la Tabla 5.36 costo/Beneficio del proyecto de mejora Six Sigma, el cual alcanza una utilidad de 254,975 USD considerando sólo el primer año de implementado del proyecto.

Cabe indicar que para la evaluación del proyecto, sólo se consideró el impacto cuantitativo, debido a que el impacto cualitativo no puede ser considerado de manera exacta, por lo que el equipo decidió no tomarlo como referencia, pero se entiende que el impacto estaría presente principalmente en:

- Mejora de satisfacción del cliente
- Reducción de reclamos
- Mejora de la marca

Tabla 5.36 Análisis Costo/Beneficio

COSTO/BENEFICIO	(USD)
BENEFICIO TOTAL	384,000
COSTO TOTAL	129,025
UTILIDAD BRUTA	254,975

Fuente: Elaboración propia

Como resultado del costo/beneficio, se puede resaltar que el ingreso es positivo, considerando que la inversión se recuperaría sólo en el primer año, sin considerar que el equipo del proyecto puede desarrollar otros proyectos adicionales, por lo que para la empresa sería sumamente beneficiosa la implementación del sistema Six Sigma.

5.5 Fase Controlar

En la fase de control, el énfasis del equipo está enfocado a una implementación exitosa y el mantenimiento de los logros alcanzados en el tiempo mediante un sistema robusto; es por ello, que el equipo del proyecto busca garantizar el rendimiento de la mejora cuando el proyecto finalice.

En la presente fase se busca empoderar a las personas que manejan directamente el proceso, involucrándolos en controlar las variables críticas del proceso o producto. McCarty *et al.* (2004).

Los entregables considerados en la fase de control son:

- Plan de implementación de soluciones
- Planes de control a los responsable
- Conclusión del Proyecto Actividades

En este capítulo, estos productos se discuten, así como otras herramientas y las consideraciones a tener éxito en esta fase.

5.5.1 Plan de implementación de soluciones

Una vez realizado el análisis del costo/beneficio y debido a que el costo de la implementación fue aprobada por los representantes de la Dirección, el equipo procedió a realizar el Plan de implementación de las soluciones. De acuerdo a lo establecido por McCarty *et al.* (2004), el equipo consideró los 8 componentes que podrían incluirse en el plan tal como se puede visualizar a continuación:

- Análisis de Problemas Potenciales
- Programa de Implementación de acciones
- Plan de Formación
- Plan de Comunicación
- Costos y Beneficios
- Plan de control del proceso
- Controles estadísticos del proceso
- Traslado al Plan de Propietario

5.5.1.1 Análisis de Problemas Potenciales

Basado en la información que gestionó el equipo del proyecto relacionada a los principales riesgos asociados a las variables críticas del proceso de construcción, se revisó el AMEF del proceso en la cual se incluyeron los nuevos valores del nivel de riesgo (NPR) en la cual se muestra una reducción del nivel de riesgo asociado

para las variables “x” debido a las acciones implementadas, tal como se puede visualizar en la siguiente Tabla 5.37 AMEF revisado del proceso construcción.

5.5.1.2 Programa de Implementación de acciones

Una vez actualizada la información del AMEF del proceso y con la finalidad de realizar una implementación efectiva, el equipo realiza el seguimiento de los avances del Programa de implementación de acciones de acuerdo a lo mostrado en la Tabla 5.38, siendo el Black Belt el responsable de verificar la implementación de dichas acciones y el seguimiento de la implementación fue revisado en las sesiones de reuniones del equipo del proyecto.

5.5.1.3 Plan de Entrenamiento

Debido a los cambios presentados en el proceso de construcción, el equipo organizó un plan de entrenamiento con soporte de las personas responsables del área de entrenamiento quienes serán las ejecutoras del programa. En el planeamiento de dicho entrenamiento el equipo consideró sólo tener en cuenta las personas operarias de máquinas de construcción y los supervisores, tal como se muestra en la Tabla 5.39. En ella se puede visualizar que los puntos a tomar en el entrenamiento para los responsables del proceso son FMEA, plan de control, Operación de máquina. Cabe indicar que toda la información actualizada fue incluida en los Manuales de entrenamiento de las personas para garantizar que la información se mantenga y se entrene en la certificación y recertificación de acuerdo a los nuevos requerimientos.

5.5.1.4 Plan de Comunicación

El equipo desarrolló el plan de comunicación con la finalidad de mostrar el proyecto a todas las personas de la planta, para lo cual determinaron hacer uso de los ambientes de comunicación interna que presenta la planta como son los Centros de Comunicación de planta, vitrinas de información externa, charlas internas y envíos de comunicaciones mediante correo electrónico para personal administrativo.

A continuación en la Tabla 5.40 se presenta el Plan de comunicación realizado por el equipo.

Tabla 5.37 AMEF revisado del proceso de construcción

ETAPA DEL PROCESO/ FUNCIÓN	REQUISITO	MODO DE FALLA POTENCIAL	EFECTO(S) POTENCIAL (ES) DE FALLA	CLASIFICACION	CAUSA(S) POTENCIALES DE FALLA	PROCESO ACTUAL			MIPR	RESULTADO DE LAS ACCIONES								
						CONTROLES DE PREVENCIÓN	OCURRENCIA	CONTROLES DE DETECCIÓN		ACCIONES RECOMENDADAS	RESPONSABLE Y FECHA DE TERMINACION	SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECCION				
Construcción Radial	5. Correcta aplicación de Costado	Aplicación incorrecta costado	Vibración y mala dirigibilidad	5	Junta pesada	Entrenamiento	5	Balancadora	4	100								
					Spotting irregular	Llanta de control - monitor	4											
		Costado con colocación invertida	Junta irregular	Largo irregular	Aplicación irregular	7	Entrenamiento	3	Inspección Final - Visual	8	120							
							Entrenamiento para bapó especificado	4	FVM	4	90							
							Set-up de liberación	5	Bims laser	4	100							
	Aire atrapado (ampolla) en el costado	Aire atrapado (ampolla) en el costado	7	Largo irregular	5	Especificación de trabajo/entrenamiento p/ fotocélula	5	Inspección Final - Visual	4	100								
				Adhesión de material	5	Inspección Final - Visual	4	140										
	6. Correcto planchado de carcasa	Planchado irregular de costado	Alta vibración y mala dirigibilidad	Aire atrapado (ampolla) en el costado	7	Ajuste irregular de colocación de planchadores	Liberación de máquina por monitor	6	Inspección Final - Visual	5	210	- Cambios del diseño del planchador y planchadores de acuerdo a sentido de giro	Ingeniería	5	4	5	100	
						Paras intermedia de planchadores inspirativo	Liberación de máquina por monitor	6										
						Presión de planchador dinámico por dibujo de inspeccionado	Liberación de máquina por monitor	6										
						Tiempo de planchado por dibujo del especificado	Liberación de máquina por monitor	6										
						Condición irregular de planchadores/equipos	Mantenimiento preventivo	3										
7. Correcto planchado de junta de costado	Costado sin planchar	Mala dirigibilidad y Apariencia irregular	Alta vibración y mala dirigibilidad	7	Ajuste irregular	Set-up de liberación	3	FVM	3	63								
					Empalme de costado abierto	Set-up de liberación	5	Inspección Final - Visual	6	150	Cambio de tiempos para planchadores siendo estáticos	Ingeniería	6	3	8	144		
10. Correcta aplicación de Rodado	Junta pesada o junta abierta	Fuerza Radial y Harmónica	Fuerza Radial y Harmónica	6	Rodado cortaflejes después de aplicación	Altura de mesa de rodado después de ajuste de especificación	4	FVM	4	96								
					Estiramiento manual de rodado después de aplicación	Entrenamiento	3											
11. Correcto calentamiento de union de rodado	Junta abierta	Mala dirigibilidad	Fuerza Radial y Harmónica	6	Aplicación de Rodado fuera de centro	Auditoria de llanta verde	3	Luz Bims	4	120								
					Conicidad	Ajuste en liberación de construcción	3	Inspección Final - Visual	8	144								
12. Planchado de llanta verde	Calentamiento de bisel por debajo de temperatura especificada	Desgaste prematuro con junta de rodado abierta	Mala dirigibilidad	7	Rodado descentrado	Ajuste en liberación de construcción	3	FVM	4	72								
					Calentamiento de bisel por encima de temperatura especificada	Entrenamiento	2	Auditoria visual	7	98								
12. Planchado de llanta verde	Fuerza Radial y Harmónica	Fuerza Radial y Harmónica	Vibración y mala dirigibilidad	6	Seto incorrecto de temperatura y tiempo de calentamiento de bisel	Entrenamiento	2	Auditoria visual	7	98								
					Incorrecta colocación de rodado en servidor de rodado (con equipo de calentador de biselas)	Entrenamiento	2	Auditoria visual	7	98								
12. Planchado de llanta verde	Fuerza Radial y Harmónica	Fuerza Radial y Harmónica	Vibración y mala dirigibilidad	6	Seto incorrecto de temperatura y tiempo de calentamiento de bisel	Entrenamiento	2	Auditoria visual	7	98								
					Flux de planchadores	3												
12. Planchado de llanta verde	Planchado irregular	Apariencia irregular - Ampollas	Apariencia irregular - Ampollas	7	Presión planchadora	Set-up de liberación	4	FVM	4	96								
					Presión interna de carcasa	4												
					Presión irregular de planchado	4												
					Presión y alineamiento de planchadores	3	Inspección Final - Visual	8	168									
					Ajuste planchadores	3												

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.38 Programa de Implementación de acciones

ACCIONES	RESPONSABLE			Fecha	Estado
	BB	GB1	GB2 GB3		
1. Realizar un instructivo de ajuste de máquina para las principales herramientas.		X		08/06/15	Realizado
2. Incluir información de ajuste de equipos en manual de entrenamiento de personas.		X	X	12/06/15	Realizado
3. Cambiar equipos de medición por discriminación efectiva de acuerdo a requerimientos del proceso.	X		X	25/06/15	Realizado
4. Realizar estudios de MSA para los principales equipos de procesos.		X	X	15/07/15	Realizado
5. Establecer un procedimiento de análisis de los sistemas de medición, incluyendo una frecuencia para los estudios.	X		X	05/07/15	Realizado
6. Realizar un mantenimiento correctivo de equipos de compresión de aire, e incluir dentro de mantenimiento preventivo.	X			28/07/15	Realizado
7. Realizar un instructivo de ajuste de máquina para las principales herramientas.		X	X	23/07/15	Realizado
8. Cambiar especificaciones de colocación de planchado.		X	X	10/07/15	Realizado
9. Cambiar diseño de planchadores en máquina de construcción.	X			28/07/15	Realizado
10. Revisar tiempos de planchado en máquinas.			X	15/07/15	Realizado
11. Eliminar en el sistema cambio de regulación manual de variables críticas ya estandarizadas.		X		28/06/15	Realizado

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.39 Plan de entrenamiento

Descripción	Turnos			Entrenamiento			Mes		
	1	2	3	FMEA	Plan de control	Instructivo/procedimiento	15-ago	22-ago	29-ago
Supervisor 1	x			x	x		x		
Supervisor 2	x			x	x		x		
Supervisor 3	x			x	x		x		
Operador de máquina R1	x	x	x		x	x		x	
Operador de máquina R2	x	x	x		x	x		x	
Operador de máquina R3	x	x	x		x	x		x	
Operador de máquina R4	x	x	x		x	x		x	
Operador de máquina R5	x	x	x		x	x		x	
Operador de máquina R6	x	x	x		x	x			x
Operador de máquina R7	x	x	x		x	x			x
Operador de máquina R8	x	x	x		x	x			x
Operador de máquina R9	x	x	x		x	x			x
Operador de máquina R10	x	x	x		x	x			x
Operador de máquina R11	x	x	x		x	x			x

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.40 Plan de comunicación

Areas	Alcance		Mes		
	Operario	Administrativo	11-ago	18-ago	25-ago
Centro de comunicación planta 1	x		x		
Centro de comunicación planta 2	x		x		
Vitrina 1 (ingreso planta)	x		x		
Vitrina 2 (ingreso oficinas)		x	x		
Charla Integrada	x	x		x	
Correos internos		x	x		
Revista de la empresa	x	x			x

Fuente: Elaboración propia

5.5.1.5 Costos y Beneficios

Los costos y beneficios fueron aprobados en una sesión del equipo con participación del responsable de Dpto. Finanzas con la finalidad de dar validez a los valores mostrados en las Tablas 5.34, 5.35 y 5.36 mostradas anteriormente.

A continuación en la Tabla 5.41 se muestra la minuta de reunión de la validación de los costos y beneficios del proyecto.

Tabla 5.41 Minuta de validación de costos y beneficios del proyecto

MINUTA DE REUNIÓN N° 20				
1.- PROYECTO	: Reducción de ampollas en el costado			
2.- ASISTENTES	: Máster BB, BB, GB1, GB2, Gerente Finanzas			
3.- AUSENTES	: N.A			
4.- ASUNTO	: Validación de los costos y beneficios del proyecto			
5.- FECHA Y HORA	: 8/10/15 8:00 am			
Actividad	Tipo de Actividad	Duración	Responsable	Comentario
5.2 Validación de costos/beneficios	Auditoría	1 horas	Gerente Finanzas	De acuerdo a los resultados mostrados del proyecto
6.- ACUERDOS :				
1. Se procedió a validar la información proporcionada por el equipo del proyecto, en la cual se validaron los costos asumidos por la implementación del proyecto; así también, se validaron los beneficios obtenidos mediante los balances financieros.				
2. Finalmente de acuerdo a la evaluación mensual y a los resultados obtenidos se concluye que el proyecto logró al beneficio establecido de acuerdo a lo detallado en las Tablas 5.25, 5.26 y 5.27.				
7.- MEDICIÓN DE LA EFICACIA DE LA REUNIÓN:				
PUNTOS A EVALUAR			EVALUACIÓN (DEL 1 AL 10)	
1. Entrega de resultados			9	
2. Participación			9	
3. Dinamismo			8	
4. Atención			9	
5. Cumplimiento de reglas básicas			9	
EFECTIVIDAD TOTAL:			44	

Fuente: Elaboración propia

5.5.1.6 Plan de Control del proceso

Como parte de la etapa de control, el equipo desarrolló el plan de control para llevar el control de las características críticas identificadas del producto y proceso, para lo cual procedió a elaborar el Plan de Control del proceso de Construcción, tal como se muestra en la Tabla 5.42. En ella se presentan las características del proceso N°3,5 y 6 las cuales identifican a las principales variables de entrada “x”. Determinando el siguiente control para cada variable:

5.5.1.6.1 Control de las variables “x”

El control para las variables x_1 y x_3 presentadas en el característica N° 5, presiones de planchado y presiones de conformado, especifica una tolerancia de ± 5 psi y ± 1 psi respectivamente, con una técnica de medición mediante el uso de manómetros, tomando un neumático de muestra durante la construcción y volviendo a ser verificado cuando se realice algún cambio de medida; el método de control a utilizar será mediante el uso del Setup (monitor) y sólo será ajustado cuando sea requerido, de tener algún inconveniente en el proceso se procederá a tomar la acción requerida correspondiente de acuerdo a lo establecido en el plan de control.

El control para la variable x_2 presentadas en el característica N° 3, colocación de planchadores, especifica una tolerancia de ± 5 mm , con una técnica de medición mediante el uso de una cinta métrica (wincha), tomando un neumático de muestra durante la construcción y volviendo a ser verificado cuando se realice algún cambio de medida; el método de control a utilizar será mediante el uso del Setup (monitor) y sólo será ajustado cuando sea requerido, de tener algún inconveniente en el proceso.

El control para la variable x_4 presentadas en el característica N° 6, colocación de planchadores, especifica una tolerancia de ± 5 s , con una técnica de medición mediante el uso del controlador automático (PLC) siendo visualizado en la pantalla del equipo, tomando un neumático de muestra durante la construcción y volviendo a ser verificado cuando se realice algún cambio de medida; el método de control a utilizar será mediante el uso del Setup (monitor) y sólo será ajustado cuando sea requerido, de tener algún inconveniente en el proceso se procederá a tomar la acción requerida correspondiente de acuerdo a lo establecido en el plan de control.

Tabla 5.42 Plan de control del proceso de construcción

NOMBRE DEL PROCESO	DESCRIP. DE OPERACIÓN	EQUIPO	CARACTERÍSTICAS		CLASIF. CARAC. ESPE	ESPECIFICACIONES/ TOLERANCIAS DEL PRODUCTO/PROCESO	METODOS DE MEDICIÓN DE LA EVALUACIÓN			METODOS DE CONTROL		PLANES	
			PRODUCTO	PROCESO			TECNICAS DE MEDICIÓN DE LA EVALUACIÓN	MUESTRAS		REACCIÓN	ACCIÓN CORRECTIVA		
								TAMAÑO	FREC.				
12. CONSTRUCCIÓN DE LLAMITAS RADIALES	Control de tambores		Contrato de tambor			Contrato: ± 1 mm	Cinta métrica (wincha)	Un punto	Cada inicio de turno y/o reparación de tambor	Set - up de operador	Ajuste de contrato	- Informar a mantenimiento si se presentan variaciones y no se logra ajustar	
			Colocaciones de componentes			Colocaciones de pliegos: ± 2 mm Colocación de pernos: ± 1 mm Colocación de costado: ± 2 mm Colocación de absorbedor: ± 1 mm Contrato de rodillo hombre: ± 1 mm Contrato de tambor: ± 1 mm	Cinta métrica (wincha)	Un neumático	Cada cambio de medida	verificación en Set - up de monitor	Ajuste según especificación	- Informar a mantenimiento si se presentan variaciones y no se logra ajustar	
			Colocaciones de planchados			Colocaciones de planchados de costado: ± 5 mm	Cinta métrica (wincha)	Un neumático	Cada cambio de medida	verificación en Set - up de monitor	Ajuste según especificación	- Informar a mantenimiento si se presentan variaciones y no se logra ajustar	
			Posiciones de tambor			- 1° posición: ± 2 mm - 3°, 4°, 5° posición: ± 5 mm - Perimetro de llanta verde: ± 5 mm - Contrato de tambor: ± 1 mm	Cinta métrica (wincha)	Un neumático	Cada cambio de medida	verificación en Set - up de monitor	Ajuste según especificación	- Informar a mantenimiento si se presentan variaciones y no se logra ajustar	
			Presiones de planchado e inflado			- Presiones de planchado (dinámico, centro, flado, hombro y ab): ± 5 psi - Presión de aplicación de rodado: ± 10 psi - Presiones de inflado (conformado) cercas: ± 1 psi	Manómetro	Un neumático	Cada cambio de medida	verificación en Set - up de monitor	Ajuste según especificación	- Informar a mantenimiento si se presentan variaciones y no se logra ajustar	
			Tiempo de planchado			- Tiempo de planchado de costado: ± 7.5 s.	Display PLC (visual)	Un neumático	Cada cambio de medida	verificación en Set - up de monitor	Ajuste según especificación	Ajuste según especificación	- Informar a mantenimiento si se presentan variaciones y no se logra ajustar
			Apariencia de llanta verde			Calidad de metales y llantas: - Pliegos, pecanías, absorbedores, entubados, planchados, junta de rodado.	Inspección visual	Cuatro neumáticos	Cada cambio de medida	verificación en Set - up de monitor	- Segregación y disposición.	- Informar a Btech responsable para tomar acciones correctivas	
			Identificación de componentes			Identificación de componentes según especificación de construcción, (número inicial, fecha, turno, cuadrilla, corral, máquina, marca)	Inspección visual	1 neumático	Cada inicio de turno y cada cambio de componentes	verificación en Set - up de operador	- Segregación como producto no conforme	- Informar a monitor de turno o Btech responsable para tomar acciones correctivas	
			Ancho y largo de componentes			Medición de ancho de: - 1° y 2° pliego, zqueague, teoguard y rodado: ± 3 mm - Apex, costado, absorbedor, overlay: ± 2 mm Medición de largo de: - Rodado: ± 6 mm	Cinta métrica (wincha)	1 neumático	Cada inicio de turno y cada cambio de componentes	verificación en Set - up de operador	- Segregación como producto no conforme	- Informar a monitor de turno o Btech responsable para tomar acciones correctivas	
			Colocación de componentes			Colocación de componentes: a- Pestañas: ± 1 mm a- Costado y pliegos: ± 2 mm b- Absorbedores: ± 1 mm	Cinta métrica (wincha)	1 neumático	a- Cada inicio de turno b- Cada 2 horas /turno	Verificación en Set - up de operador	Verificación de ancho de pliego, ancho de tambor y colocación de pestañas	Informar a monitor disposición del pliego y verificación de liner liviano en llantas vulcanizadas o al mecánico para ajustes de máquina	
			Contrato de componentes			Contrato de rodado: ± 2 mm	Cinta métrica (wincha)	1 neumático	Cada 2 horas /turno	Verificación en Set - up de operador	Ajuste de posición de mesa de rodado.	Ajuste de posición de meca de rodado.	- Informar a mecánico de turno para tomar acciones correctivas
			Terminación de componentes			Terminación de pliego: ± 4 mm	Cinta métrica (wincha)	1 neumático	Cada inicio de turno	verificación en Set - up de operador	Ajuste de ancho de pliego y segregación	Ajuste de ancho de pliego y segregación	- Informar a monitor de turno o Btech responsable para tomar acciones correctivas
			Perimetro de llanta verde			Perimetro antes de planchar: ± 3 mm Perimetro después de planchar: ± 5 mm	Cinta métrica (wincha)	1 neumático	Cada inicio de turno	verificación en Set - up de operador	Ajuste de perimetro en conformado	Ajuste de perimetro en conformado	- Informar a mecánico de turno para tomar acciones correctivas
			Balance de componentes en llantas verdes			De acuerdo a especificación	Inspección visual	1 neumático	Cada inicio de turno	Verificación del operario en Set Up Inicio de Turno	Ajuste de posición de componentes en el tambor.	Ajuste de posición de componentes en el tambor.	Informar a mecánico de turno o monitor si se presentan variaciones

Fuente: Información de la empresa - Elaboración propia

5.5.1.6.2 Control de las variable “y”

El control para las variables “y” del proceso está establecido en la inspección del neumático en el proceso final de acuerdo al mapa del proceso. La frecuencia de inspección está establecida con una inspección del 100% de los neumáticos producidos, divididos con 3 operadores en cada turno.

5.5.1.7 Controles estadísticos en los procesos

El equipo implementó controles estadísticos para las principales variables del proceso con la finalidad de determinar y controlar las variaciones del tipo común o especial que se presenten en el proceso y en función a ello puedan determinarse las acciones que se requieran tomar. Para ello, el equipo siguió los lineamientos establecidos por Down et al. (2005), en el Manual de Control Estadístico de Procesos, de esta forma en la Tabla 5.43 se presenta el tipo de gráfica de control a utilizar en el proceso para cada variable.

Tabla 5.43 Tipo de Gráfica de control

Variable	Tipo de variable		Tipo de gráfica de control
	Continua	Discreta	
x_1	Si		X y R (Promedio y Rango)
x_2	Si		X y R (Promedio y Rango)
x_3	Si		X y R (Promedio y Rango)
x_4	Si		X y R (Promedio y Rango)
y		si	p (Proporción no conforme)

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo determinado por el equipo, se procedió a establecer los formatos de gráficas de control para el seguimiento de las variables “x” del proceso, tal como se muestra en la Figura 5.60 Gráfica de control Promedio y Rango (X y R) y Figura 5.61 Gráfica de control p.

5.5.1.8 Traslado del Plan al propietario

A medida que el equipo llegó a la conclusión del proyecto, fue derivando información relevante y herramientas de control al operador y jefes de áreas de procesos con la finalidad de que empoderen las contramedidas implementadas, se realice el seguimiento establecido y se asegure las ganancias en el tiempo.

Algunas de las herramientas que el equipo derivó fueron:

- Plan de control de proceso para documentar el nuevo proceso.
- Frecuencia de reuniones de revisión para comunicar el estado del proceso.

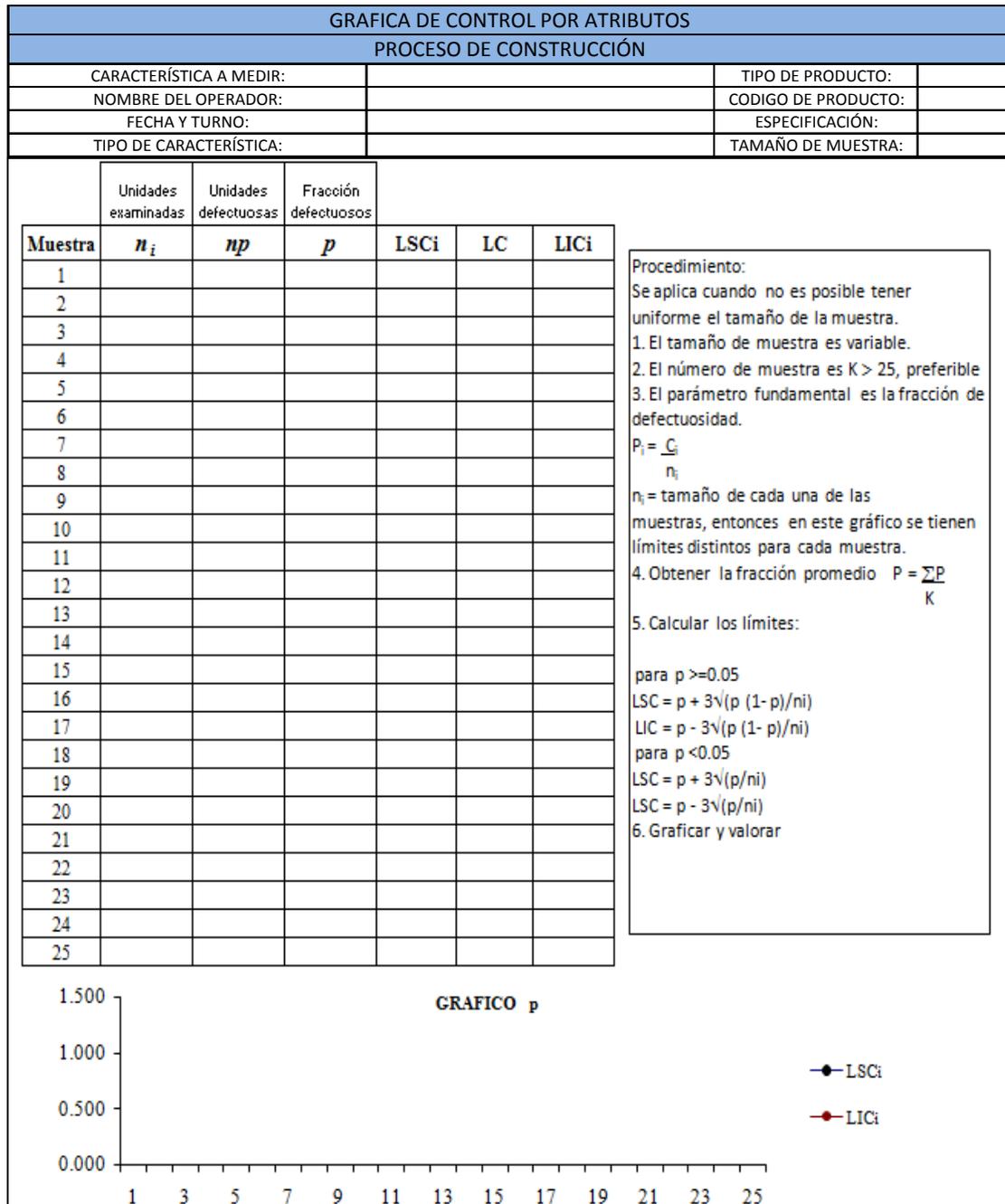


Figura 5.61 Gráfica de control p

Fuente: Elaboración propia

5.5.2 Conclusión del Proyecto Actividades

Una vez finalizado el proyecto, se procedió a tomar algunas acciones adicionales de cierre por parte del equipo con la finalidad de realizar una conclusión del proyecto. El equipo consideró realizar una evaluación de cómo el equipo ha trabajado en conjunto y en consulta con la administración se establecieron premios para reconocer el trabajo del equipo.

5.5.2.1 Evaluación del Equipo

Cuando el proyecto terminó oficialmente, se procedió a establecer una evaluación del proyecto, el trabajo del equipo y algunas responsabilidades individuales con la finalidad de identificar las fortalezas y debilidades, y para que el equipo se vuelva más consciente de las normas de rendimiento, los requisitos de comportamiento y estilo de liderazgo que se busca dentro de los integrantes del equipo. Para ello el equipo realizó la evaluación considerando los criterios mostrados por McCarty *et al.* (2004), quien establece algunos criterios importantes a considerar para la evaluación del equipo, tal como se muestra en la Tabla 5.44, donde se muestra los puntos evaluados y los criterios de evaluación con una puntuación de 1 a 10 como máxima.

Por otro lado, estos resultados sólo permitieron ser utilizados como una herramienta de retroalimentación para los miembros individuales del equipo para mejorar las habilidades de trabajo en equipo. La evaluación del desempeño del equipo es evaluada como parte de la función del Black Belt, pero los resultados permitieron tener una discusión abierta con el equipo para discutir temas como:

- ¿El equipo cumplió con la meta?
- ¿Las reuniones fueron efectivas?
- ¿Los aportes de los miembros fueron equilibrados?
- ¿Se llegó a una profunda comprensión del proceso?
- ¿Las decisiones fueron tomadas en base a datos?
- ¿La metodología DMAIC fue seguida durante todo el proyecto?

La evaluación del equipo fue dirigida al Black Belt y Green Belts, en ella participaron un total de 10 personas considerando no sólo al equipo sino también a los responsables del proceso de construcción con la finalidad de que se consideren la opinión y percepción de los usuarios. A continuación en la Figura 5.62 se presentan los resultados de dicha evaluación.

Tabla 5.44 Formato de evaluación del equipo del proyecto

PUNTOS A EVALUAR	CRITERIOS DE EVALUACIÓN		
Inicia Ideas	<input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/> 8 Ofrece más frecuentes las ideas y soluciones	<input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 4 Inicia sólo moderadamente, pero apoya la iniciación por los demás	<input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 1 Tiende a dejar que otros tomen más de la iniciativa y, a menudo reservas apoyan
Facilita la introducción de nuevas ideas	<input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/> 8 Alienta activamente a otros a contribuir sin preocuparse de acuerdo	<input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 4 Brinda apoyo a las ideas con la que él o ella está de acuerdo	<input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 1 A menudo se resiste a la introducción de nuevas ideas; busca defectos
Se dirige hacia las metas del grupo	<input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/> 8 A menudo ayuda a identificar y clarificar los objetivos para el grupo	<input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 4 A veces ayuda al grupo a definir sus metas; a veces confunde con cuestiones secundarias	<input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 1 Tiende a dar prioridad a la propia metas a expensas de los grupos
Maneja conflictos	<input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/> 8 Saludos conflicto como útil en la promoción de diferentes perspectivas y en afilar las diferencias de puntos de vista	<input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 4 Generalmente se desacopla de conflicto	<input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 1 Trata de suavizar los puntos de desacuerdo; desempeña un papel pacificador
Demuestra apoyo a los demás	<input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/> 8 Alienta activamente la participación de los demás y afirma su derecho a ser oído	<input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 4 Alienta a ciertos miembros de una parte del tiempo, pero no anima a todos los miembros	<input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 1 No ofrece soporte o estímulo para otros miembros
Revela sentimientos	<input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/> 8 Expresa abiertamente sentimientos acerca de cuestiones; asegura que los sentimientos paralelos vistas	<input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 4 A veces se disfraza sentimientos o trata de mantenerlos a la libre	<input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 1 Niega tanto la existencia de los propios sentimientos y la importancia de expresarlos en el grupo
Muestra apertura	<input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/> 8 Libremente y claramente expresa auto en temas para que los demás sepan dónde él o ella representa	<input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 4 A veces emplea el tacto y habla con circunspección para camuflar vistas reales	<input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 1 Es vago sobre puntos de vista sobre temas, incluso contradictorias cuando se presiona
Confronta cuestiones y comportamiento	<input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/> 8 Libremente expresa puntos de vista sobre cuestiones difíciles y en los miembros del equipo no productiva comportamiento	<input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 4 Es cauteloso acerca de tomar posición conveniente en temas y en las acciones de los demás sin garantizar primero la aprobación generalizada	<input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 1 Evita activamente problemas y cualquier conflicto por hablar de temas "seguros" que son irrelevantes para el trabajo en grupo.
Acciones de liderazgo	<input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/> 8 Asume la responsabilidad de guiar al grupo cuando se necesitan recursos propios	<input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 4 Compite con otros miembros para la visibilidad e influencia	<input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 1 Domina las discusiones de grupo y ejerce una influencia desproporcionada que subvierte el progreso del grupo
Demuestra actitud adecuada en proceso de decisión	<input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/> 8 Busca activamente una exploración completa de todas las opciones posibles	<input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 4 Se impacienta con un ritmo pausado en la generación y evaluación de todas las opciones cuando él o ella no lo hace	<input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 1 Mueve fuertemente hacia principios cierre del debate para votar en una opción preferida

Fuente: Elaboración propia

Resultados de la evaluación al equipo

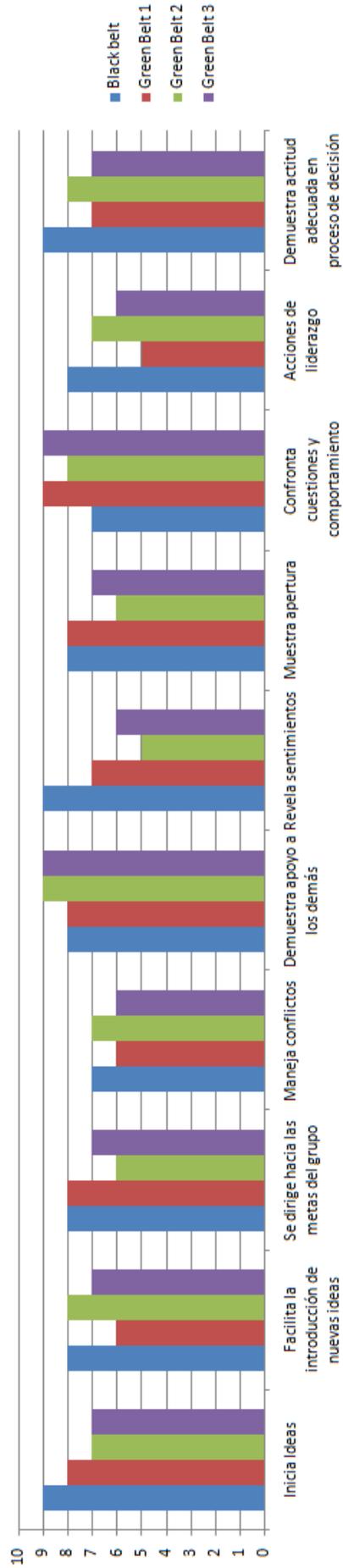


Figura 5.62 Resultados de la evaluación al equipo

Fuente: Elaboración propia

5.5.2.2 Recompensa y reconocimiento

Después de que el equipo probó que el cambio ha presentado las mejoras previstas, la Dirección consideró usar el sistema de reconocimiento como recompensa o reconocimiento al equipo, como parte de la cultura de mejora continua, participando de la mano con el Departamento de Recursos Humanos.

Algunas recompensas y reconocimientos realizados fueron:

- Elogio de la gestión del proyecto en la reunión mensual
- Días libres de acuerdo a coordinado con los responsables del proyecto
- Almuerzo con el equipo
- Certificados del uso de metodología DMAIC
- Entrenamientos en herramientas de mejora



CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- a) Six sigma como un sistema de gestión permitió establecer un proceso claro, estructurado y ordenado para la la identificación de oportunidades de procesos la cual llevó a un listado de potenciales proyectos y mediante la posterior evaluación de proyectos se estableció a “reducción de neumáticos defectuosos como el proyecto a realizar; de esta forma teniendo una estructura de mejora, se definió el equipo y sus responsabilidades para el desarrollo de la metodología DMAIC.
- b) Para el desarrollo del proyecto se requiere del apoyo del liderazgo al equipo del proyecto. Es por ello la importancia de una estructura y funciones definidas para cada uno de sus miembros lo cual derivará en mejores resultados para el proyecto.
- c) Para un buen desarrollo del sistema Six Sigma, existen algunas actividades primarias como definición de roles, selección de equipos, selección de proyectos que se debe realizar para dar una respuesta a lo requerido en cada etapa de la metodología DMAIC, de esta forma permitirá establecer un proceso ordenado y eficaz para el desarrollo de la metodología.
- d) La metodología DMAIC, establece herramientas de mejora esenciales para el desarrollo de cada fase. Las herramientas de mejora son de gran soporte para una implementación eficaz de los proyectos proporcionando un panorama más detallado, logrando brindar un entendimiento más claro del proceso y de esta forma encontrar las causas raíces para eliminar los problemas.
- e) La fase definición para el proyecto fue la fase más importante, debido a que en dicha fase se establece la base del proyecto, la cual incluye decisiones claves como el objetivo del proyecto, formación del equipo del proyecto, definición del alcance del proyecto y una primera estimación del impacto costo/beneficio.
- f) En la fase medir, no sólo fue indispensable la identificación de las variables críticas del proceso de construcción y establecer un plan de muestreo; sino también, fue indispensable la validación del sistema de medición mediante un correcto análisis estadístico de variaciones asociadas a repetibilidad y reproducibilidad del sistema de medición. Esto permitió dar una mejor confiabilidad de que las variaciones asociadas a la medición de variables “x” e “y” no son significativas con respecto a las variación total del proceso.

- g) En la etapa analizar, mediante el uso de herramientas de análisis de problemas como porqué/porqué matricial, se determinó que las causas raíces de los problemas asociados a aire atrapado en el costado (ampolla en el costado) estaba asociado a estándares de construcción del procesos, los sistemas de medición de los equipos en proceso, confiabilidad de los equipos de compresión de aire, así como el diseño de equipos de planchado en el proceso. Una vez determinadas las causas raíces potenciales, es importante dar validez a las causas raíces potenciales mediante el uso de herramientas estadísticas.
- h) En la fase de mejora, el método utilizado para la generación de ideas fue “lluvia de ideas” debido a que no delimita la imaginación de las personas y contribuye abiertamente la exposición de las mismas, creando un ambiente de creatividad e innovación en el equipo.
- i) Como se vio en la fase de mejora, se mostró que cuando se cuenta con una data real y precisa para analizar el desempeño de los proceso, proponer las mejoras resulta menos complicado y se tiene una mayor confiabilidad para reducir o eliminar el problema.
- j) En la etapa de control es importante establecer los planes de control operáticos para controlar las variables críticas del proyecto y de esta forma garantizar en el tiempo el desempeño de los beneficios establecidos por la implementación.
- k) En la evaluación del impacto económico se demostró que el ahorro por eliminar los costos de no calidad, son mayores a la mínima inversión que hay que hacer para asegurar la calidad de las bandejas. Lo que muestra que en más de un caso el mejorar la calidad y servicio de las empresas es una cuestión de cambio de mentalidad y de querer hacer bien las cosas, más que de realizar una gran inversión.
- l) Si bien el proyecto no alcanzó el objetivo establecido de 4.5 y 5.0 para los niveles sigma de los neumáticos defectuosos y ampollas en el costado, es importante recalcar que se redujo un 31% el DPM el nivel de desperdicio y en un 78% DPM el nivel de ampollas en el costado. Así mismo, queda demostrado que cuanto más se desea acercar al valor seis sigma, los esfuerzos para lograrlo son cada vez muchos más exigentes desde todo punto de vista.
- m) El resultado del costo/beneficio para el presente proyecto es de 254,975 USD lo cual representa un ahorro considerable considerando que el mayor costo se da por mantenimiento de los costos del equipo. Esto permite que el equipo pueda desarrollar otros proyectos adicionales, por lo que sería sumamente beneficioso la implementación del sistema Six Sigma.

- n) Como resultado del costo/beneficio, se puede resaltar que el ingreso es positivo, considerando que la inversión se recuperaría sólo en el primer año, sin considerar que el equipo del proyecto puede desarrollar otros proyectos adicionales, por lo que para la empresa sería sumamente beneficioso la implementación del sistema Six Sigma.
- o) Quedó demostrado en el presente trabajo que la implementación de un sistema Six Sigma es beneficioso desde el punto de vista de económico y cultural, debido a que brinda un mayor soporte organizacional mediante la implementación de una cultura, creando valor agregado a sus procesos y una sostenibilidad de los resultados.

6.2. Recomendaciones

- a) En la etapa de control se recomienda trasladar el plan al propietario, a medida que el equipo llega a la conclusión del proyecto, derivando no sólo información relevante de los requerimientos a seguir y herramientas a utilizar; sino también, establecer en el manual de entrenamiento de las personas los cambios asociados al proyecto para estandarizar el conocimiento en el nuevo proceso.
- b) Se recomienda el uso de programas estadísticos como Minitab para la realización de cálculos y análisis de datos en sus procesos, debido a que demuestra una facilidad y practicidad como soporte para un correcto análisis de resultados.
- c) Realizar un seguimiento al programa de mantenimiento de los equipos de planchadores, compresores de aire y la frecuente revisión de los sistemas de medición de los equipos para que estos no fallen en ningún momento del proceso y se garantice un funcionamiento adecuado.
- d) Realizar un análisis de la voz del cliente no sólo utilizando el modelo propuesto de Noriaki Kano, sino también, se recomienda realizar una encuesta de satisfacción del cliente en los 5 principales distribuidores de neumáticos con la finalidad de validar o identificar nuevos requerimientos críticos del cliente.
- e) Realizar un correcto análisis de la voz del cliente, con la finalidad de identificar los verdaderos requerimientos del cliente y de esta forma orientar efectivamente los proyectos de mejora.
- f) Se requiere la formación de más Green Belts y Black Belts para el sostenimiento del sistema Six Sigma en la empresa; para ello se

recomienda que la empresa cuente con 3 Black Belts y 9 Green Belts debido a la complejidad de sus procesos.

- g) Mantener la frecuencia de reuniones de los equipos de mejora con la finalidad de realizar un correcto seguimiento de las acciones implementadas y el estado de los proyectos de mejora. Así también el uso de los formatos predeterminados como agenda de reuniones, reglas básicas de trabajo del equipo de Six Sigma presentadas en el presente trabajo.
- h) Involucrar en toda la etapa de desarrollo de los proyectos Six Sigma al liderazgo de la empresa con la finalidad de tener un soporte adecuado y de esta forma el liderazgo de la empresa conozca de cerca cualquier requerimiento o necesidad por parte del equipo y que requiera respuesta inmediata para una implementación eficaz de los proyectos.



CAPITULO 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ASQ (2015, Julio 20). Quality Glossary. ASQ. Tomado de <http://asq.org/glossary/q.html>
2. Carlos Valdivia. (2013). Diagnóstico y Propuestas de Mejora de Procesos empleando la Metodología Six-Sigma para una Fábrica de Mantenimiento y Reposición de Mobiliario para Supermercados y Tiendas Comerciales. PERU: PUCP.
3. Centrum Católica (2011, Febrero 11). *CENTRUMALDIA*. Tomado de http://www.centrum.pucp.edu.pe/centrumaldia/mercados/mercado/mercado_neumatico.html
4. Down, Czubak, Gruska, Stahley y Benham (2010). *Manual de Análisis de Sistema de Medición*. EE.UU: AIAG.
5. Down, Kerkstra, Cvetkovski and Benham (2005). *Manual Estadístico de Procesos*. EE.UU: AIAG.
6. Down, Irozowski, Benedict, Shubert, Brender, Gruska, Vallance Krasích Haughey (2008). *Manual de Análisis de Modo y Efecto de Falla Potencial*. EE.UU: AIAG.
7. Evans, James R. y Linday, William L. (2008). *Administración y Control de la Calidad*. México: Cengage Learning.
8. Evans, James R. y Linday, William L. (2008). *Administración y Control de la Calidad* (pp.21, 362). México: Cengage Learning.
9. La Superintendencia Nacional de Aduanas y Administración Tributaria (2016, Enero 20). *SUNAT*. Tomado de <http://www.sunat.gob.pe/operatividadaduanera/>
10. Petra Frent (2010). World Tyres Manufacturers – Market Analysis – 2010-2015 Trends – Corporate Strategies. *Xerfi Global*, OXCHE09. 20-23.
11. Scott A. Laman, Elizabeth Burns y Kathy L. Lynn, ASQ Certification Board Puts Quality Tools to Work, 2007.
12. Thomas Pyzdek (2003). *The Six Sigma Handbook*. EEUU: McGraw-Hill.
13. Thomas McCarty, Michael Bremer, Lorraine Daniels, y Praveen Gupta (2004). *Six Sigma Black Belt Handbook*. EEUU: McGraw-Hill.
14. William Michael Kelly (2002). Three Steps to Project Selection. *Six Sigma Forum Magazine*.