

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍA “POLITÉCNICO”

**Propuesta para Disminuir la Cantidad de Productos Defectuosos Aplicando la
Metodología DMAIC en FESTA S.A.**

Daniel Villarreal Godoy

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de Ingeniero
Industrial

Quito, Ecuador

Mayo de 2012

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

**Propuesta para Disminuir la Cantidad de Productos Defectuosos
Aplicando la Metodología DMAIC en FESTA S.A.**

Daniel Villarreal Godoy

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de Ingeniero

Industrial

Quito

Mayo de 2012

Universidad San Francisco de Quito

Colegio de Ciencias e Ingeniería

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

Propuesta para Disminuir la Cantidad de Productos Defectuosos Aplicando la Metodología
DMAIC en FESTA S.A.

Daniel Villarreal Godoy

Danny Navarrete
Director de la Tesis

.....

Ximena Córdova
Miembro del Comité de Tesis

.....

Gabriela García
Miembro del Comité de Tesis

.....

Santiago Gangotena
Decano del Colegio de Ciencias e Ingeniería

.....

Quito, Mayo de 2012

© Derechos de Autor

Daniel Villarreal Godoy

2012

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi familia y amigos que estuvieron presentes y me apoyaron durante la realización del mismo.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Festa, por permitirme realizar este proyecto de tesis en sus instalaciones, a pesar de no ser una práctica común.

RESUMEN

Este proyecto muestra el análisis del sistema productivo de la empresa Festa S. A., utilizando las tres primeras fases de la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), con el objetivo de reducir el porcentaje de desperdicio incurrido por el producto defectuoso.

El proyecto se inicia con un planteamiento del problema donde se identifican los productos sobre los cuales se va a centrar, los defectos de mayor presencia mediante el análisis de datos históricos, las implicaciones económicas, se define el problema y se propone una meta. Además, se establecen los términos de trabajo del equipo y del proyecto en sí.

A continuación, se recolectan muestras de los productos de modo que se tenga una idea del desempeño del proceso en el tiempo y de la variabilidad del mismo. En base a esto, se realizan análisis de la capacidad para cumplir con las especificaciones y se define el nivel sigma al que se está operando.

Posteriormente, se lleva a cabo un análisis de causa raíz, con miembros del equipo y participantes del proceso, que permita establecer las principales causas del problema, para evaluarlas posteriormente.

Finalmente, se realizan propuestas de mejora y se establece un plan de implementación de las mismas que considera el tiempo y responsables.

ABSTRACT

This project shows the Festa S. A. company's production system, using the three first phases of the DMAIC methodology (Define, Measure, Analyze, Improve and Control), with the objective of reducing the percentage of waste incurred by the defective product.

The project begins with a problem statement which identifies the products on which will focus, defects with greater presence by analyzing historical data, economic implication, the problem is defined and a goal is proposed. In addition, terms of team work and the project itself are established.

Next, products samples are collected to have an idea of process performance over time and its variation. Based on this, capability to meet the specifications analyses are made and, sigma level on which it is operating is defined.

Subsequently, to establish the main causes of the problem, a root cause analysis is conducted, with team members and participants of the process. Then, they are evaluated.

Finally, suggestions for improvement are made and their implementation plan that considers time and the people responsible is established.

TABLA DE CONTENIDOS

Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Descripción de la Empresa	1
1.2 Situación Actual de la Empresa	4
1.3 Descripción del Proyecto	5
1.4 Marco Teórico	6
1.4.1 DMAIC	6
1.4.2 Levantamiento de Procesos	9
1.4.3 SIPOC	11
1.4.4 Diagrama de Pareto	12
1.4.5 Cartas de Control de Shewhart	12
1.4.6 Gráfica de Probabilidad Normal y Prueba de Normalidad	13
1.4.7 Capacidad de un Proceso	14
1.4.8 Diagrama de Causa y Efecto	15
1.4.9 Diagrama de Dispersión	16
1.4.10 Pruebas de Hipótesis	17
1.5 Revisión Literaria	18
Capítulo 2: Levantamiento de Procesos	21
2.1 Proceso Productivo	21
2.2 Elaboración de Palitos de Helado	21
2.3 Análisis de Valor Agregado del Proceso	21
Capítulo 3: Fase Definir	23
3.1 Introducción: Objetivos y Entregables	23
3.2 Determinación del Problema	23
3.2.1 Descripción de los Productos	23
3.2.2 Presentación del Problema en Área de Selección	25
3.2.3 Presentación del Problema en Pulidores	35
3.2.4 Identificar la Voz del Cliente (VOC)	39
3.3 Identificación de CTQ's	42
3.4 Identificación de Procesos Asociados y sus Localizaciones	43
3.5 Determinación de la Línea Base del Problema a Nivel Macro	44
3.5.1 Línea Base del Proceso en Seleccionadoras	45
3.5.2 Línea Base del Proceso en Pulidores	49
3.6 Identificación del Costo e Impacto del Problema	53
3.7 Enunciado del Problema	54
3.8 Enunciado de la Meta	56
3.9 Alcance	56
3.10 Plan del Tiempo del Proyecto	57
3.11 Equipo de Trabajo y Participantes del Proceso	57
3.12 Plan de Comunicación	58
3.13 Análisis de Riesgos	61

Capítulo 4: Fase Medir	66
4.1 Introducción: Objetivos y Entregables	66
4.2 Puntos Clave para Obtener Medidas	66
4.3 Plan de Recolección de Datos	68
4.3.1 Tamaño de la Muestra	70
4.3.1.1 Tamaño de las Muestras en Pulidores	71
4.3.1.2 Tamaño de las Muestras en Secadores	72
4.3.1.3 Tamaño de las Muestras en Tornos	73
4.3.2 Frecuencia	74
4.3.3 Hoja de Recolección de Datos	76
4.4 Análisis del Sistema de Medición	76
4.4.1 Tornos	77
4.4.2 Secador	78
4.4.3 Pulidores	81
4.5 Variación del Proceso	84
4.5.1 Variabilidad en Tornos	84
4.5.1.1 Torno 2	84
4.5.1.2 Torno 3	86
4.5.1.3 Torno 4	88
4.5.1.4 Torno 5	90
4.5.1.5 Torno 7	92
4.5.2 Variabilidad en Secador	94
4.5.2.1 Secador 2	96
4.5.2.1.1 Paleta Larga	96
4.5.2.1.2 Paleta Corta	99
4.5.3 Variabilidad en Pulidores	103
4.5.3.1 Pulidor 1	104
4.5.3.1.1 Paleta Larga	104
4.5.3.2 Pulidor 7	107
4.5.3.2.1 Paleta Corta	107
4.6 Capacidad del Proceso	112
4.6.1 Tornos	114
4.6.1.1 Torno 2	114
4.6.1.2 Torno 3	116
4.6.1.3 Torno 4	118
4.6.1.4 Torno 5	120
4.6.1.5 Torno 7	122
4.6.2 Secador	124
4.6.2.1 Paleta Larga	125
4.6.2.2 Paleta Corta	126
4.6.3 Pulidores	128

4.6.3.1 Paleta Larga	129
4.6.3.2 Paleta Corta	130
4.7 Nivel Sigma	135
4.7.1 Tornos	136
4.7.1.1 Torno 2	136
4.7.1.2 Torno 3	136
4.7.1.3 Torno 4	137
4.7.1.4 Torno 5	137
4.7.1.5 Torno 7	137
4.7.2 Secador	138
4.7.2.1 Paleta Larga	138
4.7.2.2 Paleta Corta	139
4.7.3 Pulidores	139
4.7.3.1 Paleta Larga (Pulidor 1)	139
3.7.3.2 Paleta Corta (Pulidor 7)	140
Capítulo 5: Fase Analizar	142
5.1 Introducción: Objetivos y Entregables	142
5.2 Análisis de Causa Raíz	142
5.2.1 Análisis de Causas en Tornos	148
5.2.1.1 Torno Mal Calibrado	148
5.2.1.2 Madera Roja, Seca o con Nudos	149
5.2.1.3 Cuchilla Mal Rectificada	150
5.2.2 Análisis de Causas en Secador	152
5.2.2.1 Alimentación Baja del Caldero	152
5.2.2.2 Chapa Defectuosa	154
5.2.2.3 Mantenimientos no Adecuados	155
5.2.3 Análisis de Causas en Pulidores	156
5.2.3.1 Material con Humedad Distinta	156
5.2.3.2 Exceso de Pulido	164
5.2.4 Causa Raíz	154
5.3 Propuestas de Mejora	166
5.3.1 A Nivel Gerencial	166
5.3.2 Factor Humano	168
5.3.2.1 Entrenamiento	168
5.3.2.2 Carga de Trabajo	172
5.3.3 Arreglo del Secador	172
Capítulo 6: Fase Mejorar	174
6.1 Introducción: Objetivos y Entregables	174
6.2 Plan de Implementación	174
Conclusiones y Recomendaciones	177
Conclusiones	177

Recomendaciones	180
Referencias	184
Anexos	187

LISTA DE FIGURAS

Figuras

Figura 3.1: Objetivos y entregables de la fase definir	23
Figura 3.2: Productos principales de festa	24
Figura 3.3: Diagrama de Pareto de frecuencia de aparición de defectos de paleta larga en Área de Selección	26
Figura 3.4: Porcentaje de aparición de defectos en el número de muestras de paleta larga en Área de Selección	27
Figura 3.5: Diagrama de Pareto de frecuencia de aparición de defectos de paleta corta en Área de Selección	28
Figura 3.6: Porcentaje de aparición de defectos en el número de muestras de paleta corta en Área de Selección	29
Figura 3.7: Diagrama de Pareto de frecuencia de aparición de defectos de palito corbatín en Área de Selección	30
Figura 3.8: Porcentaje de aparición de defectos en el número de muestras de palito corbatín en Área de Selección	31
Figura 3.9: Diagrama de Pareto de porcentaje de defectos de paleta larga en Área de Selección	32
Figura 3.10: Diagrama de Pareto de porcentaje de defectos de paleta corta en Área de Selección	33
Figura 3.11: Diagrama de Pareto de porcentaje de defectos de palito corbatín en Área de Selección	34
Figura 3.12: Diagrama de Pareto de porcentaje de defectos de paleta larga en Pulidores	35
Figura 3.13: Diagrama de Pareto de porcentaje de defectos de paleta corta en Pulidores	36
Figura 3.14: Diagrama de Pareto de porcentaje de defectos de palito corbatín en Pulidores	37
Figura 3.15: Especificaciones para paleta larga	39
Figura 3.16: Especificaciones para paleta corta	40
Figura 3.17: Especificaciones para palito corbatín	41
Figura 3.18: Localización de defectos	44
Figura 3.19: Línea base de defectos de paleta larga en Seleccionadoras	45
Figura 3.20: Línea base de defectos de paleta corta en Seleccionadoras	46
Figura 3.21: Línea base de defectos de palito corbatín en Seleccionadoras	46
Figura 3.22: Porcentaje de defectos de paleta larga separado por defectos	47

principales en Seleccionadoras	
Figura 3.23: Porcentaje de defectos de paleta corta separado por defectos principales en Seleccionadoras	48
Figura 3.24: Porcentaje de defectos de palito corbatín separado por defectos principales en Seleccionadoras	49
Figura 3.25: Línea base de defectos de paleta larga en Pulidores	50
Figura 3.26: Línea base de defectos de paleta corta en Pulidores	50
Figura 3.27: Línea base de defectos de palito corbatín en Pulidores	51
Figura 3.28: Porcentaje de defectos de paleta larga separado por defectos principales en Pulidores	52
Figura 3.29: Porcentaje de defectos de paleta corta separado por defectos principales en Pulidores	52
Figura 3.30: Porcentaje de defectos de palito corbatín separado por defectos principales en Pulidores	53
Figura 4.1: Objetivos y entregables de la fase Medir	66
Figura 4.2: Carta np de ondulada para Torno 2	85
Figura 4.3: Carta np de torcida para Torno 2	86
Figura 4.4: Carta np de ondulada para Torno 3	87
Figura 4.5: Carta np de torcida para Torno 3	88
Figura 4.6: Carta np de ondulada para Torno 4	89
Figura 4.7: Carta np de torcida para Torno 4	90
Figura 4.8: Carta np de ondulada para Torno 5	91
Figura 4.9: Carta np de torcida para Torno 5	92
Figura 4.10: Carta np de ondulada para Torno 7	93
Figura 4.11: Carta np de torcida para Torno 7	94
Figura 4.12: Prueba de normalidad para convexidad de paleta larga en Secador	96
Figura 4.13: Carta de control xbarra-s para convexidad de paleta larga en Secador	97
Figura 4.14: Prueba de normalidad para banana de paleta larga en Secador	98
Figura 4.15: Carta de control xbarra-s para banana de paleta larga en Secador	99
Figura 4.16: Prueba de normalidad para convexidad de paleta corta en Secador	100
Figura 4.17: Carta de control xbarra-s para convexidad de paleta corta en Secador	101
Figura 4.18: Prueba de normalidad para bajo contorno de paleta corta en Secador	102
Figura 4.19: Carta de control xbarra-s para bajo contorno de paleta corta en Secador	103
Figura 4.20: Prueba de normalidad para convexidad de paleta larga en pulidores	105
Figura 4.21: Carta de control xbarra-s para convexidad de paleta larga en Pulidores	106
Figura 4.22: Carta de control p para desportillado vertical de paleta larga en Pulidores	107

Figura 4.23: Prueba de normalidad para convexidad de paleta corta en Pulidores	108
Figura 4.24: Carta de control xbarra-s para convexidad de paleta corta en Pulidores	109
Figura 4.25: Prueba de normalidad para bajo contorno de paleta corta en Pulidores	110
Figura 4.26: Carta de control xbarra-s para bajo contorno de paleta corta en Pulidores	111
Figura 4.27: Carta de control p de desportillado vertical de paleta corta en Pulidores	112
Figura 4.28: Análisis de capacidad de ondulada en Torno 2	115
Figura 4.29: Análisis de capacidad de torcida en Torno 2	116
Figura 4.30: Análisis de capacidad de ondulada en Torno 3	117
Figura 4.31: Análisis de capacidad de torcida en Torno 3	118
Figura 4.32: Análisis de capacidad de ondulada en Torno 4	119
Figura 4.33: Análisis de capacidad de torcida en Torno 4	120
Figura 4.34: Análisis de capacidad de ondulada en Torno 5	121
Figura 4.35: Análisis de capacidad de torcida en Torno 5	122
Figura 4.36: Análisis de capacidad de ondulada en Torno 7	123
Figura 4.37: Análisis de capacidad de torcida en Torno 7	124
Figura 4.38: Análisis de capacidad de convexidad de paleta larga en Secador	125
Figura 4.39: Análisis de capacidad de banana de paleta larga en Secador	126
Figura 4.40: Análisis de capacidad de convexidad de paleta corta en Secador	127
Figura 4.41: Análisis de capacidad de bajo contorno de paleta corta en Secador	128
Figura 4.42: Análisis de capacidad de convexidad de paleta larga en Pulidores	129
Figura 4.43: Análisis de capacidad de desportillado vertical de paleta larga en Pulidores	130
Figura 4.44: Análisis de capacidad de convexidad de paleta corta en Pulidores	131
Figura 4.45: Análisis de capacidad de bajo contorno de paleta corta en Pulidores	132
Figura 4.46: Análisis de capacidad de desportillado vertical de paleta corta en Pulidores	133
Figura 5.1: Objetivos y entregables de la fase Analizar	142
Figura 5.2: Diagrama de causa y efecto para Tornos	143
Figura 5.3: Diagrama de causa y efecto para Secador	144
Figura 5.4: Diagrama de causa y efecto para Pulidores	144
Figura 5.5: Diagrama de Pareto de causas en Tornos	146
Figura 5.6: Diagrama de Pareto de causas en Secador	147
Figura 5.7: Gráfica de dispersión entre temperaturas de entrada y salida y presión del Caldero	152
Figura 5.8: Gráfica de dispersión del porcentaje de humedad en el tiempo	158
Figura 5.9: Curva de la tina de baño	167

Figura 5.10: Curva de aprendizaje	169
Figura A1: Flujograma proceso productivo Festa	188
Figura A2: Flujograma elaboración de palitos de helado (parte 1)	189
Figura A3: Flujograma elaboración de palitos de helado (parte 2)	190
Figura A4: Flujograma elaboración de palitos de helado (parte 3)	191
Figura A5: Flujograma elaboración de palitos de helado (parte 4)	192
Figura A6: Flujograma elaboración de palitos de helado (parte 5)	193
Figura A7: Diagrama de Valor Agregado del proceso de elaboración de paleta larga	194
Figura A8: Diagrama de Valor Agregado del proceso de elaboración de paleta corta	195
Figura A9: Diagrama de Valor Agregado del proceso de elaboración de palito corbatín	196
Figura A10: Diagrama SIPOC	197
Figura A11: Plan de recolección de datos para Pulidores	204
Figura A12: Plan de recolección de datos para Secadores	205
Figura A13: Plan de recolección de datos para Tornos	206
Figura A14: Hojas de recolección de datos para Pulidores	207
Figura A15: Hojas de recolección de datos para Secador	208
Figura A16: Hoja de recolección de datos para Tornos	209

Tablas

Tabla 3.1: Resumen datos de diagramas de Pareto	38
Tabla 3.2: Transformación de VOC a CTQ	42
Tabla 3.3: 5W y 1H	55
Tabla 3.4: Equipo de trabajo	58
Tabla 3.5: Plan de comunicación	60
Tabla 3.6: Análisis de riesgos	63
Tabla 4.1: Mediciones identificadas	67
Tabla 4.2: Frecuencia de muestreo para paleta larga	75
Tabla 4.3: Frecuencia de muestreo para paleta corta	76
Tabla 4.4: Rango promedio por producto y defecto en Secador	78
Tabla 4.5: Sigma de repetibilidad por producto y defecto en Secador	79
Tabla 4.6: Sigma de instrumento por producto y defecto en Secador	79
Tabla 4.7: Cocientes P/T por producto y defecto en Secador	80
Tabla 4.8: Rango promedio por producto y defecto en Pulidores	81
Tabla 4.9: Sigma de repetibilidad por producto y defecto en Pulidores	82
Tabla 4.10: Sigma de instrumento por producto y defecto en Pulidores	82

Tabla 4.11: Cocientes P/T por producto y defecto en Pulidores	83
Tabla 4.12: Capacidad y partes por millón	134
Tabla 4.13: Nivel Sigma	141
Tabla 5.1: Calificación de posibles causas en Tornos	145
Tabla 5.2: Calificación de posibles causas en Secador	147
Tabla 5.3: Calificación de posibles causas en Pulidores	148
Tabla 5.4: Porcentaje de defectos ocasionados por madera en Tornos	149
Tabla 5.5: Porcentaje de defectos ocasionados por madera	155
Tabla 5.6: Datos de humedad recolectados en Secador (muestra 1)	163
Tabla 5.7: Datos de humedad recolectados en Secador (muestra 2)	164
Tabla 6.1: Plan de implementación	174
Tabla A1: Validación del Sistema de Medición para Ondulada en Tornos	210
Tabla A2: Validación del Sistema de Medición para Torcida en Tornos	210
Tabla A3: Validación del Sistema de Medición para convexidad de paleta larga en Secador	211
Tabla A4: Validación del Sistema de Medición para banana de paleta larga en Secador	212
Tabla A5: Validación del Sistema de Medición para convexidad de paleta corta en Secador	213
Tabla A6: Validación del Sistema de Medición para bajo contorno de paleta corta en Secador	214
Tabla A7: Validación del Sistema de Medición para convexidad de paleta larga en Pulidores	215
Tabla A8: Validación del Sistema de Medición para desportillado vertical de paleta larga en Pulidores	216
Tabla A9: Validación del Sistema de Medición para convexidad de paleta corta en Pulidores	217
Tabla A10: Validación del Sistema de Medición para bajo contorno de paleta corta en Pulidores	218
Tabla A11: Validación del Sistema de Medición para desportillado vertical de paleta corta en Pulidores	219

Ecuaciones

Ecuación 4.1: Tamaño de muestra para proporciones	70
Ecuación 4.2: Variabilidad total	77
Ecuación 4.3: Sigma de repetibilidad	78
Ecuación 4.4: Sigma de instrumento	79
Ecuación 4.5: Cociente P/T	80
Ecuación 4.6: Índice de capacidad del proceso C_{pu}	113
Ecuación 4.7: Índice de capacidad del proceso C_{pl}	113
Ecuación 4.8: Cálculo de DPU	135
Ecuación 4.9: Cálculo de DPMO	135
Ecuación 4.10: Cálculo de DPMO en base a PPM	135

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción de la Empresa

Festa S. A. es una empresa manufacturera que elabora troquelados de madera, los cuales son posteriormente distribuidos a empresas, principalmente, heladeras tanto nacionales como internacionales. Sus instalaciones se encuentran ubicadas en el Valle de los Chillos, calle los Cisnes No. 100, Km 1.5 Vía al Tingo.

Entre los productos que se fabrican se encuentran palitos y cucharitas para helado de distintos tamaños, formas y presentaciones, bajalenguas para hospitales y revolvedores de café.

Festa mantiene un compromiso con la calidad de sus productos y la mejora continua, debido a las altas exigencias en las especificaciones de los clientes. Es por esto que se realizan varios controles de calidad durante el proceso y, además poseen certificación ISO 9001:2008.

La empresa ofrece sus productos a una amplia gama de clientes, los cuales se encuentran distribuidos en varios segmentos de mercado. En primer lugar, se encuentran las heladerías que demandan productos de primera calidad. Esto se debe al alto grado de automatización que poseen, y sus máquinas requieren material que cumpla con ciertas especificaciones. Principalmente, se atiende a las heladerías más grandes del Ecuador y de varios países latinoamericanos como Colombia, Perú, Argentina y Venezuela. También, exporta sus productos a Europa. Por otro lado, restaurantes, compañías de alimentos y otras, son también compradores de los demás productos de Festa. Cabe recalcar, que ciertos mercados no son muy demandantes en cuanto a la calidad, para ellos se ofrece presentaciones más económicas con un menor grado de fijación sobre las especificaciones dimensionales.

Dado que Festa maneja un Sistema de Gestión de Calidad en base a la ya mencionada norma ISO, todas sus operaciones se encuentran administradas por procesos.

El proceso productivo consta de diez subprocesos:

- **Recepción de Madera:** Se reciben trozas de madera de diferentes especies, provenientes de plantaciones forestales, de una longitud de 2.50 metros, transportados en camiones. Personal de la planta se encarga de registrar la cantidad y el diámetro que poseen. Finalmente, se los descarga y se los apila en el patio.
- **Descortezado:** Mediante la utilización de un montacargas, los troncos son colocados en la máquina descortezadora, en la cual, como su nombre lo indica, se retira la corteza de los mismos.
- **Corte:** Utilizando una sierra, los troncos son cortados en diferentes longitudes, dependiendo del producto que se elaborará y del torno al que posteriormente serán enviados. A estos troncos pequeños se los conoce como “tucos”.
- **Desenrollado:** El desenrollado se lleva a cabo en los tornos, en los cuales, mediante la utilización de un tecele, se coloca los tucos sujetos por sus extremos por un par de mordazas. A continuación, se las hace girar y una cuchilla realiza un proceso de laminado, dando como resultado un “rollo” de madera, el cual es colocado en grandes canastas metálicas. Actualmente, existen ocho tornos que son utilizados de acuerdo con la longitud y el diámetro de troza que pueden procesar.
- **Cocina:** Cuando una canasta se llena, es transportada a la cocina. En ella se encuentra una piscina con agua a 70°C, que puede albergar hasta tres canastas. Este proceso dura 20 minutos.

- Troquelado: Los largos rollos de madera ya cocinados son procesados en una troqueladora. En ella se da la forma que tendrán los productos.
- Secado: Los productos obtenidos son pasados a través de un secador a más de 100°C durante un período de tiempo aproximado de 18 minutos. Así, se reduce la humedad a un 12% - 18% y se elimina cualquier agente contaminante como hongos y bacterias.
- Pulido: En un pulidor, se pule y encera los palitos de modo que queden lisos al tacto y sin astillas. Este proceso toma aproximadamente unas ocho horas.
- Selección: El proceso pasa al área de selección, donde los productos que requieren exactitud dimensional son inspeccionados por máquinas de selección electrónica computarizada. En este punto los palitos son clasificados de acuerdo a su calidad dentro de los tipos A (primera), B (segunda) o C (basura). Los demás productos, por no requerir dicha exactitud, son sometidos a inspección manual, donde visualmente se descartan los defectuosos.
- Empaque: Finalmente, los productos de tipo A y B son empacados en cajas. Los de tipo C se empacan en costales. Aquí, se sella la caja y se llena la información correspondiente como el lote, el nombre del operario y el nombre del producto. Las cajas y los costales están listos para ser almacenados en bodega.

Al ser la calidad tan importante en ciertos productos, se realizan varios controles a lo largo del proceso productivo. En todos ellos se inspecciona mediante muestreo.

- Desenrollado: Se revisa el espesor del rollo y ciertos defectos que pueden presentarse en el mismo.

- Troquelado: Se realiza una inspección visual de los bordes de los palitos, de modo que se verifica el estado de las cuchillas de los troqueles.
- Secado: Mediante un medidor de humedad se controla que ésta se encuentre dentro de los límites establecidos (12% - 18%). Además, se le hace una inspección visual de sus características.
- Pulido: Al final de este proceso se revisa las dimensiones de los productos y se examina visualmente defectos.
- Selección: Una vez que se inspecciona con las máquinas seleccionadoras, se realiza el control de una muestra de todos los posibles defectos (aproximadamente 20) que pueden afectar a los productos. De esta manera se comprueba el correcto funcionamiento de la máquina, y los inspectores de calidad aprueban el paso del producto a bodega. Se debe mencionar que el control se lo realiza sólo a los palitos tipo A.

1.2 Situación Actual de la Empresa

Durante los últimos años, las empresas madereras han sufrido una baja en el abastecimiento. Esto se debe a la creciente demanda de bosques y a la poca reforestación realizada varios años atrás (Alvear, 2011). Una de las compañías más golpeadas por la falta de madera fue Festa, pues sus productos requieren madera con ciertas características particulares de humedad, diámetro y otros que se consiguen con la edad de los árboles (20 a 25 años). Dada la necesidad de satisfacer la demanda de sus clientes, Festa se ha visto obligada a trabajar con la materia prima que ha logrado conseguir, la cual no siempre se encuentra en óptimas condiciones.

El problema se complica aún más ya que no siempre se puede conocer el estado de la madera hasta que ya ha sido empezada a procesarse. También, hay la influencia de la mala

manipulación por parte de los proveedores quienes cortan con demasiada anticipación los bosques, dejando que la madera se seque. Además, por algún tiempo se han venido registrando quejas de los clientes, sobre todo los más importantes, que aseguran que ciertas características y propiedades que caen dentro de algunas de las especificaciones que se exigen y requieren de los productos, han disminuido. Dichos defectos probablemente puedan controlarse dentro del mismo proceso de producción. Un estudio realizado recientemente muestra que troncos con un diámetro de alrededor de 36 cm presentan menor cantidad de defectos propios de la madera (Villarreal, 2010).

Dadas estas circunstancias, la gerencia se encuentra interesada en disminuir sus gastos al comprar solamente madera de diámetros que den como resultado productos de calidad óptima. El estudio mencionado anteriormente demostró que estos diámetros se encontrarían entre los 36 y 44 cm. Asimismo, se busca controlar en los proveedores el tiempo que dura la madera cortada antes de ser procesada al determinar cuál es el porcentaje de humedad mínimo que es apto para asegurar la calidad de las paletas. Es así, que el resultado final se reflejará en una reducción de costos con un incremento en la calidad de los productos, lo que a la vez conllevará a un aumento en las ganancias.

1.3 Descripción del Proyecto

El presente proyecto busca apoyar las decisiones de la gerencia, aplicando la metodología DMAIC dentro del proceso de producción. De esta manera, se busca identificar y controlar causas que ocasionen defectos en los productos mientras éstos se encuentran procesándose. Es decir, el propósito radica en encontrar una forma con la que se pueda controlar de la mejor manera el proceso productivo para reducir la producción de palitos defectuosos, dado que la materia prima no siempre se va a encontrar en óptimas condiciones.

Para conseguir este objetivo se realizará un levantamiento de procesos, de manera que se pueda tener una comprensión clara de los mismos y se identifique los lugares potenciales de falla. También, se analizará el problema de forma que se lo pueda cuantificar económicamente.

A continuación, se recolectarán datos de acuerdo a un plan previamente establecido, determinando el Nivel Sigma al que se encuentra operando el proceso y su variabilidad.

Una vez que se posea esta información elemental, se realizará una reunión entre participantes y conocedores del proceso, con quienes se llevará a cabo una lluvia de ideas. Ésta será analizada de modo que se pueda determinar la causa raíz del problema o problemas principales.

Finalmente, se propondrá un plan para implementar soluciones que ayuden a eliminar o al menos reducir el problema. La viabilidad de la implementación será previamente analizada con expertos, participantes y dueños del proceso.

1.4 Marco Teórico

1.4.1 DMAIC.

DMAIC, por sus siglas en inglés Definir – Medir – Analizar – Mejorar – Controlar, es el enfoque estructurado de Six Sigma para mejoramiento de procesos. Esta metodología puede ser aplicada en cualquier situación o proceso, ya sea físico o transaccional, produzca resultados medibles (“What is DMAIC?”). Los equipos de mejoramiento usan DMAIC para encontrar la causa raíz de los defectos y eliminarla (“The DMAIC Methodolgy”).

DMAIC fue desarrollada por Motorola y es útil en el mejoramiento de procesos existentes para reducir defectos (“DMAIC”).

Las fases de la metodología DMAIC son:

- **Definir:** En esta fase se define un problema u oportunidad de mejora (“The DMAIC Methodolgy”). Es importante definir metas específicas de tal manera que los resultados que se obtengan sean consistentes tanto para la estrategia de la empresa como para las demandas del cliente (“DMAIC”). En esta fase pueden utilizarse herramientas como los Costos de la Calidad, Benchmarking, Histogramas o Diagramas de Pareto. Así mismo, existen secciones (entregables) que deben estar incluidas cuando se presenta el informe de esta etapa. Estos son la Voz del Cliente (VOC), el Project Charter, un Flujo de Proceso a alto nivel, un SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers) y el Equipo que se ha formado para el desarrollo del proyecto.
- **Medir:** Se mide el desempeño del proceso (“The DMAIC Methodolgy”). En esta etapa, se deben realizar estas mediciones y se debe recolectar datos importantes, de manera que en el futuro se puedan realizar comparaciones a base de nuevas mediciones y de esta manera determinar si los defectos han sido reducidos (“DMAIC”). Los entregables correspondientes a esta fase son: las Mediciones claves identificadas, un Plan de Recolección de Datos (Realizado y Ejecutado), Variación del Proceso (Mostrada y Comunicada) y el Desempeño Actual del Proceso. Para cumplir con éstos, son útiles herramientas como las Gráficas de Control, y la medición de la capacidad del proceso mediante los índices CP y Cpk. También, el índice de Producción “Yield”, los índices de Defecto por Unidad, Defecto por Oportunidad y Defecto por Millón de oportunidades. Puede ser útil realizar un estudio Gauge R&R (Repetibilidad y Reproducibilidad) para determinar si el proceso de medición afecta a los datos que se toman.

- **Analizar:** Se analiza el proceso para determinar las causas raíz de un mal desempeño y se determina si el proceso puede ser mejorado o si debe ser rediseñado (“The DMAIC Methodolgy”). Para mejorar un problema es importante determinar los factores que lo están causando, por esta razón, es esencial realizar un análisis de causa y efecto (“DMAIC”). Para esta fase hay tres entregables principales: primero, la Identificación de todas las posibles “X” que afectan al “Y” a través de análisis de datos. Segundo, un Análisis de Causa Raíz. Tercero, la Cuantificación de Brecha/Oportunidad. Para esto, se utilizan varias herramientas, entre ellas Lluvias de Ideas, Diagramas de Causa y Efecto, los 5 por qué, Flujogramas, Diagramas de Proceso, Gráficas de Pareto, Diagramas de Interrelación, Control Estadístico de Procesos, Diagramas de Dispersión, ANOVA, Pruebas de Hipótesis, Intervalos de Confianza, entre otros.
- **Mejorar:** Durante esta fase se busca mejorar el proceso al atacar las causas raíces (“The DMAIC Methodolgy”). El hacer mejoras u optimizar al proceso en base a mediciones y análisis puede asegurar que los defectos sean disminuidos y los procesos se hayan vuelto eficientes (“DMAIC”).
- **Controlar:** Es importante controlar al proceso mejorado para mantener las ganancias (“The DMAIC Methodolgy”). El control asegura la reducción y corrección de las variaciones antes de que puedan influenciar a un proceso negativamente causando defectos. Los controles pueden ser pilotos, inicialmente, de manera que si los resultados son buenos se los pueda aplicar definitivamente a la producción (“DMAIC”).

1.4.2 Levantamiento de Procesos.

Un proceso es un conjunto de actividades concatenadas, estructuradas y medibles; diseñadas para generar un producto y/o servicio de calidad superior, en el menor plazo posible, al más bajo costo, a fin de conseguir la total satisfacción de un cliente interno y/o externo.

Un proceso bien administrado, debe poseer las siguientes características:

- Efectivo: Cuando el producto o servicio generado cumple con los requerimientos y satisface al cliente.
- Eficiente: Cuando hace la mejor utilización posible de recursos al generar el producto o servicio.
- Flexible: Cuando es capaz de adaptarse a las necesidades y requerimientos cambiantes de los clientes.

Cuando se está analizando un proceso, en primer lugar debe identificarse su tipo, el cual puede ser:

- Gobernantes: Son los procesos gerenciales que ayudan a Planificar y Controlar. Marcan la dirección de la organización.
- Productivos: Son los que producen en sí el Producto o Servicio y están directamente relacionados con la satisfacción del cliente.
- Habilitantes: Son los procesos que sirven de apoyo tanto a los productivos como a los gobernantes.

A continuación debe identificarse sus ICOMs, es decir:

- Inputs: Son las entradas del Proceso. Lo que se va a transformar.
- Controls: Son los controles que regulan al Proceso.
- Outputs: Son las salidas del proceso, el producto obtenido después de haber sufrido la transformación.

- **Mechanisms:** Son los mecanismos que facilitan la realización del Proceso.

Una vez determinado esto, se procede a realizar una diagramación del mismo, la cual representa gráficamente al Proceso y sus Actividades. El diagrama de un proceso es una foto de cómo la gente hace su trabajo. Es una representación gráfica de un proceso, que muestra la secuencia de las tareas; usa una versión modificada de símbolos estándares de diagramas de flujo. Un buen mapa es la base para los esfuerzos de mejoramiento continuo en los cuales se analiza y se acuerda las rutas más eficientes que se toman bajo determinadas circunstancias. En él se puede identificar los lugares donde un Proceso está fallando o es confuso, por lo tanto, deberá irse cambiando a medida que el proceso se vaya mejorando. Cabe recalcar que debe estar elaborado de una manera sencilla, de modo que cualquier persona que lo lea pueda interpretarlo.

Finalmente, puede realizarse un Análisis de Valor, con el cual se determina si el Proceso está generando Valor Agregado tanto al Cliente como al Negocio.

- El Valor Agregado al Cliente (VAC) es el resultado de aquellas operaciones que la empresa debe realizar para satisfacer exclusivamente los requerimientos del cliente. Las Actividades que dan este tipo de valor son las que dan un cambio físico en el trabajo, además, están exigidas o solicitadas por el cliente. Es algo por lo que el Cliente está dispuesto a pagar.
- El Valor Agregado al Negocio (VAN) contribuye a la captación progresiva de nuevos clientes, a la expansión del mercado y a la creación de valor interno. De manera general, son actividades necesarias para la empresa internamente, ya sea que satisfagan requerimientos de los empleados, accionistas o del gobierno y la comunidad.

1.4.3 SIPOC.

Este diagrama es una herramienta utilizada en la metodología Six Sigma para identificar todos los elementos relevantes de un proyecto de mejora de procesos antes de que éste empiece. Además, ayuda a definir un proyecto que no tenga un alcance claro.

Generalmente, se lo utiliza en la fase Medir de DMAIC y es parecido al Mapeo de Procesos pero provee de información adicional.

El nombre de la herramienta se origina al tener que considerar a los Proveedores (Suppliers) del proceso, así como sus Inputs, el Proceso en sí que se está mejorando, sus Outputs y, finalmente, el Cliente que recibe los Outputs. En algunas ocasiones, suele ser necesario agregar los Requerimientos de los clientes.

El SIPOC es útil, especialmente, cuando no se conoce o no se tiene claro alguno de los siguientes puntos:

- ¿Quién es el proveedor de los Inputs del proceso?
- ¿Qué especificaciones deben tener los Inputs?
- ¿Quiénes son los verdaderos Clientes del Proceso?
- ¿Cuáles son los requerimientos del Cliente?

El diagrama SIPOC tiene un formato de tabla, la cual puede ser realizada fácilmente si se siguen los pasos a continuación mencionados:

1. Crear una tabla con cinco o seis columnas (la última es opcional), las cuales deben tener un encabezado que corresponda a cada parte de S-I-P-O-C
2. Colocar el Proceso, expresado en un nivel general, en la tercera columna.
3. Identificar y colocar los Proveedores de los Inputs requeridos por el proceso en la primera columna.
4. Identificar y colocar los Inputs del proceso en la segunda columna.
5. Identificar y colocar los Outputs del proceso en la cuarta columna.

6. Identificar y colocar los Clientes que recibirán los Outputs del proceso en la quinta columna.
7. En la sexta columna puede colocarse opcionalmente los requerimientos de los clientes.
8. Verificar con el Sponsor del Proyecto, el Champion e incluso los Stakeholders.

(Simon)

1.4.4 Diagrama de Pareto.

Un Diagrama de Pareto muestra la frecuencia de aparición de una clasificación de datos de mayor a menor. De esta forma se busca identificar la Ley de Pareto que menciona que el 20% de las causas resuelven el 80% de los problemas. Montgomery (2007) en su libro Probabilidad y Estadística aplicadas a la Ingeniería lo define como “Un histograma de ocurrencia por categoría” (p. 36).

1.4.5 Cartas de Control de Shewhart.

Las cartas de control son una de las siete herramientas, conocidas como las siete magníficas, del Control Estadístico de Procesos. Éstas permiten ver el desempeño del proceso en el tiempo, en cuanto a variabilidad, y analizar si las causas de dicha variabilidad se deben al ruido de fondo o variabilidad natural, o a causas asignables que demuestran fallas en el proceso. Generalmente, se encuentran compuestas por una línea central en el promedio de las mediciones, y dos límites conocidos como Límites de Control, superior e inferior. Si el proceso se encuentra bajo control estadístico, las mediciones que se realizan deberán encontrarse dentro de estos límites.

Las cartas se clasifican en dos tipos: por variables y por atributos. Las primeras se utilizan con características de la calidad medibles, es decir, valores continuos, mientras que las otras se aplican cuando no se puede tener valores numéricos, es decir, datos discretos.

Dentro del primer grupo se encuentran las cartas \bar{y} y R, que monitorea los promedios y el Rango, y, las \bar{y} y S que también se encarga de los promedios, pero toma la Desviación Estándar a cambio del Rango. Éstas utilizan muestras, conocidas como subgrupos racionales, de varios elementos y se trabaja con sus promedios, sin embargo, cuando el proceso se presenta de tal forma en que se puedan tomar muestras individuales, se utiliza la carta de control para Mediciones Individuales, la cual además utiliza rangos móviles para comparar la variabilidad entre muestras.

Dentro del otros grupo hay cuatro cartas distintas: la p , np , c y u . La p se utiliza para el control de la fracción disconforme o proporción, mientras que la np es una modificación que analiza el número de unidades disconformes. Por otro lado, la carta c se fija en el número de disconformidades dentro de una unidad de inspección, mientras que la carta u devuelve el promedio de defectos por unidad de inspección cuando se tienen varias de éstas. (Montgomery, 2007, p. 154-339)

1.4.6 Gráfica de Probabilidad Normal y Prueba de Normalidad.

Muchos de los análisis estadísticos que se realizan, incluyendo ciertas cartas de control, se basan en el supuesto de que los datos que utilizan siguen una distribución normal. Para confirmar dicho supuesto es necesario realizar una prueba de normalidad que se realiza mediante la prueba de hipótesis:

H_0 : Los datos siguen una distribución normal.

H_1 : Los datos no siguen una distribución normal

Si el valor P es mayor a un valor de referencia (generalmente 0.05) se concluye que no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y, por lo tanto, los datos siguen una distribución normal. Caso contrario se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa pues no hay suficiente evidencia estadística para determinar que los datos son normales.

Además, se puede tener una idea mediante la gráfica de probabilidad normal, la cual muestra una línea diagonal y varios puntos (correspondientes a los datos) a lo largo de ella. En este punto se utiliza el método del “lápiz grueso”, el cual establece que si se realizara una línea gruesa a lo largo de la línea de la gráfica, y todos los puntos se encuentran dentro de ella, los datos siguen una distribución normal.

1.4.7 Capacidad de un Proceso.

“Para decidir si un proceso es capaz de fabricar correctamente es necesario comparar su variación natural con la especificación exigida, y si su variación natural es inferior al campo especificado se dice que el proceso tienen capacidad de fabricar productos correctos” (Saderra i Jorba, 1993, p. 18). Es decir, se determina si el proceso cumple con las especificaciones que exige el cliente. Para esto, se utilizan principalmente dos índices: Cp y Cpk.

- Cp: “es la relación entre el campo de especificación y la variación del proceso correspondiente a seis desviaciones tipo” (Saderra i Jorba, 1993) El secreto de la Calidad japonesa). Se calcula de la siguiente forma:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

Si:

$C_p > 1$: El proceso es capaz, “el riesgo de defectos es reducido y es tanto menor cuanto mayor sea el índice” (Saderra i Jorba, 1993, p. 18).

$C_p = 1$: El proceso es capaz, pero “hay un riesgo de defectos del 0.27%” (Saderra i Jorba, 1993, p.18)

$C_p < 1$: El proceso no es capaz, “se presenta una fracción defectuosa en un porcentaje importante de la fabricación” (Saderra i Jorba, 1993, p. 18).

- C_{pk} : “es un índice de la calidad en el momento presente y se define referido a la media de fabricación y tomando sólo media campana de distribución” (Saderra i Jorba, 1993, p. 18). Es decir, sirve para determinar si hay un corrimiento de la media.

$$C_{pk} = \min\left(\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma}\right)$$

Si:

$C_{pk} = C_p$: El proceso se encuentra centrado.

$C_{pk} < C_p$: El proceso está descentrado.

Si el proceso está descentrado:

$C_{pk} > 0$: La media del proceso se encuentra dentro de las especificaciones.

$C_{pk} = 0$: La media del proceso es igual al USL o al LSL.

$C_{pk} < 0$: La media del proceso se encuentra fuera de las especificaciones.

1.4.8 Diagrama de Causa y Efecto.

Este Diagrama, también conocido como Espina de Pescado o de Ishikawa (por su creador, el japonés Kaoru Ishikawa), “es una técnica gráfica ampliamente utilizada, que permite apreciar con calidad las relaciones entre un tema o problema y las posible causas

que pueden estar contribuyendo para que él ocurra” (“Diagrama de Causa y Efecto...”). Es por esto que se lo utiliza para la determinación de la causa raíz de un problema.

Para su elaboración se deben seguir los siguientes pasos:

- Definir claramente el problema.
- Escribir el problema en un rectángulo situado a la derecha, con una flecha que apunta hacia él desde la izquierda.
- Realizar una lluvia de ideas con participantes del proceso donde se encuentra el problema (operarios, jefes), de manera que se obtienen las posibles causas que están originando el problema.
- Agrupar las ideas obtenidas de acuerdo a las 5M: Mano de Obra, Máquinas, Material, Método y Medición.
- Puede ser útil el buscar sub-causas o hacer otros diagramas de causa y efecto para cada causa.
- Cada grupo de causas es colocado en flechas que se unen a la primera, en cada una de ellas se escribirán las causas encontradas.

(“Diagrama de Causa y Efecto...”)

1.4.9 Diagrama de Dispersión.

Montgomery (2007) en su libro Probabilidad y Estadística Aplicadas a la Ingeniería define al diagrama de dispersión como “una gráfica en la que cada par (x_i, y_i) está representado por un punto graficado en un sistema de coordenadas bidimensionales” (p. 431). Es decir, es una gráfica que compara dos variables, de modo que se pueda determinar si el cambio en la una produce algún efecto en la otra y se encuentra una relación entre las

dos. A partir de ésta se puede realizar una regresión que modele una ecuación entre las dos variables.

1.4.10 Pruebas de Hipótesis.

De acuerdo a Montgomery (2007), es una “etapa de análisis de datos de un experimento comparativo, en el cual al ingeniero le interese comparar, por ejemplo, la media de una población con un valor dado” (p. 295). Las pruebas de hipótesis pueden utilizarse para comparar una muestra tomada con un valor, o realizar comparaciones entre dos muestras. De este modo, se pueden utilizar todo tipo de parámetros como medias, proporciones o varianzas y estadísticamente demostrar su igualdad.

Generalmente, las pruebas de hipótesis poseen una hipótesis nula y una alternativa, de modo que si no se cumplen los supuestos que apoyen a una, se acepta la otra como válida. Por ejemplo:

$$H_0: \mu = 2.8 \text{ mm}$$

$$H_1: \mu \neq 2.8 \text{ mm}$$

En ocasiones podrá requerirse hipótesis alternativas del tipo

$$H_1: \mu > 2.8 \text{ mm ó}$$

$$H_1: \mu < 2.8 \text{ mm}$$

Dado que los valores muestrales pueden tomar varios valores, para la demostración entran en juego los conceptos de error tipo I y tipo II. El primero se refiere al rechazo de la hipótesis nula cuando ésta es verdadera, y el segundo a la aceptación de la hipótesis nula cuando ésta es falsa. Por lo tanto, debe decidirse la cantidad error que se está dispuesto a aceptar de modo que la mayoría de las probabilidades permitan un experimento aceptable (Montgomery, 2007, p. 295-423).

1.5 Revisión Literaria

Uno de los principales objetivos de Six Sigma, por medio de la metodología DMAIC, es la reducción de defectos, lo que tiene un impacto directo en la satisfacción del cliente. Peter Peterka quien en dos de sus artículos comenta que DMAIC “ayuda a su organización a identificar, reducir, y eliminar defectos de cualquier producto, proceso o transacción” (“Six Sigma Resuelve Problemas...”, párr. 1). Además, explica que “la metodología DMAIC puede ser usada cuando un producto o proceso existe en su compañía pero no está alcanzando las especificaciones de los clientes o de lo contrario no rinde de forma adecuada” (“El Método DMAIC en Six Sigma”, párr. 1). Gutiérrez y de la Vara señalan que “Seis Sigma es una estrategia de mejora continua que busca identificar las causas de los errores, defectos y retrasos en los diferentes procesos de negocio, enfocándose en los aspectos críticos para el cliente” (Elizondo, 2007, p. 1)

Mario Perez-Wilson (1997) en su artículo menciona que un programa de Six Sigma no solamente significa entregar un producto libre de defectos sino también “conlleva mantener un rendimiento alrededor del 99.9999998 %, las tasas de defectos debajo de 0.002 partes por millón y virtualmente erradicar defectos, retrabado y desperdicio” (párr. 5). Según Polesky, “Culturalmente esto significa que se deben de ejecutar los procesos claves casi a la perfección” (Elizondo, 2007, p. 2). Perez-Wilson (1997) también sugiere que se deben poner metas en cuanto a la cantidad de defectos y al nivel de capacidad del proceso para satisfacer las especificaciones del cliente “Motorola, por ejemplo, estableció una meta de calidad de 3.4 partes por millón de defectos con un $C_p = 2.0$ y $C_{pk} = 1.5$ ” (sección Establishing a Quality Goal, párr. 3).

De acuerdo con Gutiérrez y de la Vara, Six Sigma fue introducido por Motorola “con el propósito de reducir los defectos de productos electrónicos” y “logró 1000 millones de dólares en ahorros durante tres años” (Elizondo, 2007, p. 8). Allied Signal, otra

compañía que implementó Six Sigma “logró más de 2000 millones de dólares en ahorros entre 1994 y 1999” (Elizondo, 2007, p. 8), también “GE alcanzó más de 2250 millones de dólares en ahorros en dos años” (Elizondo, 2007, p. 8).

Elizondo también da como alternativas para fines similares otras metodologías que se utilizan dentro de Seis sigma, por ejemplo DMADV la cual “se usa en el rediseño de procesos que no alcanzan la mejora aun siendo mejorados” (Elizondo, 2007, p. 13), IDOV que “se aplica para nuevos procesos o productos y no existe medición alguna disponible” (Elizondo, 2007, p. 13). Sin embargo, recalca la utilización de DMAIC pues “se utiliza para mejorar procesos ya existentes” (Elizondo, 2007, p. 13).

Como ya se mencionó anteriormente, Peter Peterka, en su artículo “Six sigma resuelve sus problemas con una solución desconocida”, comenta que DMAIC “ayuda a su organización a identificar, reducir, y eliminar defectos de cualquier producto, proceso o transacción” (párr. 1). Sin embargo, DMAIC no siempre es la mejor opción para todo tipo de Proyecto. Gonçalves (2008), refiriéndose a proyectos de desarrollo de software, menciona las siguientes razones por las que no siempre es factible aplicar DMAIC:

- “Generalmente, los proyectos DMAIC toman entre tres y seis meses. Sin embargo, los proyectos requieren una solución más rápida a sus problemas.” (p. 166)
- “Los proyectos DMAIC pueden ser muy caros debido al profundo uso de herramientas estadísticas.” Y menciona que en proyectos de software los costos pueden ser más altos que los beneficios que se obtienen. Además, el presupuesto y los recursos suelen ser limitados (p. 166).
- Un equipo DMAIC debe tener muchos conocimientos y estar calificado en el uso de software estadístico, pero también podría ayudarse de otras herramientas como administración de proyectos o “business domain knowledge” (p. 166).

- “DMAIC usa herramientas complejas con un alto costo de implementación y un retorno de la inversión relativamente lento, que no lo hace factible para muchos proyectos” (p. 166).

Es por esto que ella propone un método llamado MiniDMAIC, con el cual se busca reducir estas desventajas.

CAPÍTULO 2: LEVANTAMIENTO DE PROCESOS

2.1 Proceso Productivo

El proceso productivo de Festa fue explicado brevemente en el capítulo 1. De manera general se encuentra diagramado en el Anexo 1 (Ver Anexo 1: Proceso Productivo de Festa). Cabe recalcar que el proceso de empaque mencionado anteriormente se lo ha incluido dentro del proceso de Selección, pues el producto es empacado a medida que va pasando por éste.

2.2 Elaboración de Palitos de Helado

En el Anexo 2 (Ver Anexo 2: Elaboración de palitos de Helado) se muestra de manera más específica las actividades que se realizan al elaborarse palitos de helado, pues éstas difieren, especialmente en el área de selección, con los demás productos. Los palitos son el objeto de estudio de este proyecto debido a que representan una mayor importancia para los ingresos de la empresa.

2.3 Análisis de Valor Agregado del Proceso

Con el fin de determinar las actividades que agregan valor al proceso y el tiempo que se está utilizando para ello, se realizó un Análisis de Valor Agregado. Dado que los principales productos, dado que requieren exactitud dimensional, son la Paleta Larga, Paleta Corta y palito Corbatín, y además, hay ciertas actividades en las que los tiempos difieren, se elaboró el análisis por separado para cada uno de ellos. Los cuadros se muestra en los Anexos 3, 4 y 5 (Ver Anexo 3: Diagrama de Valor Agregado del proceso de Elaboración de Paleta Larga, Ver Anexo 4: Diagrama de Valor Agregado del proceso de Elaboración de Paleta Corta, Ver Anexo 5: Diagrama de Valor Agregado del proceso de Elaboración de Palitos Corbatín). En ellos se puede apreciar que el 50% de las actividades

agregan valor, y que el porcentaje de tiempo ocupado para dichas actividades es del 80.24%, 80.09% y 80.16% para Paleta Larga, Corta y Corbatín, respectivamente. Así, el resultado demuestra que sólo la mitad de las actividades ocupan alrededor del 80% del tiempo de valor. Esto se debe, principalmente, a que más de la mitad del tiempo total (8 horas) se consume en el Pulido. Sin embargo, el otro 50% de acciones pueden ser mejoradas, integradas o eliminadas con el fin de reducir lo que no agrega valor.

CAPÍTULO 3: FASE DEFINIR

3.1 Introducción: Objetivos y Entregables

Para definir correctamente el proyecto se debe conocer los objetivos y entregables de esta fase. De esta forma, también se tiene una guía de cómo se desarrollará la misma.

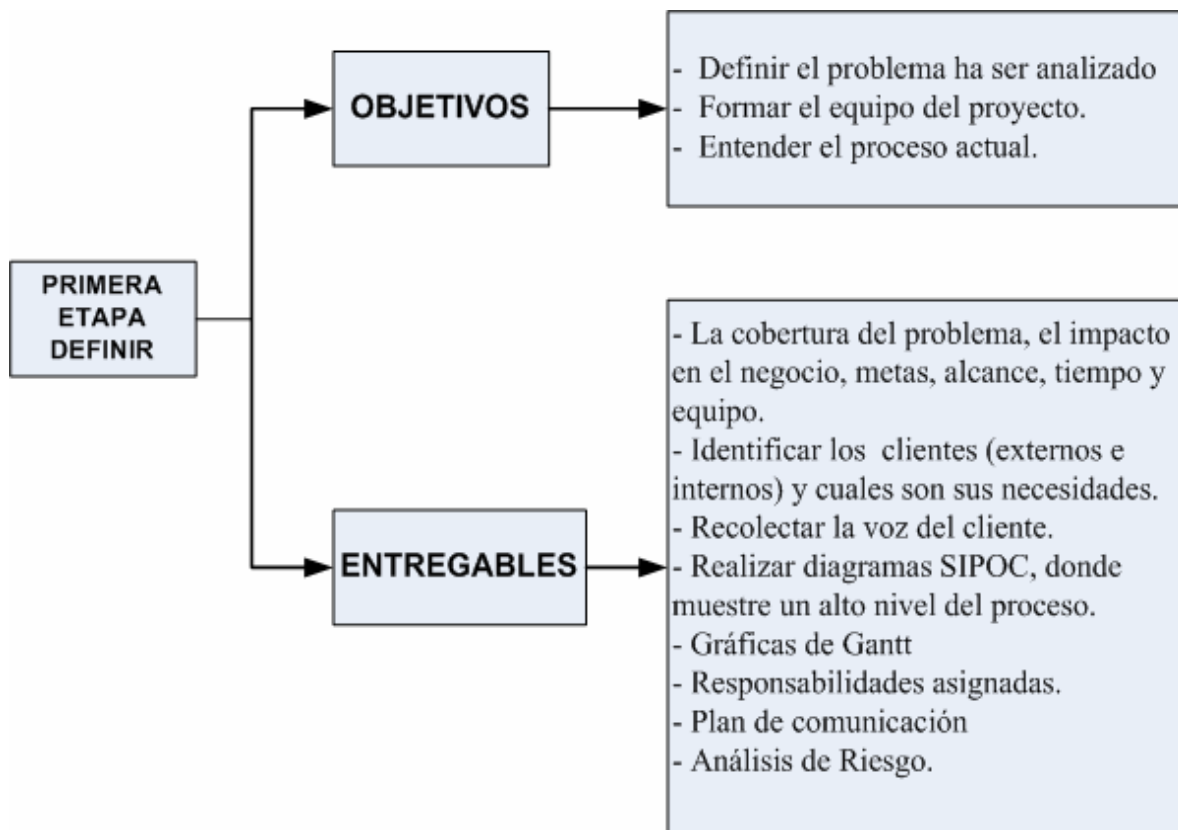


Figura 3.1: Objetivos y entregables de la fase Definir.

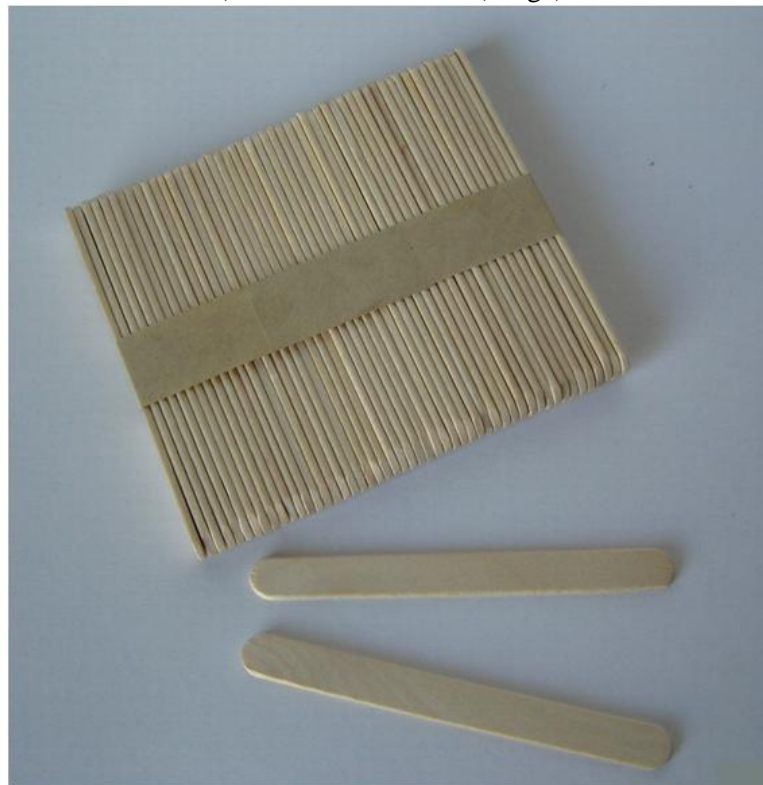
3.2 Determinación del Problema

3.2.1 Descripción de los Productos.

Festa maneja una gran variedad de productos, considerándose los más importantes, debido a las exigencias de los clientes en cuanto a cumplimiento estricto de especificaciones y mayor demanda, tres de ellos: Paleta de 114mm (Larga), Paleta de 94mm (Corta) y Palito Corbatín.



a) Paleta de 114 mm (Larga)



b) Paleta de 94 mm (Corta)



c) Palito Corbatín

Figura 3.2: Productos principales de Festa S.A.
Fuente: Qrbiz.com, Paddle stick for Ice Cream.

3.2.2 Presentación del Problema en Área de Selección.

Debido a dichas exigencias, estos productos, antes de ser empacados, son analizados por medio de Máquinas Seleccionadoras Automáticas, las cuales verifican el cumplimiento con los requerimientos establecidos y se encargan de separar los palitos que se encuentran fuera de especificación. De esta manera se divide al producto en tres tipos dependiendo de su “calidad”, Tipo A o primera calidad, Tipo B o segunda, compuesta por palitos fuera de especificación pero vendidos a clientes menos rigurosos; y Tipo C o tercera, considerada como basura. Las máquinas son calibradas y se les establece tolerancias con respecto a la cantidad de unidades defectuosas que pueden permitir pasar.

A pesar de ello, los resultados no siempre son los mismos debido a varias razones como la calidad de la madera o desperfectos propios de la máquina, por lo que son importantes los constantes controles de calidad para realizar frecuentes ajustes en dichas tolerancias y así estar dentro de las especificaciones que imponen sus mayores clientes.

Muchas veces, si el porcentaje de material malo es muy alto, se deben realizar reprocesos al pasar nuevamente los productos con la nueva calibración y así cumplir con los requerimientos.

A continuación, se presentan Diagramas de Pareto de una muestra de datos históricos correspondientes al año 2011, desde Enero hasta los primeros días de Julio. Se tomaron todos los registros llevados por el Departamento de Calidad de cada producto (Paleta Larga, Corta y Corbatín) para determinar los defectos que han tenido mayor ocurrencia en los meses referidos, obteniéndose un total de 1855 datos. A continuación se muestran diagramas de Pareto que muestran la frecuencia de aparición de los defectos ‘entre muestras’, es decir, de acuerdo al número de muestras en las que se presentó cada defecto.

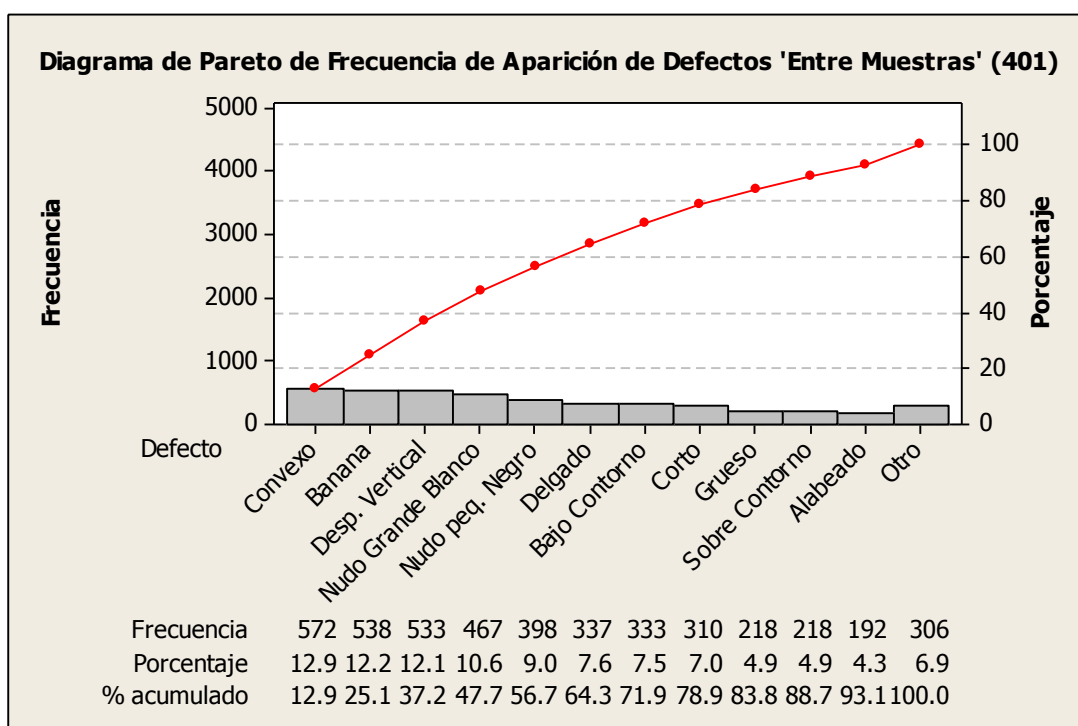


Figura 3.3 Diagrama de Pareto de frecuencia de aparición de defectos de paleta larga en Área de Selección.

Fuente: Elaboración Propia.

Se tomó un total de 574 muestras de Paleta Larga. En el Diagrama se aprecia que el Defecto que se encontró con mayor frecuencia fue Convexo en 572 muestras, seguido por Banana en 538 y Desportillado Vertical en 533. Estos valores corresponden al 99.65%, 93.73% y 92.86% respectivamente, como se aprecia en la siguiente figura:

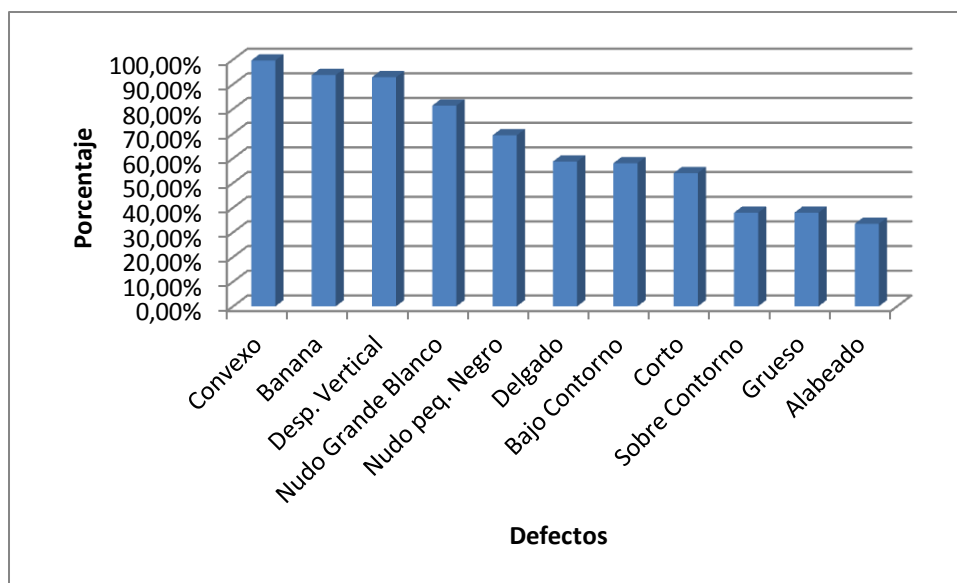


Figura 3.4: Porcentaje de aparición de defectos en el número de muestras de paleta larga en Área de Selección.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se muestra el Diagrama de Pareto para el producto Paleta Corta.

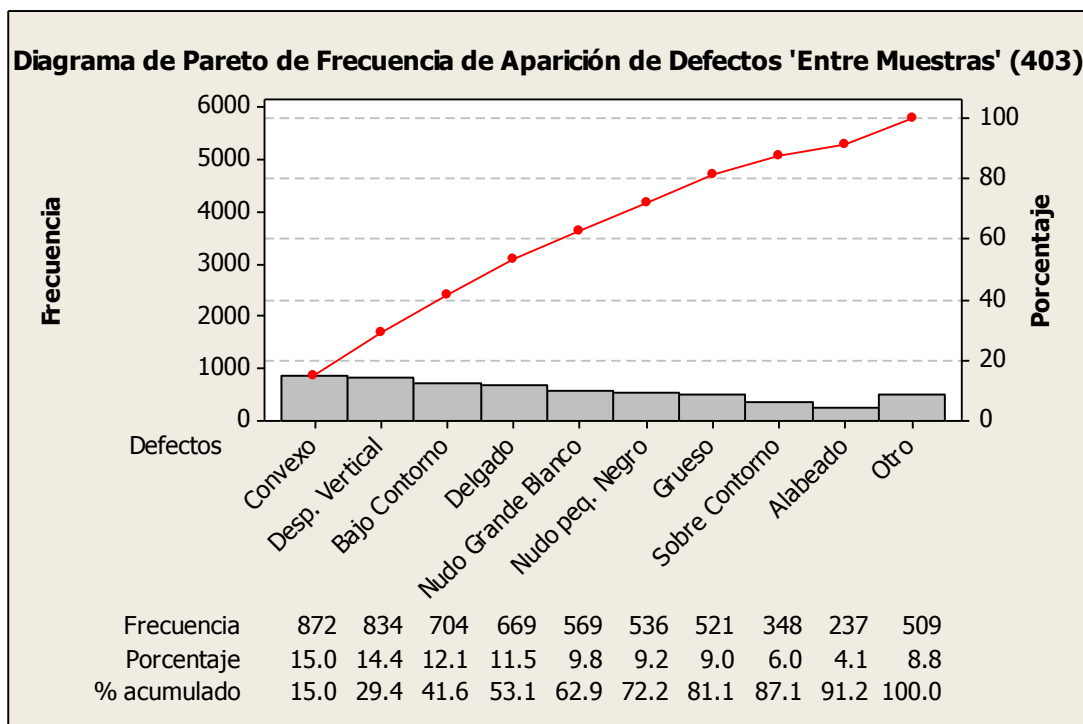


Figura 3.5: Diagrama de Pareto de frecuencia de aparición de defectos de paleta corta en Área de Selección.

Fuente: Elaboración Propia.

Al igual que en el caso anterior, el defecto Convexo fue el que se mostró en la mayoría de las muestras, esta vez en 872 de 877. A continuación se encuentra el Desportillado Vertical en 834, el Bajo Contorno en 704, el Delgado en 669, los Nudos Grande Blanco y Pequeño Negro se presentaron en 569 y 536 muestras, respectivamente. Finalmente, para completar el 80%, Grueso en 521. Para este caso, los porcentajes del número de apariciones en base al total de muestras son:

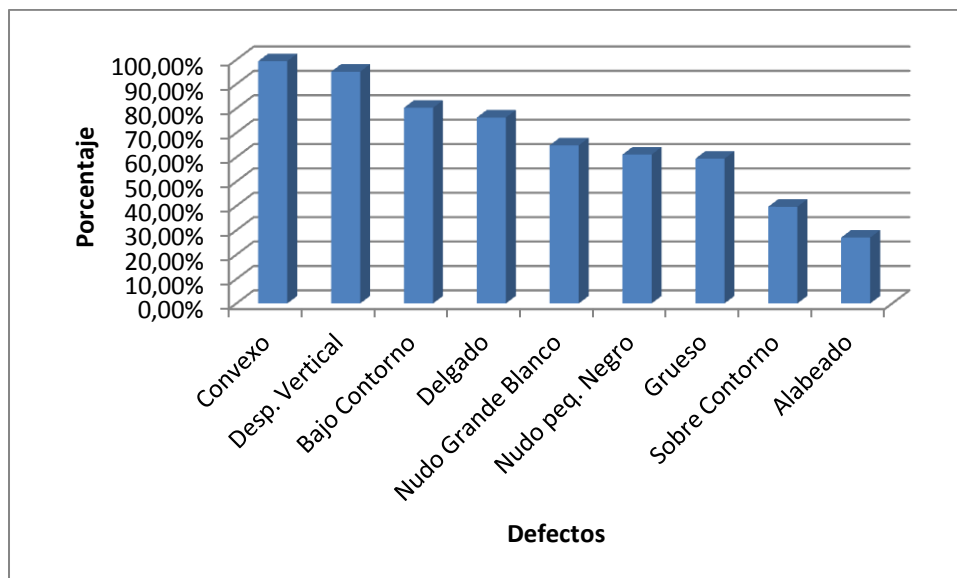


Figura 3.6: Porcentaje de aparición de defectos en el número de muestras de paleta corta en Área de Selección.

Fuente: Elaboración Propia.

En el gráfico se aprecia que Convexo estuvo en el 99.43% de muestras, Desportillado Vertical en 95.10%, Bajo Contorno en 80.27%, Delgado en 76.28%, Nudo Grande Blanco en 64.88%, Nudo Pequeño Negro en 61.12% y Grueso en 59.41%. El Diagrama de Pareto del producto Palito Corbatín es el siguiente:

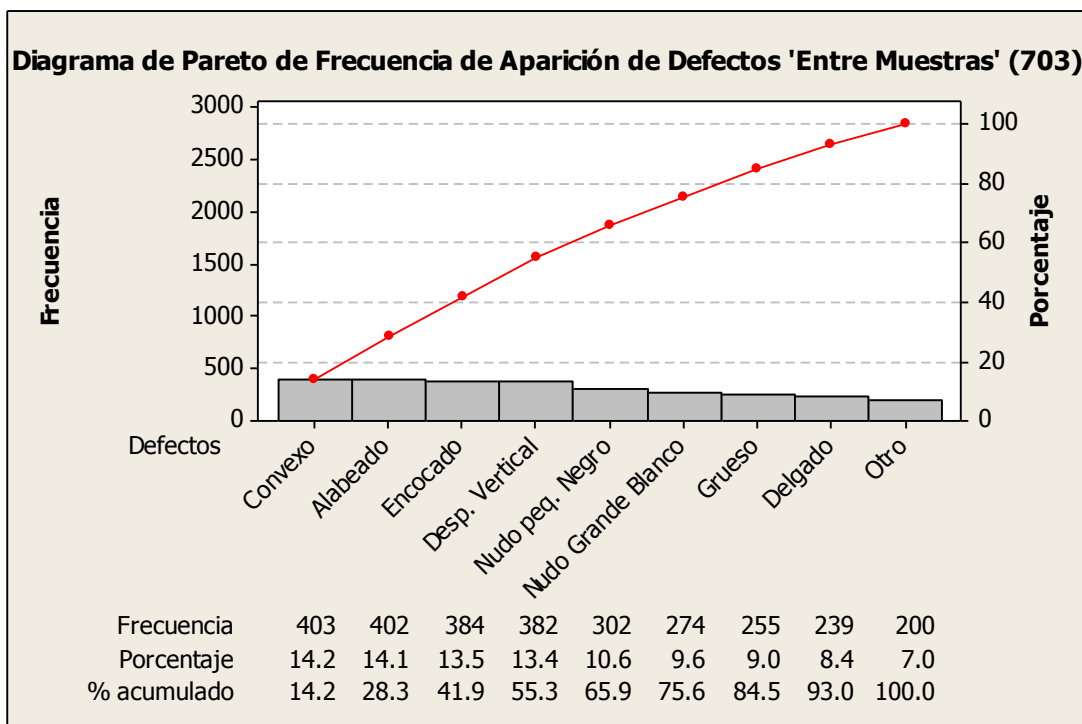


Figura 3.7: Diagrama de Pareto de frecuencia de aparición de defectos de palito corbatín en Área de Selección.

Fuente: Elaboración Propia.

Se puede ver que, al igual que para las Paletas Larga y Corta, el defecto de mayor ocurrencia es Convexo en 403 de 404 muestras, acompañado por Alabeado en 402, Encocado en 384, Desportillado Vertical en 382, Nudo Pequeño Negro en 302, Nudo Grande Blanco en 274 y Grueso en 274. La representación en porcentajes es la siguiente:

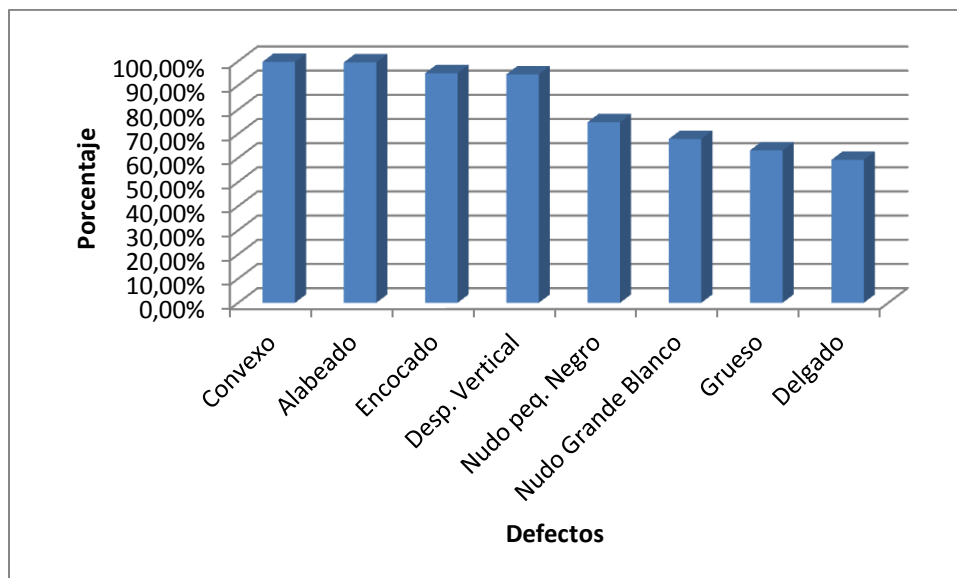


Figura 3.8: Porcentaje de aparición de defectos en el número de muestras de palito corbatín en Área de Selección.

Fuente: Elaboración propia.

Convexo se encuentra en 99.75% de las muestras, Alabeado en 99.50%, Encocado en 95.05%, Desportillado Vertical en 94.55%, Nudo Pequeño Negro en 74.75%, Nudo Grande Blanco en 67.82% y Grueso en 63.12%.

De manera general, ‘Entre Muestras’ los defectos que se presentan con mayor frecuencia son Convexo, Desportillado Vertical y los Nudos Pequeño Negro y Grande Blanco. En particular, además de estos, en el producto Paleta Larga se encuentra Banana, Delgado y Bajo Contorno; en Paleta Corta, Delgado y Bajo Contorno; y en Palito Corbatín, Alabeado y Encocado.

Ahora se presentan Diagramas de Pareto que muestran el porcentaje de defectos ‘dentro de las muestras’, es decir, tomando en cuenta la relación entre la cantidad de veces que se presenta un defecto y el total de ellos.

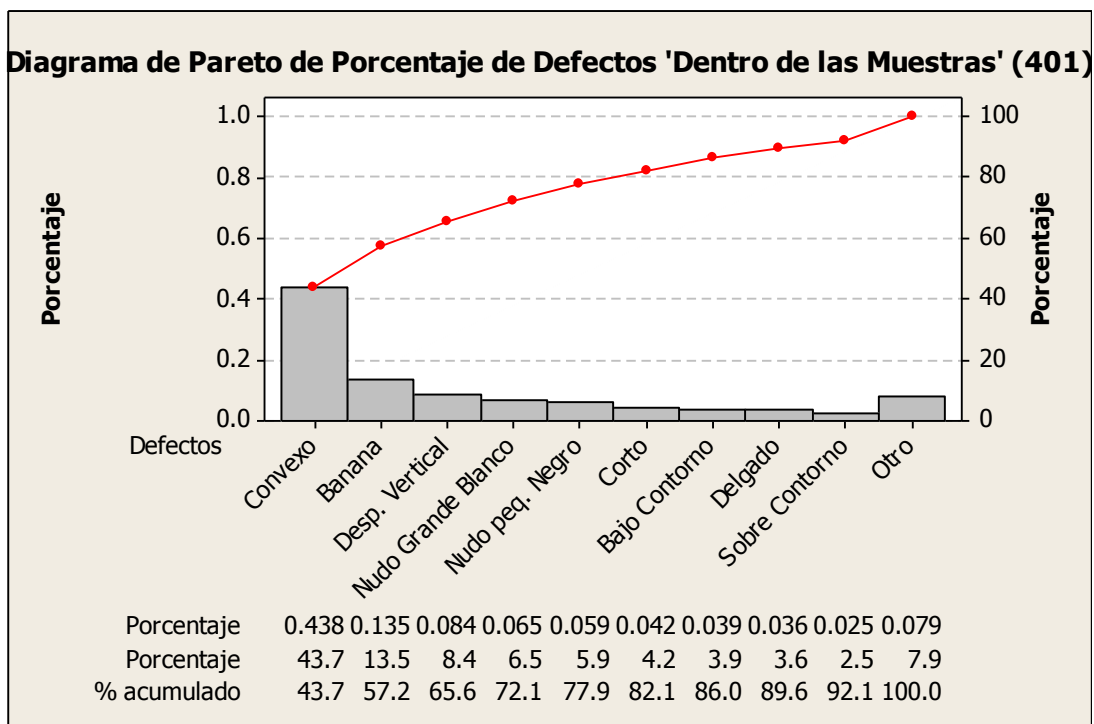


Figura 3.9: Diagrama de Pareto de porcentaje de defectos de paleta larga en Área de Selección.
Fuente: Elaboración propia.

Para Paleta Larga, el mayor defecto es Convexo con 43.77% seguido por Banana con 13.48% y Desportillado Vertical con 8.36%. Finalmente, para completar el 80%, se encuentran el Nudo Grande Blanco y el Nudo Pequeño Negro, ambos son defectos propios de la madera por lo que son más difíciles de controlar.

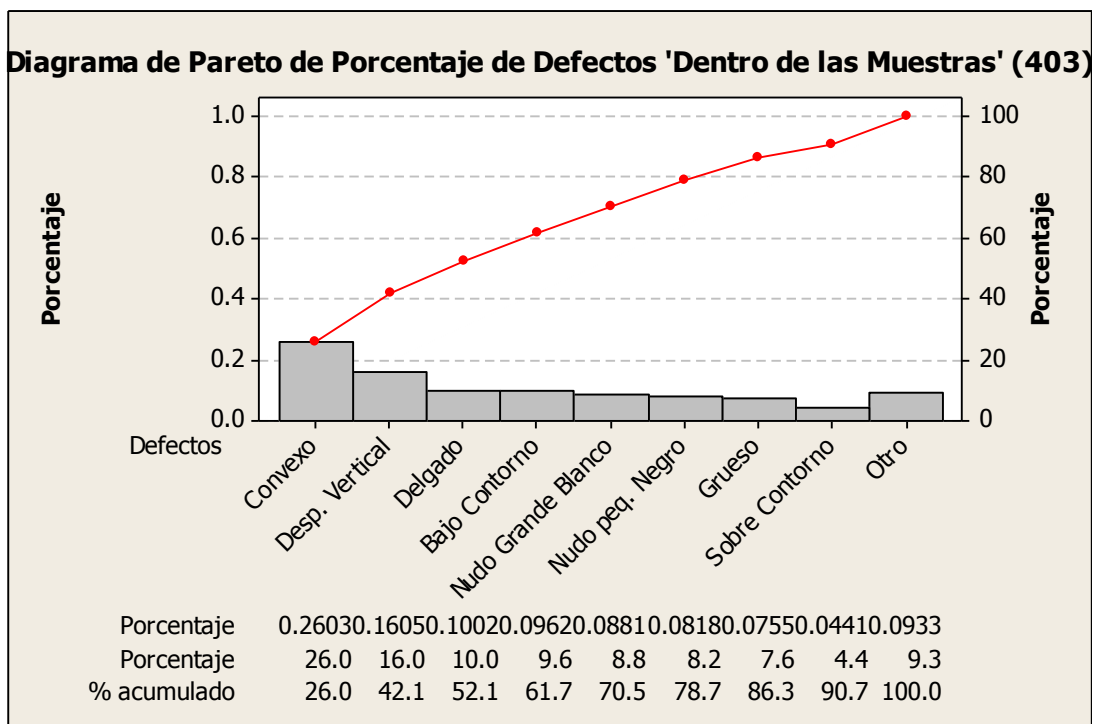


Figura 3.10: Diagrama de Pareto de porcentaje de defectos de paleta corta en Área de Selección.
Fuente: Elaboración propia.

Para Paleta Corta el defecto que más se presenta es Convexo con 26.03%, seguido por Desportillado Vertical con 16.05%, Delgado con 10.02%, Bajo Contorno con 9.62%, finalmente, los Nudos Grande Blanco y Pequeño Negro con 8.81% y 8.18% respectivamente.

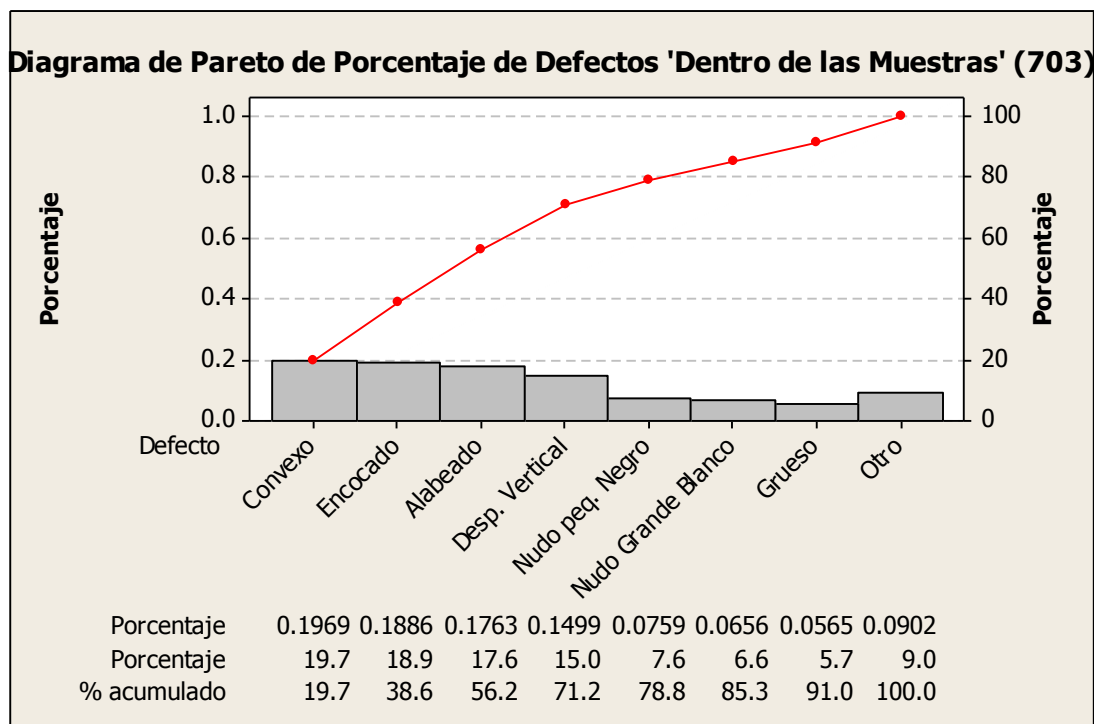


Figura 3.11: Diagrama de Pareto de porcentaje de defectos de palito corbatín en Área de Selección.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de Palito Corbatín, Convexo también es el mayor defecto con 19.69%, a continuación Encocado con 18.86%, Alabeado con 17.63%, Desportillado Vertical con 14.99% y Nudo Pequeño Negro con 7.59%.

A partir de estos datos, se concluye que los defectos que ocurren con más frecuencia 'entre muestras' son los que mayor porcentaje representan 'dentro de las muestras'. Siendo el defecto más crítico en todos los productos el Convexo al estar presente en mayor porcentaje en todos los Diagramas de Pareto presentados. Otro de los defectos que afecta a los tres tipos de palitos tanto 'entre' como 'dentro' de las muestras es el Desportillado Vertical.

Dado que el Palito Corbatín tiene un ancho mayor que los otros dos, presenta los defectos Encocado y Alabeado que no se encuentran, o en pequeño porcentaje, en las Paletas Larga y Corta. De igual manera, en la Paleta Larga se presenta Banana y en la Corta, Delgado y Bajo Contorno.

3.2.3 Presentación del Problema en Pulidores.

Si bien es cierto que el Área de Selección es el último punto en el que se tiene contacto con el producto antes de que llegue al cliente final, el área de los Pulidores es el último lugar en el cual el producto sufre alguna transformación. Por lo tanto, aquí se puede apreciar la verdadera cantidad de defectos que se han producido durante todo el proceso.

A continuación se presenta el análisis de un total de 458 muestras correspondientes a los meses de Enero a Junio de 2011 de los tres productos. Este es un Diagrama de Pareto correspondiente a Paleta Larga sobre los defectos registrados a la salida de los Pulidores de un total de 192 muestras (192 turnos):

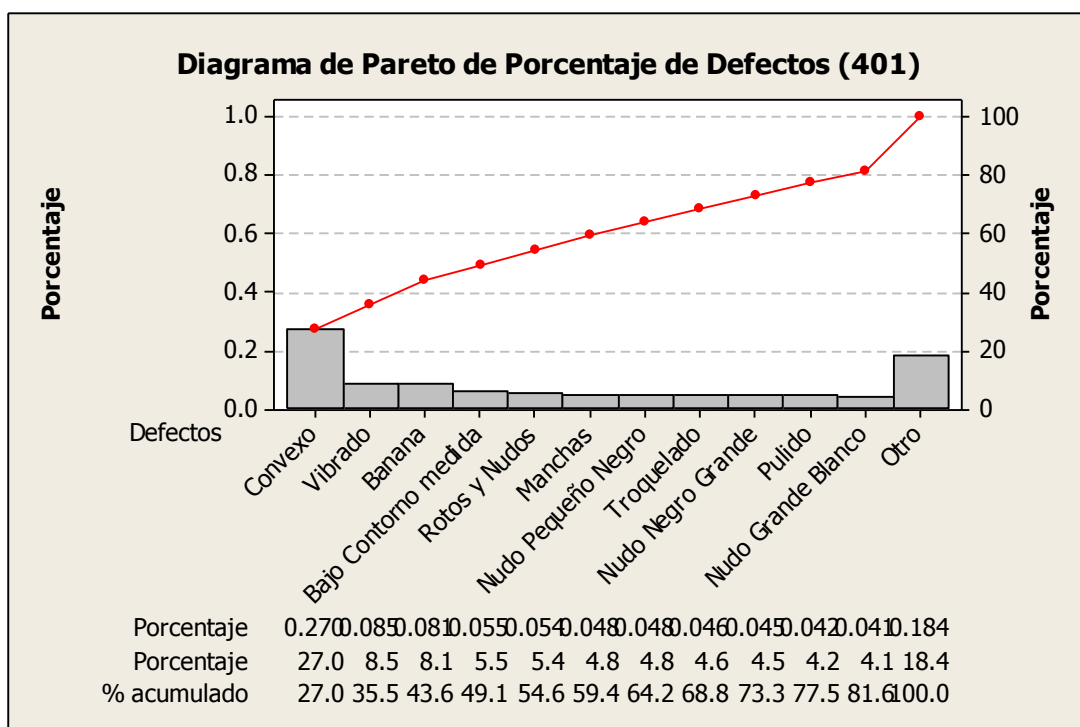


Figura 3.12: Diagrama de Pareto de porcentaje de defectos de paleta larga en Pulidores.
Fuente: Elaboración propia.

En el Diagrama se aprecia que Convexo representa un 27.04% del total de defectos, seguido de Vibrado con 8.49% y Banana con 8.13%.

Ahora se presenta el Diagrama de Pareto de Paleta Corta, obtenido de 230 muestras.

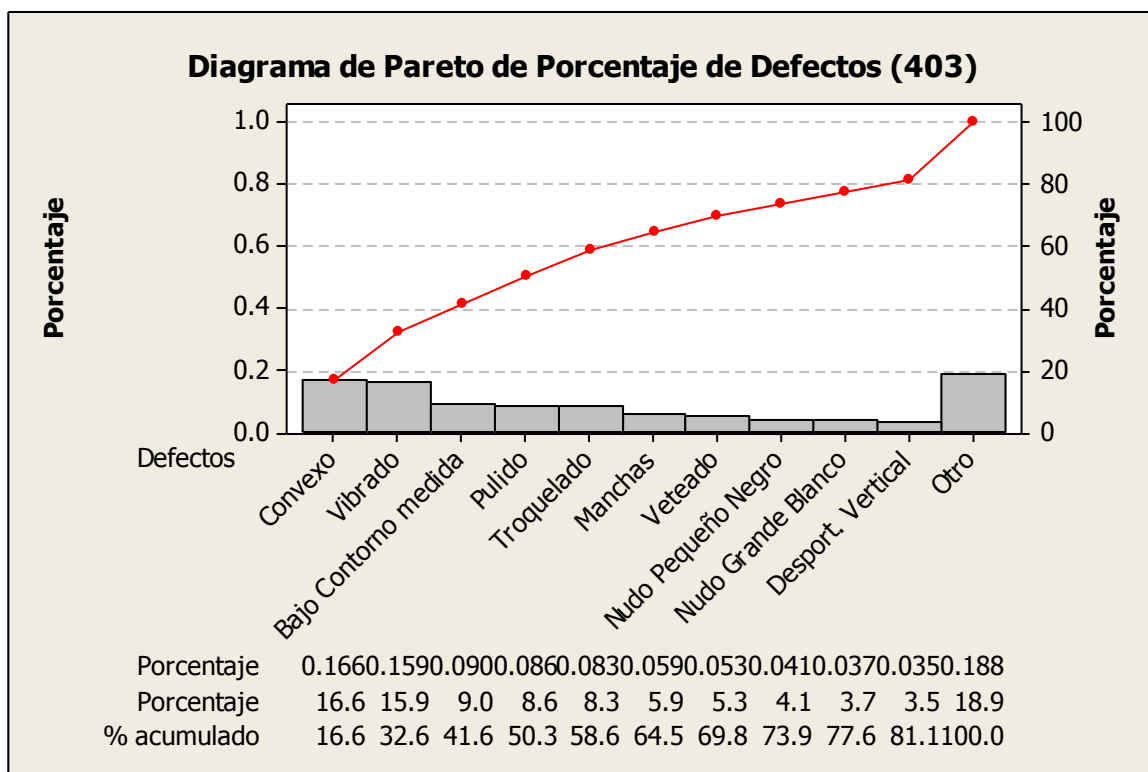


Figura 3.13: Diagrama de Pareto de porcentaje de defectos de paleta corta en Pulidores.
Fuente: Elaboración Propia

Para Paleta Corta, el mayor defecto es Convexo, el cual representa un 16.57% del total, después se encuentra Vibrado con 15.94% y Bajo Contorno Medida con 9.03%.

Finalmente, el Diagrama de Pareto del producto Palito Corbatín correspondiente a 36 muestras, una por turno.

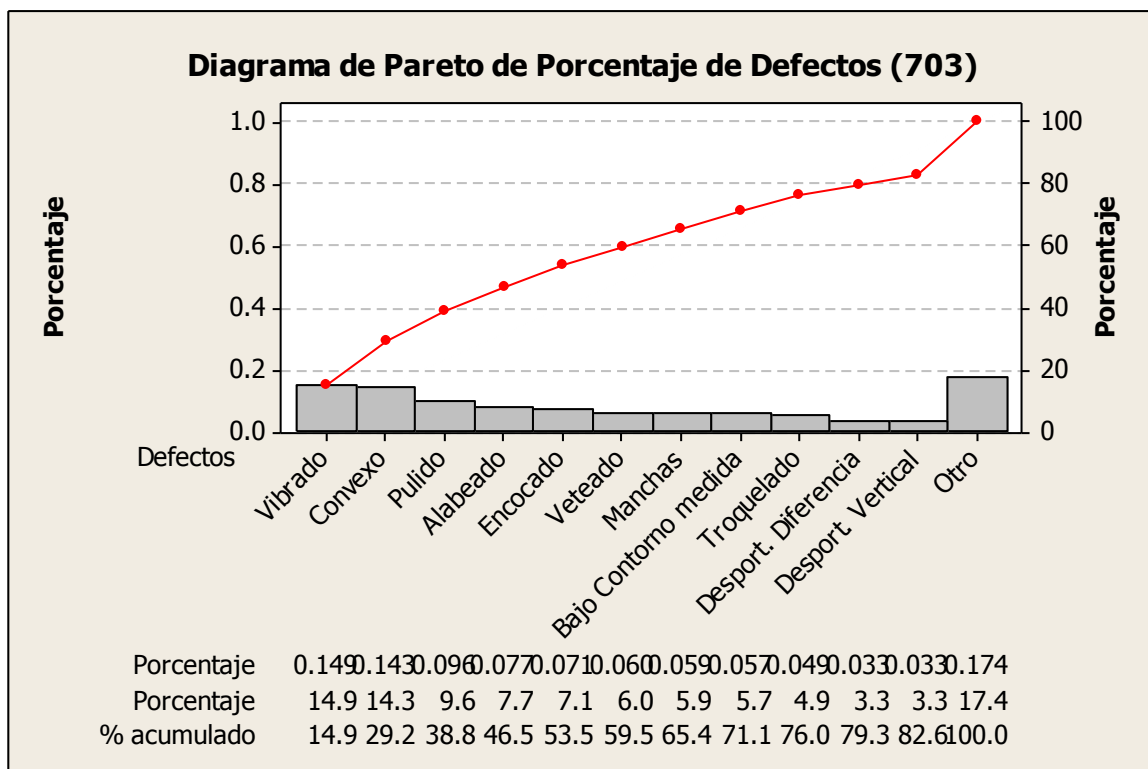


Figura 3.14: Diagrama de Pareto de porcentaje de defectos de palito corbatín en Pulidores
Fuente: Elaboración propia.

En este caso, Vibrado es el mayor al representar 14.93% de los defectos, después Convexo con 14.28% y Pulido con 9.56%. En cuarto y quinto lugar se ubican Alabeado y Encocado que son los dos mayores defectos que siguen a Convexo en las Seleccionadoras (Sección 3.2.2). Sin embargo, el porcentaje de Vibrado y Pulido en las Seleccionadoras es de 0.03% y 0% respectivamente, lo que indica que hacen un trabajo completamente eficiente al eliminarlos.

Por lo tanto, se debería realizar el análisis de los defectos que se producen en mayor cantidad tanto en los Pulidores como en las Seleccionadoras. Así, para Paleta Larga, Convexo y Banana, en Paleta Corta, Convexo y Bajo Contorno y en Palito Corbatín, Convexo, Alabeado y Encocado. También debería considerarse al Desportillado Vertical que es constante en las Seleccionadoras para Paleta Larga y Corta.

Tabla 3.1: Resumen datos de Diagramas de Pareto de Presentación del Problema

Subproceso	Producto	Defecto	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
Selección	Paleta Larga	Convexo	43.7	43.7
		Banana	13.5	57.2
		Desportillado Vertical	8.4	65.6
	Paleta Corta	Convexo	26	26
		Desportillado Vertical	16	42
		Delgado	10	52
		Bajo Contorno	9.6	61.6
	Palito Corbatín	Convexo	19.7	19.7
		Encocado	18.9	38.6
		Alabeado	17.6	56.2
Desportillado Vertical		15	71.2	
Pulidores	Paleta Larga	Convexo	27	27
		Vibrado	8.5	35.5
		Banana	8.1	43.6
		Bajo Contorno	5.5	49.1
	Paleta Corta	Convexo	16.6	16.6
		Vibrado	15.9	32.5
		Bajo Contorno	9	41.5
		Pulido	8.6	50.1
	Palito Corbatín	Vibrado	14.9	14.9
		Convexo	14.3	29.2
		Pulido	9.6	38.8
		Alabeado	7.7	46.5

Encocado	7.1	53.6
----------	-----	------

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4 Identificar la Voz del Cliente (VOC).

Como se explicó anteriormente en el Capítulo 1, los principales clientes de Festa son las empresas más grandes productoras de helado, las cuales utilizan máquinas automáticas que sujetan los palitos de madera y por lo tanto establecen especificaciones para cada tipo de defecto. Lo único que al cliente final le interesa es que se cumpla con estas especificaciones pues sus procesos son automatizados y productos defectuosos ocasionan fallas en sus máquinas y el proceso en general. Por ello, la Voz del Cliente está dada por éstas, siendo las siguientes para cada tipo de producto:

Largo



114 mm (+2 mm, -1 mm)

Ancho



9.5 mm (+0.5 mm, -0.5 mm)

Espesor



2.1 mm (+0.2 mm, -0.2 mm)

Convexo



MAX 3 mm

Alabeado



MAX 2.5 mm

Banana

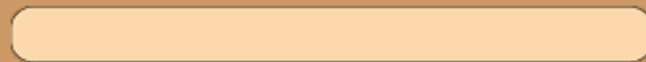


MAX 10.5 mm

Figura 3.15: Especificaciones para paleta larga.

Fuente: *Productos*. www.festa.com.ec

Largo



94 mm (+1 mm, -2 mm)

Ancho



9.5 mm (+0.5 mm, -0.5 mm)

Espesor



2.1 mm (+0.2 mm, -0.2 mm)

Convexo



MAX 2.8 mm

Alabeado



MAX 2.5 mm

Banana



MAX 10.5 mm

Figura 3.16: Especificaciones para paleta corta.

Fuente: *Productos*. www.festa.com.ec

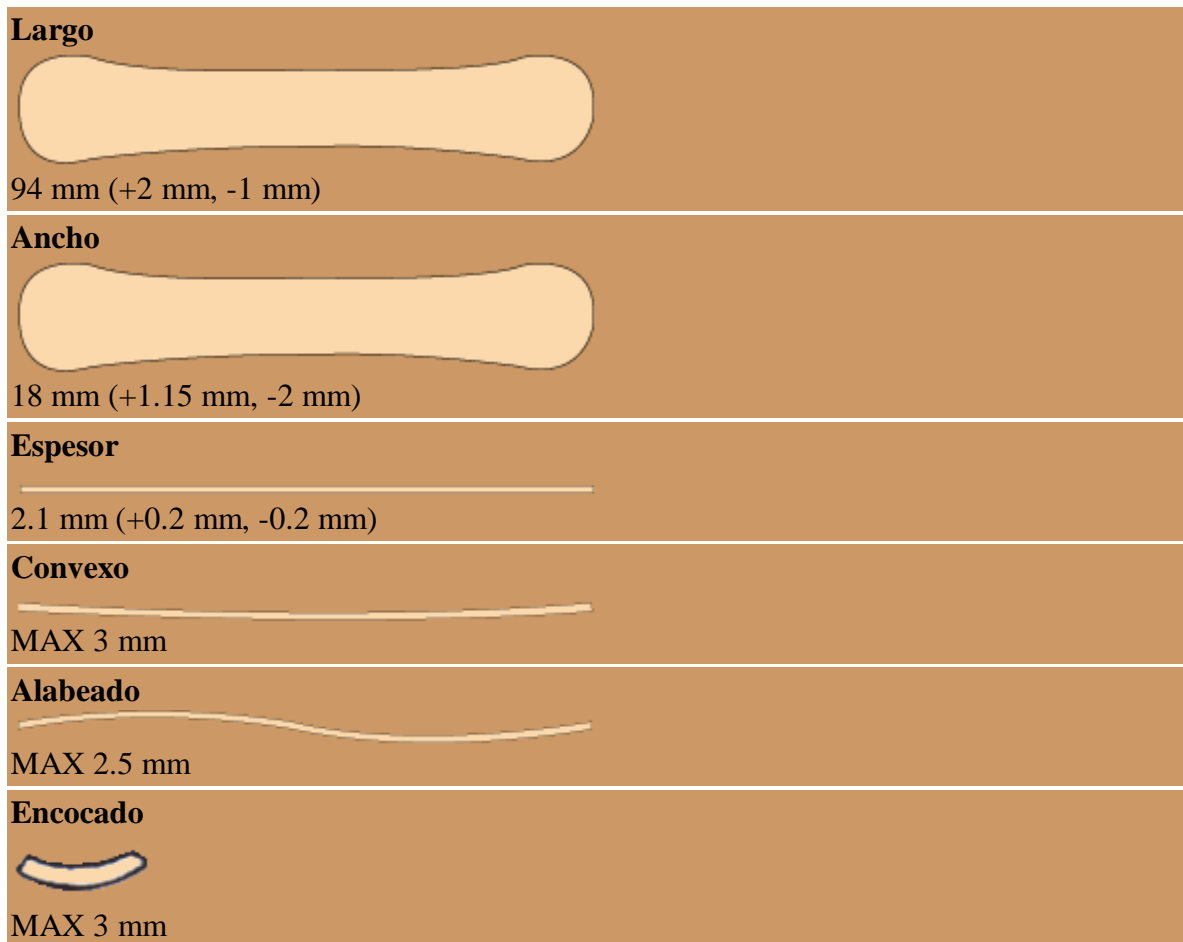


Figura 3.17: Especificaciones para palito corbatín.

Fuente: *Productos*. www.festa.com.ec

Como se puede apreciar, las especificaciones vienen dadas por dimensiones continuas, sin embargo, los registros que se llevan en la empresa son de tipo discreto. Por lo tanto, está es una mejora potencial a aplicarse.

Sin embargo, el cliente interno que tiene el problema en Festa es el Área de Selección, pues es el último punto que está en contacto con el producto antes de que sea llevado a la bodega y, finalmente, llegue al cliente final. De esta manera, la Voz del Cliente de Selección está dada por la queja de la gran cantidad de producto defectuoso que suele provenir de las partes anteriores del proceso (El proceso productivo se encuentra descrito en el Capítulo 2, Ver Anexo 1: Proceso Productivo de Festa y Anexo 2: Elaboración de Palitos de Helado).

3.3 Identificación de CTQ's

La VOC (Voz del Cliente) del Área de Selección se transforma en Características Críticas para la Calidad o Critical to Quality (CTQ). Esto se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3.2: Transformación de VOC a CTQ

Voz del Cliente (VOC)	Problema Clave del Cliente	Requerimientos Críticos del Cliente	CTQ
Proviene mucho material defectuoso de partes previas del proceso.	Quiere que se reduzca la cantidad de material defectuoso.	<ul style="list-style-type: none"> •Malo: Los defectuosos están en 53.51% en Paleta Larga, 31.69% en Paleta Corta y 34.11% en Palito Corbatín •Bueno: Cantidad de producto defectuoso no superior a la tercera parte de los valores existentes. 	Porcentaje o cantidad de producto defectuoso

Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, es Crítico para la Calidad medir el porcentaje de producto defectuoso antes de que llegue a las Seleccionadoras, es decir, después del Pulido.

3.4 Identificación de Procesos Asociados y sus Localizaciones

El proceso de elaboración de palitos de helado se muestra en la Sección 2.1 y 2.2 del Capítulo 2. Adicionalmente, se realizó un Diagrama SIPOC para tener una visión más global del mismo. Éste se muestra en el Anexo 6 (Ver Anexo 6: Diagrama SIPOC).

Revisando el Catálogo de Defectos que maneja Festa, el cual es un documento elaborado por el Departamento de Calidad donde se describen todos los posibles defectos que pueden presentarse, la forma en que se debe realizar las mediciones para el control de calidad y se muestran las especificaciones que se deben cumplir para cada uno. Además, se establece los subprocesos donde éstos se producen. A continuación se muestra la información contenida en el mismo respecto a la localización de cada uno de los defectos más importantes detectados, descritos en la sección 3.1:

Convexidad: “Es cuando la paleta toma la forma de un arco a lo largo”. Aparece en tres partes del proceso: en los Tornos cuando el material está ondulado, en el Secador por exceso de temperatura y en los Pulidores debido a altas temperaturas dentro de los mismos.

Banana: “Es cuando al mirar la paleta de frente, esta tiene forma de banana”. Este defecto puede ocurrir debido a nudos propios de la madera o aparecer en dos partes del proceso: en los Tornos cuando la chapa (lámina de madera) está torcida y en el Secador debido a la humedad variable de la madera que ocasiona que el secado no sea uniforme.

Alabeado: “Es cuando la paleta se tuerce a lo largo”. Se origina en los Tornos debido al exceso de presión y en el Secador debido, al igual que en Banana, a la variabilidad de la humedad de la madera.

Encocado: “Es cuando la paleta toma una curvatura con respecto al ancho”. Se origina en los Tornos debido a la chapa ondulada y se acentúa en el Secador.

Desportillado Vertical: “Es cuando la paleta se rompe a lo largo, terminando en punta”. Es ocasionado por exceso de pulido.

Bajo Contorno: Una paleta con bajo contorno “es aquella que tiene una medida menor a la indicada en las especificaciones de ancho”. Aparece cuando se utilizan troqueles nuevos, al secarse demasiado en el Secador y al estar mucho tiempo en el Pulidor.

Por lo tanto, los puntos críticos en el origen de defectos se encuentran, principalmente, en los Tornos y el Secador, seguido por el Pulidor.

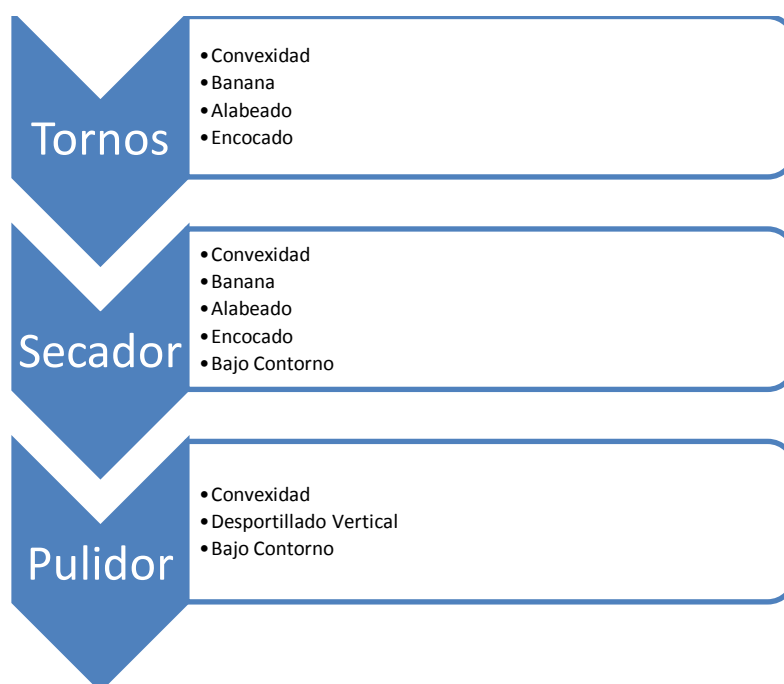


Figura 3.18: Localización de defectos.
Fuente: Elaboración Propia.

3.5 Determinación del Desempeño de la Línea Base del Problema a Nivel Macro

Con el fin de tener una idea general sobre el desempeño del porcentaje de defectuosos, se tomó en cuenta los mismos datos históricos utilizados anteriormente en la Sección 3.2.2, pertenecientes al rango de entre Enero hasta los primeros días de Julio tanto en las Seleccionadoras como en los Pulidores.

3.5.1 Línea Base del Problema en Seleccionadoras.

A partir de los datos provenientes de las Seleccionadoras se obtuvieron las siguientes gráficas:

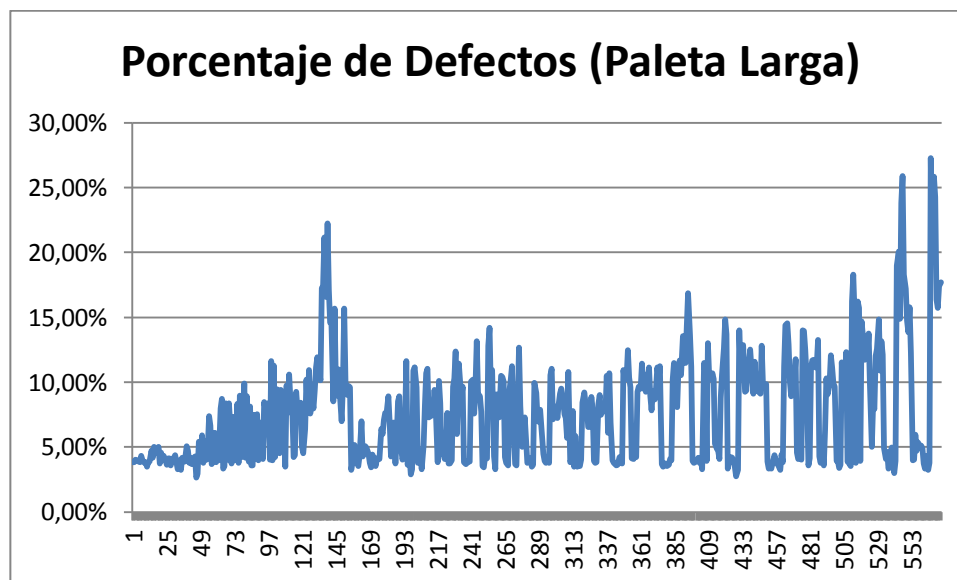


Figura 3.19: Línea base de defectos de paleta larga en Seleccionadoras.

Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se puede observar que la mayor cantidad de defectuosos se encuentra alrededor del 10% o menos. Sin embargo, hay una cantidad considerable de valores más altos que serían inadmisibles. Principalmente, esto se debe a que se registran los valores antes de llegarse a una calibración correcta, de ahí que el valor siguiente sea mucho más bajo al ser fruto de un reproceso. Además, en el caso de la paleta Larga se venden los productos del Tipo B o Segunda Calidad (Ver Sección 3.2), por lo que la materia prima que se utiliza es de una calidad menor.

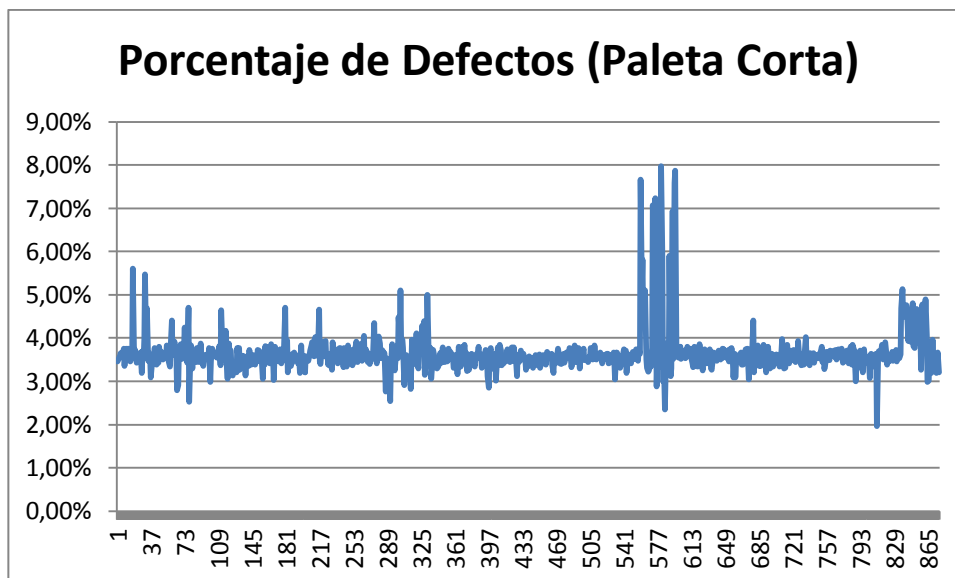


Figura 3.20: Línea base de defectos de paleta corta en Seleccionadoras.

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la gráfica, a diferencia de la Paleta Larga, en la Corta los niveles de defectuosos son mucho más bajos, considerando que la materia prima es mejor. Los puntos altos que se ven son reflejo del momento en que se realiza la calibración.

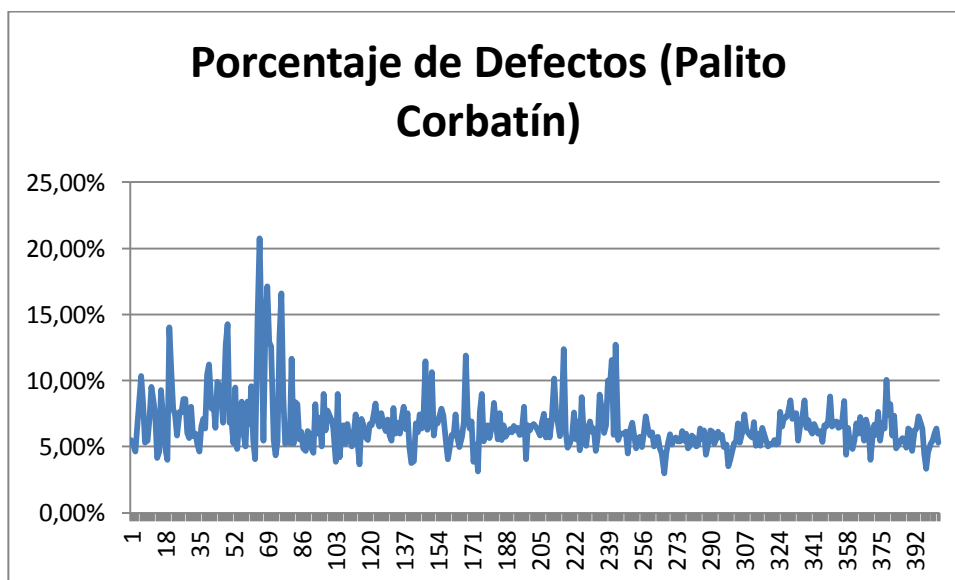


Figura 3.21: Línea base de defectos de palito corbatín en Seleccionadoras.

Fuente: Elaboración Propia.

De igual forma, para Palito Corbatín, la mayoría de puntos se encuentran en valores bajos, siendo los más altos excepciones seguramente debido a la calibración de las Seleccionadoras.

A continuación, se muestran los mismos gráficos pero referentes a los defectos más importantes encontrados en la Sección 3.2.2.

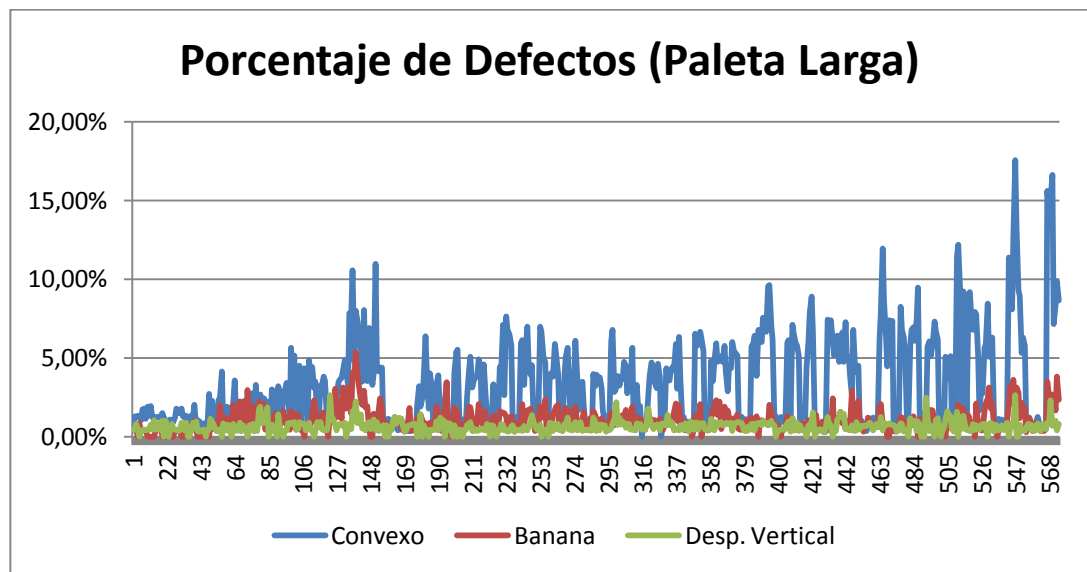


Figura 3.22: Porcentaje de defectos de paleta larga separado por defectos principales en Seleccionadoras.

Es claro que para Paleta Larga el Convexo se presenta la mayor parte del tiempo en mayor proporción.

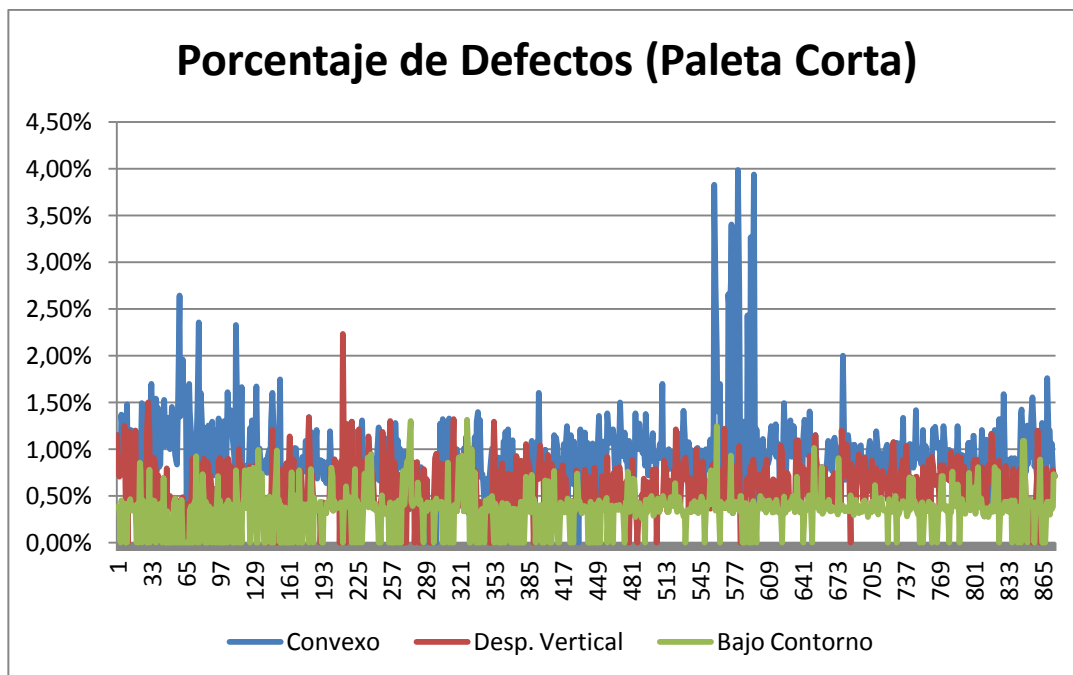


Figura 3.23: Porcentaje de defectos de paleta corta separado por defectos principales en Seleccionadoras.

Fuente: Elaboración propia.

Al igual que para Paleta Larga, pero con una menor diferencia, es el Convexo el que se presenta más, la mayor parte del tiempo.

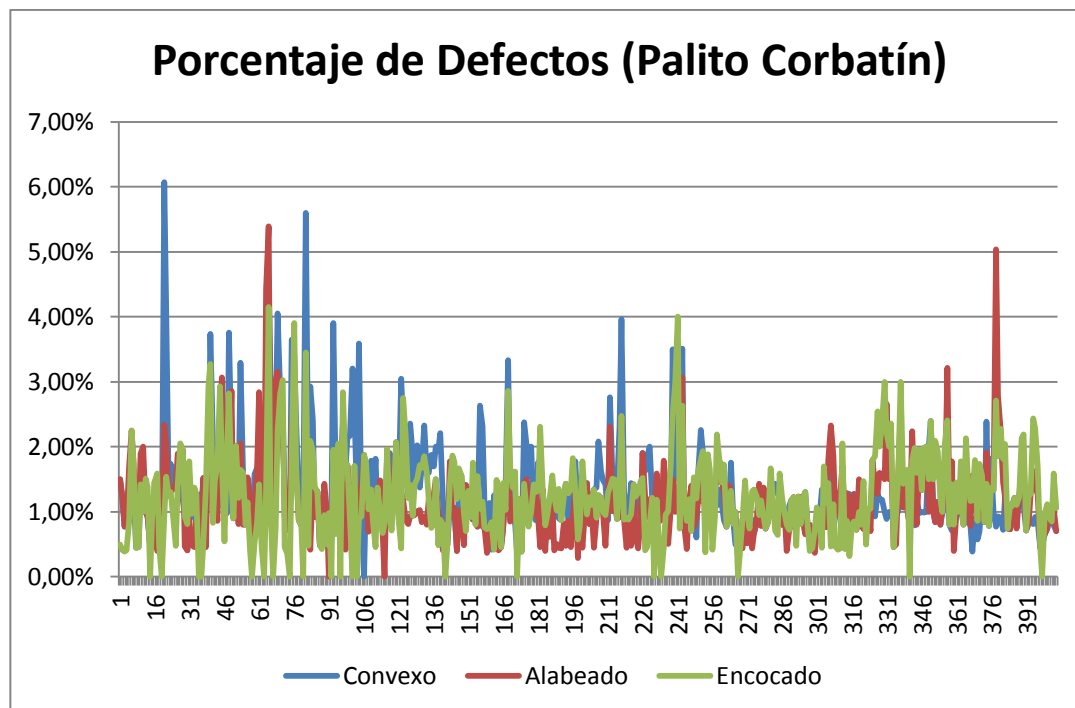


Figura 3.24: Porcentaje de defectos de palito corbatín separado por defectos principales en Seleccionadoras.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de Palito Corbatín, es más equiparada la presencia de los tres tipos de defectos.

3.5.2 Línea Base del Problema en Pulidores.

Como se mostró en la Sección 3.2.3, el verdadero problema se puede apreciar en los Pulidores. Así, se han realizado gráficas que exponen un verdadero desempeño del proceso al presentar todos los defectos que se van generando a lo largo del mismo en el tiempo.

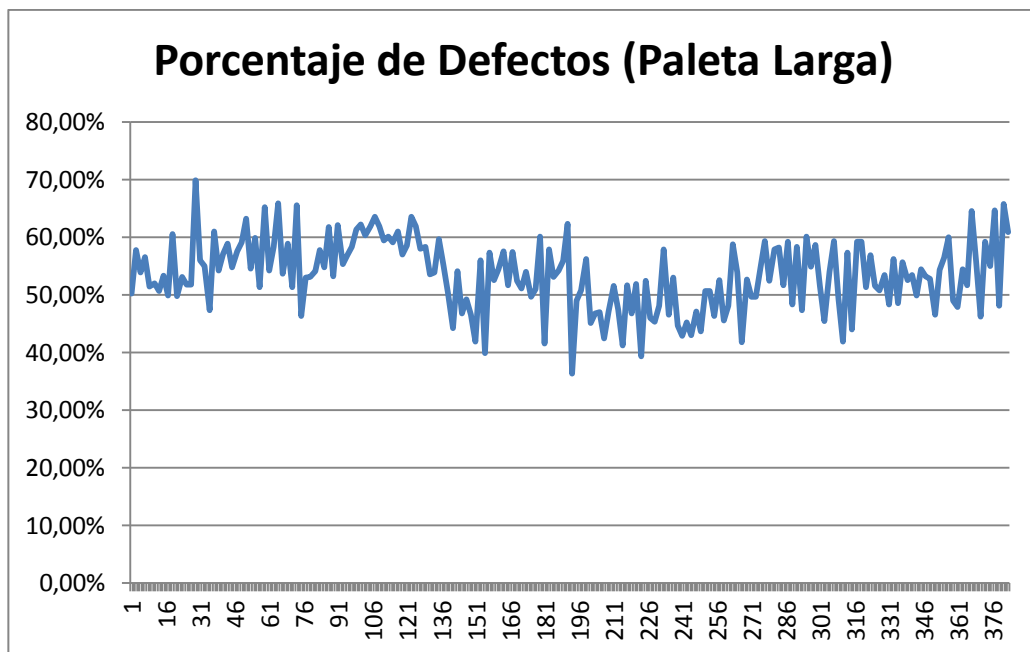


Figura 3.25: Línea base de defectos de paleta larga en Pulidores.
Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se aprecia que el porcentaje de defectos se encuentra alrededor del 50%, exactamente 53.51%. Además, hay varios puntos que llegan a superar el 60%.

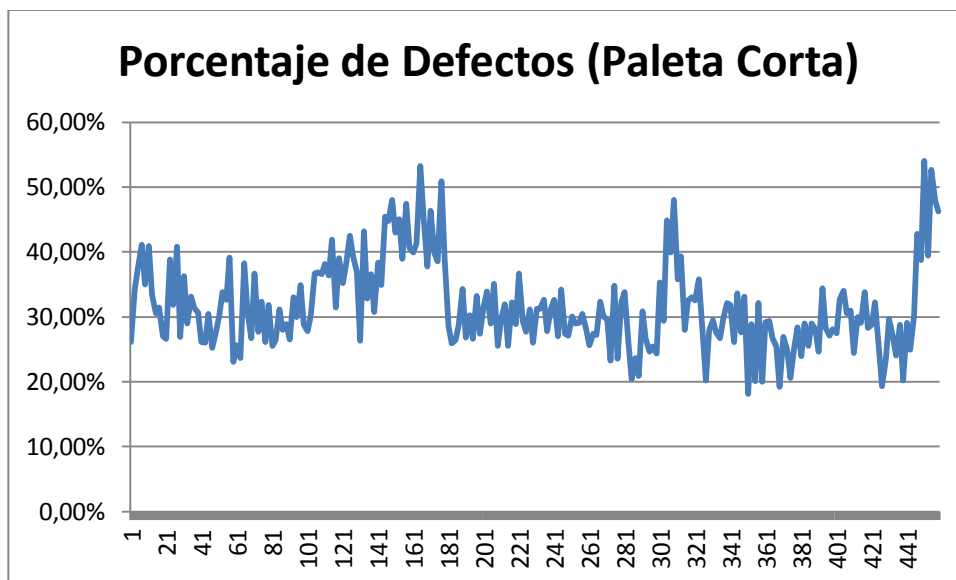


Figura 3.26: Línea base de defectos de paleta corta en Pulidores.
Fuente: Elaboración propia.

En lo que respecta a Paleta Corta, la gráfica muestra que el porcentaje se encuentra superior al 30%, el valor exacto es de 31.69%.

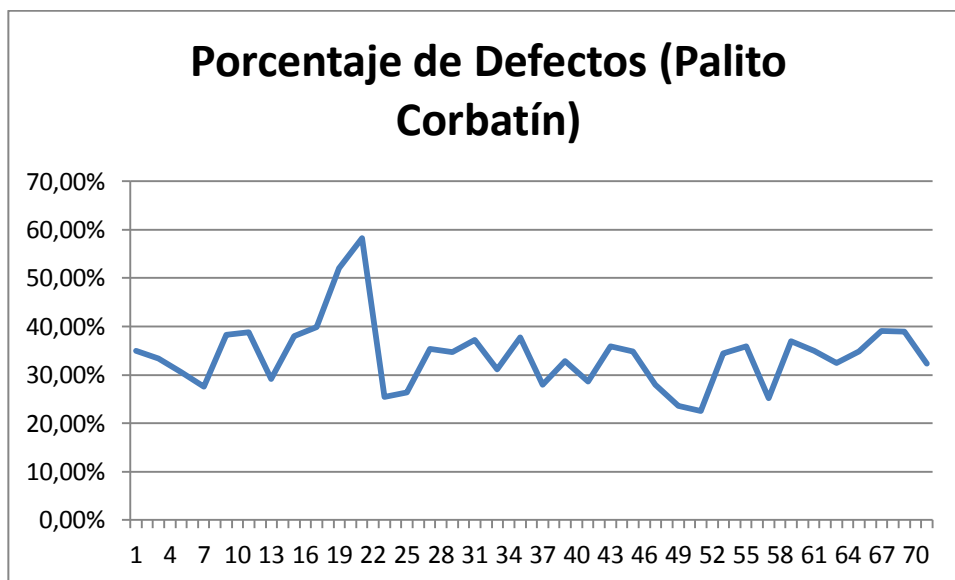


Figura 3.27: Línea base de defectos de palito corbatín en Pulidores.

Fuente: Elaboración propia.

Palito Corbatín muestra un comportamiento parecido a la Paleta Corta al tener un promedio de 34.11%.

Ahora se muestra la línea de los defectos más importantes para cada producto.

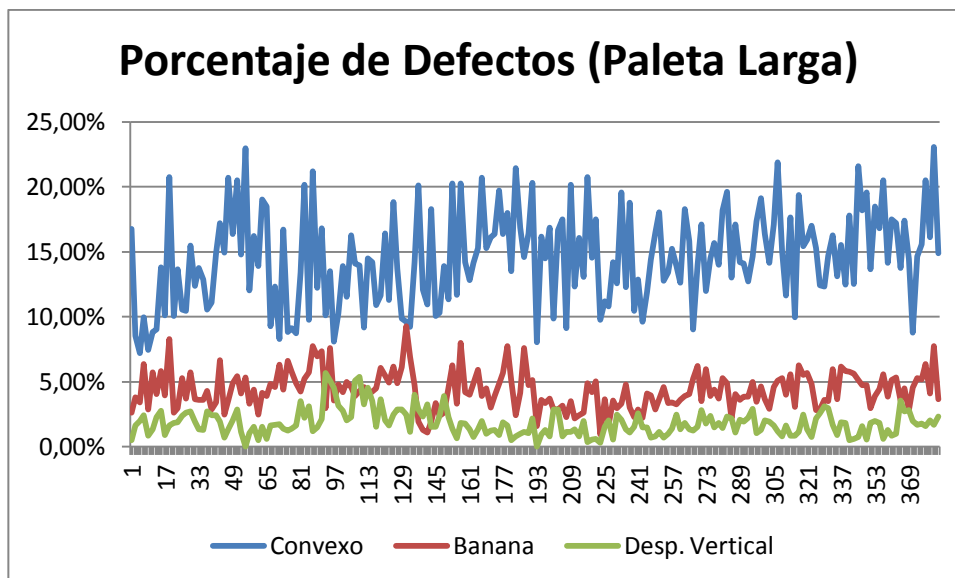


Figura 3.28: Porcentaje de defectos de paleta larga separado por defectos principales en Pulidores.

Fuente: Elaboración propia.

Para el producto Paleta Larga se nota una clara mayoría de Convexo a lo largo del tiempo. Además, Banana también muestra superioridad sobre el Desportillado Vertical.

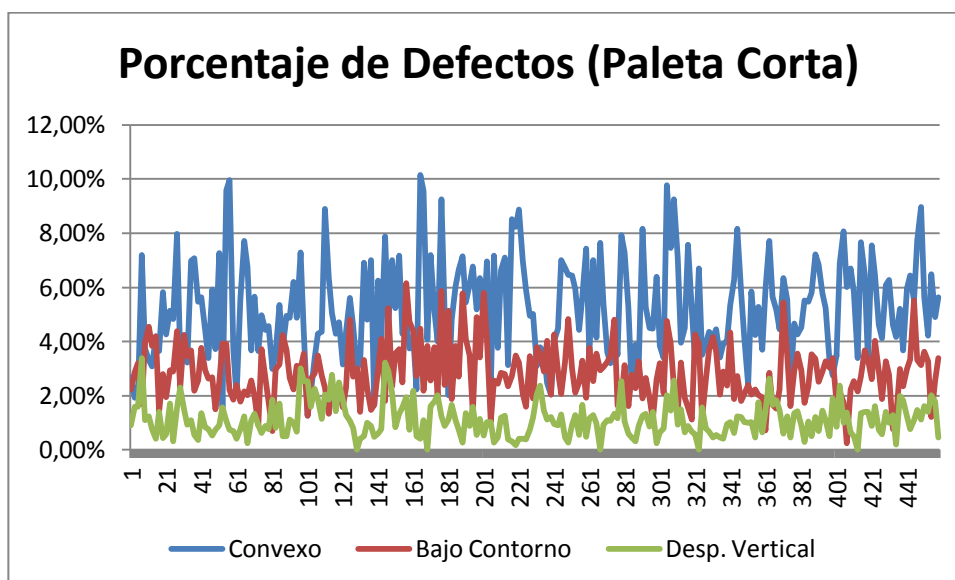


Figura 3.29: Porcentaje de defectos de paleta corta separado por defectos principales en Pulidores.

Fuente: Elaboración propia.

Paleta Corta también presenta una mayoría, aunque no tan marcada como Paleta Larga, del defecto Convexo, seguida por el Bajo Contorno.

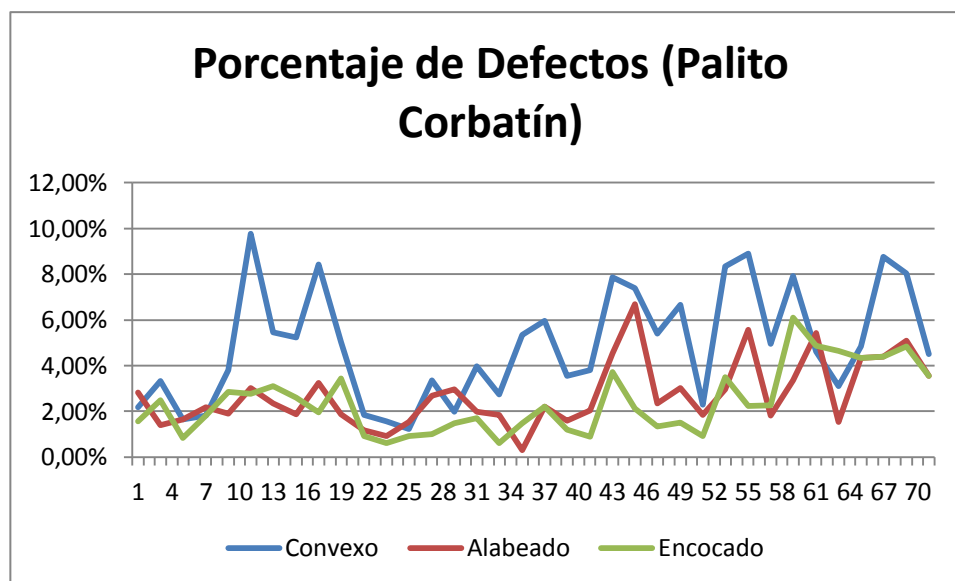


Figura 3.30: Porcentaje de defectos de palito corbatín separado por defectos principales en Pulidores.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para Palito Corbatín, Convexo también supera a los otros defectos, los cuales se mantienen parejos a lo largo del tiempo.

3.6 Identificación del Costo e Impacto del Problema

A nivel de Cliente interno el impacto del problema se encuentra en que se aprovecha solamente alrededor del 70%, para Paleta Corta y Palito Corbatín, y 50%, para Paleta Larga, del producto elaborado. Sin embargo, la Gerencia resaltó la importancia de diferenciar defectos controlables y no controlables, es decir, los que se producen debido a la madera como Nudos y Vetas, y los que se producen durante el proceso. De esta manera, se determinó que los defectos del proceso alcanzan un 42.02% para Paleta Larga, 26.23% para Paleta Corta y 28.95% para Palito Corbatín. Traduciendo estos valores a ventas anuales se obtiene una equivalencia de aproximadamente \$17000 para Paleta Larga,

\$40800 para Paleta Corta y \$10200 para Palito Corbatín, lo que representa aproximadamente \$68000 anuales en pérdidas.

Además de los perjuicios en las ventas, hay presencia de pérdida de tiempo y dinero al momento de realizar los reprocesos (Paleta Larga) en el Área de Selección. Sin embargo, si no se reprocesa, el inconveniente se transmite al Cliente final, pues es más probable que le llegue producto defectuoso. Esto podría repercutir directamente en la imagen de la empresa, presentándose desde quejas, devoluciones e inclusive la pérdida del cliente.

En cuanto a los productos Paleta Corta y Palito Corbatín, donde la materia prima que se utiliza es de mayor calidad, y por lo tanto no se realizan reprocesos, afecta en el desempeño de las máquinas seleccionadoras pues la efectividad de las mismas es más alta cuando el producto es menos defectuoso. Así, mientras más defectuosos deben separar, su funcionamiento decae al incrementarse la probabilidad de que también eliminen elementos buenos.

3.7 Enunciado del Problema

El enunciado del problema toma una mayor claridad y precisión si se contesta las 5W y 1H. A continuación se las detalla:

Tabla 3.3: 5w y 1h

¿Qué/Cuál es el problema?	Generación de defectos a lo largo del proceso productivo, presentándose una alta cantidad de producto defectuoso y desperdicio de materia prima, lo cual representa pérdidas de aproximadamente \$68000 anuales. Además, incrementa la probabilidad de que llegue este tipo de producto al Cliente Final o que se requiera más trabajo para que esto no ocurra.
¿Dónde está el problema?	Los defectos se producen en los Tornos, Secador y Pulidor.
¿Cuándo sucede el problema?	Siempre, principalmente cuando la materia prima (madera) no es buena, es decir, está muy seca, presenta nudos, es roja o tiene fibras cruzadas.
¿Cuánto es el problema?	Son defectuosos 42.02% de los productos finales de Paleta Larga, 26.23% de Paleta Corta y 28.95% de Palito Corbatín.
¿Cómo ocurre el problema?	Los defectos ocurren en los siguientes lugares debido a: <ul style="list-style-type: none"> • Tornos, debido a chapa ondulada o exceso de presión. • Secador, debido a la humedad variable de la madera. • Pulidor, por exceso de pulido.
¿A quién le ocurre el problema?	A todo el proceso.

Fuente: Elaboración propia

De este modo, el enunciado del problema sería el siguiente:

Se ha venido presentando producto defectuoso, en total, alrededor de 42.02% en Paleta Larga, 26.23% en Paleta Corta y 28.95% en Palito Corbatín. De estos porcentajes, en mayor cantidad se encuentran los defectos de Convexidad, Banana y Desportillado Vertical en Paleta Larga; Convexidad, Desportillado Vertical y Bajo Contorno en paleta Corta; y Convexidad, Encocado y Alabeado en el Palito Corbatín. Éstos, ocurren, a lo largo del proceso a los operarios respectivos de cada subproceso: en los Tornos, debido a chapa ondulada o exceso de presión, en el Secador, debido a la humedad variable de la madera y en el Pulidor, por exceso de pulido. Como resultado se obtiene producto defectuoso que

representa pérdidas de aproximadamente \$68000 anuales en ventas y, además, incrementa la probabilidad de que llegue a los clientes y cause su insatisfacción.

3.8 Enunciado de la Meta

Si el proyecto considerara dentro de su alcance (Sección 3.9) todas las fases de la metodología DMAIC, la meta debería ser la siguiente:

“Reducir el porcentaje de producto defectuoso en una tercera parte, es decir, a 28.01% en Paleta Larga, 17.49% en Paleta Corta y 19.3% en Palito Corbatín. Esto hasta el mes de Abril de 2013, lo que ahorrará \$22666.67 anuales en pérdidas de producto para la venta.”

Se considera que la reducción de una tercera parte es representativa para la primera vez y podría marcar el inicio de futuras metas.

Sin embargo, dado que el proyecto sólo abarcará las tres primeras fases de la metodología, la meta debe enmarcarse dentro de las mismas. Por lo tanto, la meta será la siguiente:

“Determinar la causa raíz, o causas raíces, que originan el nivel alto de producto defectuoso en cada subproceso involucrado, de modo que se pueda establecer un Plan de Implementación de las mismas.”

3.9 Alcance

El presente proyecto de tesis abarcará las tres primeras fases de la metodología DMAIC, es decir, Definir, Medir y Analizar. Adicionalmente, se propondrá el plan de implementación de la fase Implementar o Mejorar. Debido a esto, el proyecto estará dividido en *cuatro entregables*, correspondientes a cada fase, los cuales serán entregados a la Champion (Ver Sección 3.11) para su revisión al final de cada una.

En cuanto al análisis del proceso de producción, se hará énfasis en las partes donde se originan los defectos a ser tratados: Tornos, Secador y Pulidor. Sin embargo, no se descuidará las demás áreas pues puede haber factores que influyan en la aparición de los defectos, localizados en otros puntos.

3.10 Plan del Tiempo del Proyecto

La planeación de la duración del proyecto se muestra en el Diagrama de Gantt que se encuentra en el Anexo 7 (Ver Anexo 7: Diagrama de Gantt). En él, se describe la duración de cada actividad a realizarse.

3.11 Equipo de Trabajo y Participantes del Proceso

Durante el proceso de elaboración de palitos de helado, hay varias personas que intervienen en él, siendo las principales las del área de Producción, entre las que figuran los operadores de las diferentes estaciones de trabajo y la Jefa de Producción. Además, las del área de Calidad, contando los Asistentes de Calidad que se encargan de realizar los muestreos y la Jefa de Calidad. Sin embargo, este proyecto como tal no se desarrolla con participación de empleados de la empresa, por lo tanto no se los puede considerar como miembros del equipo de trabajo. De esta manera, considerando como Participantes del Proceso a quienes influyan o tengan cierta participación se los podría detallar de la siguiente forma:

Tabla 3.4: Equipo de trabajo.

NOMBRE	CARGO	PAPEL EN EL PROYECTO
Sandra Silva	Gerente General	Champion
Alexandra Sandoval	Jefe de Producción	Dueño del Proceso
Eugenia Dávila	Jefe de Calidad	Facilitador
Leonidas Legña	Asistente de Calidad	Facilitador
Alexandra Artieda	Asistente de Calidad	Facilitador
Nancy Almachi	Asistente de Calidad	Facilitador
Carmelina Veintimilla	Asistente de Producción	Facilitador
Daniel Villarreal		Green Belt / Líder del Proyecto
Danny Navarrete		Director de Tesis

Fuente: Elaboración propia.

3.12 Plan de Comunicación

El Plan de Comunicación “es uno de los medios a través de los cuales se ejerce el liderazgo del proceso de cambio, y da a los sponsors y otros ejecutivos la posibilidad de transmitir: el porqué del cambio, en qué consiste, en qué beneficiará a la organización y qué efecto tendrá en la gente” (Brojt, 2005, p. 108-109). En el caso de este proyecto, los ejecutivos estarían representados por la Gerente General y el Líder del Proyecto quienes son los que tiene la necesidad de comunicar los aspectos relacionados al cambio.

De acuerdo al PMBOK (Project Management Body of Knowledge), guía para la administración de proyectos desarrollada por el Project Management Institute, para obtener el Plan de Comunicación en primer lugar se debe conocer:

- **Requerimientos de las Comunicaciones:** La comunicación que se requiere entre los miembros de este proyecto se centra en el Líder, quién es el eje entre las

disposiciones del Champion y las acciones del Dueño del proceso y los Facilitadores. De este modo, se considera tanto el tipo como el valor de la comunicación.

- **Tecnología:** Incluye los métodos por medio de los que se transmitirá la comunicación. Para esta tesis, las comunicaciones más importantes son las correspondientes al Líder del proyecto con la Champion. Dado que entre ellos debe circular los entregables y sus resultados, a la mayor brevedad posible, se utilizará correo electrónico y reuniones. Para la comunicación del Líder del Proyecto con la Dueña del Proceso y los Facilitadores se recurrirá a conversaciones o, en caso de necesitarse, pequeñas reuniones.
- **Restricciones:** Las restricciones de este proyecto se encuentran en el acceso a información confidencial de la empresa.
- **Asunciones:** Las asunciones que se hagan, se irán dando a medida avanza el proyecto. Es probable que dadas las restricciones existentes, en algunos casos se tengan que asumir la información a la que no se tiene acceso.

Después de realizar un análisis de estos factores se obtendrá el Plan de Comunicación, el cual debería contener:

- La forma en que se recolectará y guardará la información. Dado que la información más importante es la de la Champion, con quien el Líder se comunica por medio de correos electrónicos, principalmente. Éstos, y las correcciones y cambios realizados, serán almacenados digitalmente por el Líder.
- Una estructura de distribución que incluya a quién llegará la información y en qué forma o método. Cabe recalcar que no siempre toda la información del proyecto debe o puede llegar a todos los miembros del equipo.

- Descripción de la información, que incluye formato, contenido, nivel de detalle y definiciones.
- Calendario o frecuencia de tiempo con la que cada comunicación será entregada. En el caso de los entregables que se enviará a la Champion, no se tiene una frecuencia fija, sino cada vez que se termine una fase.
- Método para ingresar una comunicación fuera de calendario. Dado que el Líder es el único que realiza las comunicaciones, queda a su disposición cualquier cambio, sin un método establecido.
- Método para actualizar el Plan de Comunicación a medida que avance el proyecto. Al ser un proyecto sin muchas comunicaciones por registrarse, al Plan, simplemente, se le irá añadiendo las comunicaciones o información nuevas que se vayan realizando.

(PMI, 1996, p. 105-106)

Así, el Plan de Comunicación sería el siguiente:

Tabla 3.5: Plan de comunicación.

Comunicación	Propósito	Receptor	Autor	Método	Frecuencia
Entregable	Informar a la Champion sobre el progreso del proyecto a medida que se termina un Capítulo o una fase de DMAIC.	Champion	Líder del Proyecto	E-mail	A medida que se termine un capítulo o fase DMAIC.
Correcciones	Establecer correcciones de los entregables y controlar las	Líder del Proyecto	Champion	E-mail Reuniones	Posterior a la entrega de Entregables, dependiendo de

	Restricciones.			la disponibilidad de la Champion	
Asistencias	Solicitar colaboración o información.	Jefe de Proceso Facilitadores	Líder del Proyecto	Oralmente Pequeñas reuniones	A medida que se necesite

Fuente: Elaboración propia.

“Comunicar a todos los que deben recibir comunicaciones, con los mensajes adecuados, a través de los canales adecuados, en el momento adecuado, y por la persona adecuada, contribuye fuertemente a que la gente se informe, entienda, participe y, finalmente, se comprometa con el cambio” (Brojt, 2005, p. 109).

3.13 Análisis de Riesgos

Un Riesgo puede definirse como el “grado estimado de incertidumbre” (Fox & van der Waldt, 2007, p. 96), dado que representa eventos imprevistos; mientras que al manejo de riesgos como “los procesos de identificación, cuantificación, desarrollo de respuesta y control de respuesta utilizados para minimizar consecuencias adversas y maximizar oportunidades positivas” (Fox & van der Waldt, 2007, p. 96). De acuerdo al PMBOK, existen dos tipos de riesgo: los internos, que son los que el equipo del proyecto puede controlar; y los externos, que son los que están fuera del control del equipo (PMI, 1996, p. 111).

Para realizar el Análisis de Riesgos, se debe, en primer lugar, identificar los riesgos y establecer sus causas, a continuación cuantificarlos de acuerdo a su probabilidad de ocurrencia e impacto, para finalmente dar paso a establecer posibles respuestas (PMI, 1996, p. 111).

Una herramienta útil para *identificar los riesgos* es el manejo de información histórica que permita comparar los riesgos de proyectos pasados. Sin embargo, dado que es el primer proyecto Six Sigma realizado en la empresa, y el primero del Líder, es prácticamente imposible poder realizar comparaciones. Por ello, utilizar herramientas como entrevistas, conversaciones y el conocimiento previo de los demás miembros del equipo es elemental para realizar la identificación (PMI, 1996, p. 113-114). Una vez hecho esto, establecer las fuentes o *causas de los riesgos* se trata de categorizarlos de acuerdo a qué puede ocasionarlos (PMI, 1996, p. 114).

Para *cuantificar los riesgos* se puede utilizar una operación matemática sencilla, en la que intervienen la probabilidad de ocurrencia del riesgo y su impacto sobre el proyecto. Simplemente se debe calificar en estos dos aspectos a cada uno de los riesgos identificados sobre una escala, por ejemplo de 10. De esta manera, se obtiene el peso de cada riesgo al multiplicar los dos valores (Fox & van der Waladt, 2007, p. 102).

Finalmente, para *determinar respuestas* se realiza un Plan de Mitigación y un Plan de Contingencia. El primero se encarga de citar acciones a tomarse con el fin de que el riesgo no ocurra o tener criterios que preparen con anticipación en caso de que sea inevitable que ocurra, mientras que el segundo contiene las acciones a tomarse una vez que el riesgo ha sucedido.

A continuación se muestra el análisis de los posibles riesgos encontrados:

Tabla 3.6: Análisis de riesgos

Riesgo	Causa	Cuantificación			Respuesta	
		Probabilidad	Impacto	Peso	Plan de Mitigación	Plan de Contingencia
Falta de acceso a información requerida	Información Confidencial de la Empresa.	7	10	70	Comunicarse previamente con la Champion para tratar de determinar la información a requerirse y obtener la aprobación de su uso.	Determinar con la Champion alternativas para utilizar la información a la que no se tuvo acceso.
Viaje de la Champion	Visitas a Clientes. Viajes de negocios.	3	2	6	Determinar previamente las fechas de viaje de la Champion durante el tiempo previsto para el Proyecto.	Mantener el contacto vía e-mail y tratar de manejar al menos la información más importante, dejando lo demás para tratar a su regreso.
Falta de Madera	Problemas con Proveedores. Mal clima.	4	9	36	Determinar previamente las entregas de materia prima que ya se tengan previstas. También, mantener contacto constante con el encargado de compra de madera.	Utilizar materia prima de reserva. En caso de que ésta ya no esté disponible, consultar sobre acciones tomadas por la empresa para reabastecerse.

Recolección de datos errónea	Comunicación Deficiente.	3	9	27	Dado que la Empresa trabaja veinte y cuatro horas de lunes a viernes, las muestras serán tomadas por los Facilitadores. Por ello, es importante explicarles detalladamente la forma de hacerlo para que no haya inconvenientes.	Analizar el error y dar una nueva explicación. Intentar tomar una nueva muestra que suplante la errónea.
No elaboración de producto necesario	Ausencia de pedidos del producto requerido.	6	10	60	Consultar con anticipación el Plan de Producción que maneja la Jefe de Producción (Dueña del Proceso).	Tratar de arreglar la posibilidad de procesar el producto del problema por fuera del Plan de Producción para tomar las muestras.
Mayor duración del proyecto a la estimada	Mala planificación del Tiempo.	5	8	40	Elaborar el Diagrama de Gantt lo más detallado posible. Ajustarse lo más posible al Diagrama de Gantt.	Actualizar constantemente el Diagrama de Gantt para determinar acciones que permitan reducir tiempos de otras Actividades.
Paro de la	Falta de	2	10	20	Determinar las Actividades que no deben ser	Realizar las Actividades

Planta	Electricidad. Daño inesperado de máquinas. Problemas con el Personal.	realizadas en la Planta.	determinadas en el Plan de Mitigación para que el proyecto no se detenga.
---------------	---	--------------------------	---

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 4: FASE MEDIR

4.1 Introducción: Objetivos y Entregables

Antes de empezar la nueva fase del proyecto, es importante conocer sus objetivos y entregables, con la finalidad de que las mediciones que se van a realizar para evaluar el desempeño del proceso sean las apropiadas.

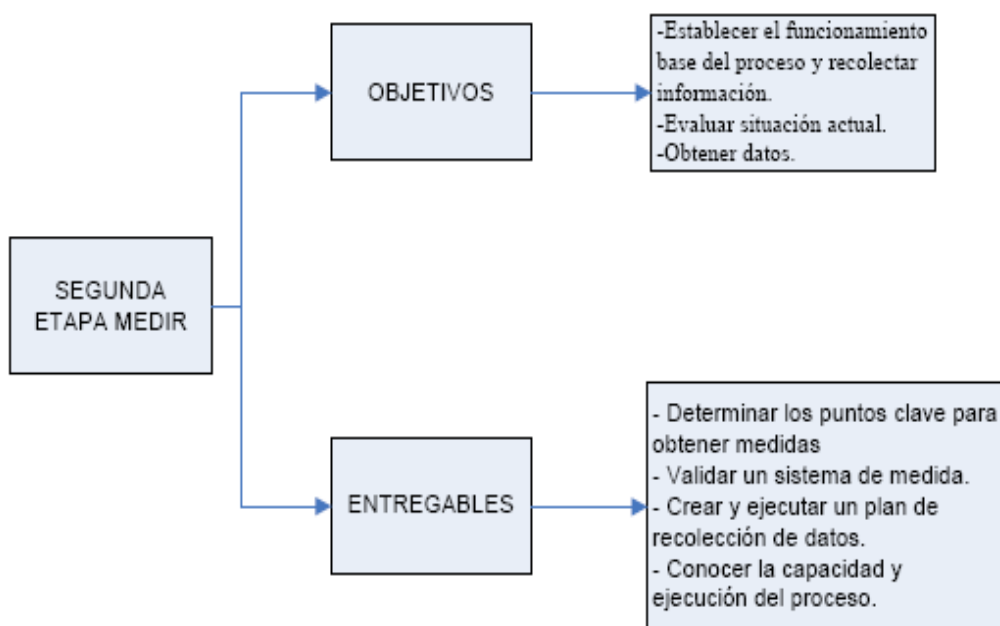


Figura 4.1: Objetivos y entregables de la fase Medir.

4.2 Puntos Clave para Obtener Medidas

Los puntos principales para obtener medidas son los subprocesos donde se originan los defectos. Éstos fueron ya identificados en la Sección 3.4, por lo que a continuación se detallan las mediciones que se realizarán en cada subproceso.

Cabe recalcar que se consultó el plan de producción de la empresa y el producto Palito Corbatín no se elaborará en los próximos meses. Consultando el plan de riesgos presentado en la Sección 3.11, en la Tabla 3.5, en caso de que este problema se presentara se consultaría la posibilidad de elaborar el producto con el fin exclusivo de tomar mediciones para el estudio. Sin embargo, esto no pudo conseguirse al no ser viable,

además de que la cantidad de muestras puede ser alta y tomaría tiempo y recursos que no pueden ser desperdiciados en el trabajo de Festa. Por lo tanto, se descartará a Palito Corbatín del presente estudio, para proseguir con Paleta Larga y Paleta Corta.

Tabla 4.1: Mediciones identificadas.

SUBPROCESO	PRODUCTO	DEFECTO	MEDICIÓN
Tornos	Paleta Larga	Convexidad	Número de Chapas Onduladas
		Banana	Número de Chapas Torcidas
	Paleta Corta	Convexidad	Número de Chapas Onduladas
	Secadores	Paleta Larga	Convexidad
Secadores	Paleta Larga	Banana	Banana (mm)
		Paleta Corta	Convexidad
	Paleta Corta	Bajo Contorno	Ancho (mm)
		Pulidores	Paleta Larga
Pulidores	Paleta Larga	Convexidad	Convexidad (mm)
		Paleta Corta	Desportillado Vertical
	Paleta Corta	Bajo Contorno	Ancho (mm)
		Convexidad	Convexidad (mm)

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Plan de Recolección de Datos

Para que los datos a recolectarse sean útiles, deben planearse y detallarse de manera muy clara y específica todas las variables que influyan al momento de realizar las mediciones. Penelope Przekop señala que este plan “se centra en identificar y medir la calidad y el cumplimiento de los entregables clave” (Przekop, 2006, p. 88). Además cita que un buen Plan de Recolección de Datos contiene:

- Qué se va a medir y la fuente de los datos.
- Definiciones Operacionales.
- Proceso de Recolección de Datos.
- Plan de Muestreo.
- Formularios u Hojas Electrónicas para Recolección de Datos.
- Explicación de cómo se analizarán los datos recolectados.

(Przekop, 2006, p. 89)

Tomando en cuenta estas consideraciones, el Plan contendrá lo siguiente:

- **Responsable:** Se debe determinar quién va a recoger las muestras y también quién va a realizar las mediciones. Considerando que la fábrica trabaja las 24 horas del día de lunes a viernes y un turno los sábados, y que las muestras serán tomadas en varios subprocesos, éstas serán recogidas por distintas personas (Facilitadores). De igual forma, las mediciones serán realizadas por el Líder del Proyecto pues los Facilitadores no pueden interrumpir sus funciones por tiempos prolongados.
- **Fecha:** Debe planificarse la fecha en que serán tomadas las muestras de modo que se mantenga un control en el tiempo y no haya confusiones.
- **Tipo de Medida:** Como indica Przekop (2006) “Hay dos tipos de datos que se puede necesitar recolectar: continuos y discretos” (p. 89). Ella mismo

define y ejemplifica a los datos continuos como “las cosas que pueden ser medidas en una escala como el tiempo, altura, temperatura y dinero” (p. 89), y a los discretos como “información que puede ser categorizada, como el tipo de autos, tipos de comida o niveles de satisfacción” (p. 89). De igual manera, otra categorización puede ser defectuoso o no. En el caso de esta tesis, hay defectos tanto para mediciones continuas como discretas.

- **Unidades:** Una vez que se ha elegido el tipo de medida se debe determinar las unidades en que éstas serán registradas. Para el presente caso podría mencionarse milímetros o cantidad de defectuosos.
- **Plan de Recolección:** Es importante especificar si los datos a utilizarse serán tomados de registros históricos o si se realizarán nuevas mediciones. En este caso todos se obtendrán a partir de mediciones nuevas.
- **Método de Medición:** Son las instrucciones que presentan los pasos a realizar al momento de tomar las mediciones. Cada defecto tiene un método distinto de medición.
- **Tamaño de la Muestra:** Se refiere a la cantidad de unidades que deben medirse y registrarse en cada muestra. En la Sección 4.3.1 se presentan los cálculos para el tamaño de la muestra en cada subproceso.
- **Frecuencia:** Se refiere a los intervalos de tiempo entre los que se recolectarán las muestras. En la Sección 4.3.2 se explicará la frecuencia elegida para cada subproceso.
- **Herramientas:** Son los instrumentos con los que se realizarán las mediciones.

Los Planes de Recolección de Datos para cada subproceso se encuentran expuestos en el Anexo 8 (Ver Anexo 8: Planes de Recolección de Datos).

4.3.1 Tamaño de la Muestra.

Como ya se mencionó en la Sección 4.2, referido en la Tabla 4.1, se realizarán mediciones en los Tornos, Secadores y Pulidores. Los datos deben recolectarse por muestras, que son cantidades más pequeñas de producto respecto al total que se procesa, y que a la vez deben ser representativas del mismo.

Para el cálculo del tamaño de las muestras se utilizará la fórmula para proporciones:

Ecuación 4.1: Tamaño de muestra para proporciones.

Donde,

n = Tamaño de la Muestra

α = Nivel de Confianza. El porcentaje de confianza que se desea tener es de $1 - \alpha$

$z_{\alpha/2}$ = Valor de la Distribución Normal Estándar para una probabilidad de $\alpha/2$

p = Proporción

E = Precisión o margen de error deseado.

(Anderson & Sweeney, 2008, p. 321) (Montgomery, 2007, p. 353)

Montgomery (2007) en su libro Probabilidad y Estadística Aplicadas a la Ingeniería, menciona que para utilizar esta fórmula se necesita una estimación de p , la cual se expresa como \hat{p} . Así, tanto en las Seleccionadoras, Pulidores y Tornos se utilizarán datos históricos (los mismo utilizados en el Capítulo 3 para Seleccionadoras y Pulidores). Sin embargo, al no existir un control completo en los Secadores, no se tiene información sobre el mismo. Cuando sucede esto, Montgomery (2007) sugiere que “puede tomarse una muestra preliminar, calcular \hat{p} y después usar la ecuación para determinar cuántas

observaciones adicionales se requieren para estimar p con la precisión deseada.” (p. 353).

A continuación se presentan los cálculos para cada subproceso:

4.3.1.1 Tamaño de las Muestras en Pulidores.

- **Paleta Larga:**

Aproximando el valor al inmediato superior, se obtiene un tamaño de muestra de 96 palitos, que para mayor facilidad se redondeará a 100. Los valores se obtuvieron de la siguiente manera:

$\alpha = 0.05$, ya que se tomó un Porcentaje de Confianza del 95%.

$z_{\alpha/2} = 1.96$, pues es el valor de la Distribución Normal Estándar para una probabilidad de $\alpha/2 = 0.025$.

$p = 0.5351$, representa la proporción promedio de producto defectuoso obtenida al calcular el promedio de los datos históricos.

$E = 0.1$, es decir, 10% pues la proporción promedio es alta (53.51%) y la variabilidad también es alta con un Rango (Valor máximo – Valor mínimo) de 33.48% entre 36.36% y 69.84%.

- **Paleta Corta:**

Aproximando el valor al inmediato superior, se obtiene un tamaño de muestra de 130 palitos. Los valores se obtuvieron de la siguiente manera:

$\alpha = 0.05$, ya que se tomó un Porcentaje de Confianza del 95%.

$z_{\alpha/2} = 1.96$, pues es el valor de la Distribución Normal Estándar para una probabilidad de $\alpha/2 = 0.025$.

$p = 0.3169$, representa la proporción promedio de producto defectuoso obtenida al calcular el promedio de los datos históricos.

$E = 0.08$, es decir, 8% pues la proporción promedio es más baja y la variabilidad es similar con un Rango (Valor máximo – Valor mínimo) de 35.94% entre 18.09% y 54.03%.

4.3.1.2 Tamaño de las Muestras en Secadores.

Tomando lo mencionado previamente en la sección 4.3.1, el tamaño de la muestra en los Secadores será calculado en base a una muestra que servirá como base para conseguir la proporción. Se tomó una de 130 unidades para Paleta Larga y una de 120 unidades para Paleta Corta, aleatoriamente a distintas horas del día. Una vez hecho esto, se procedió a obtener el tamaño de las muestras de la siguiente manera:

- **Paleta Larga:**

Aproximando el valor al inmediato superior, se obtiene un tamaño de muestra de 143 palitos, que para mayor facilidad se redondeará a 145. Los valores se obtuvieron de la siguiente manera:

$\alpha = 0.05$, ya que se tomó un Porcentaje de Confianza del 95%.

$z_{\alpha/2} = 1.96$, pues es el valor de la Distribución Normal Estándar para una probabilidad de $\alpha/2 = 0.025$.

$p = 0.3846$, representa la proporción promedio de producto defectuoso obtenida de la muestra tomada.

$E = 0.08$, es decir, 8% pues la proporción promedio es alta al estar cerca del 50%.

- **Paleta Corta:**

Aproximando el valor al inmediato superior, se obtiene un tamaño de muestra de 144 palitos, el cual se redondeará a 145 para mayor facilidad. Los valores se obtuvieron de la siguiente manera:

$\alpha = 0.05$, ya que se tomó un Porcentaje de Confianza del 95%.

$z_{\alpha/2} = 1.96$, pues es el valor de la Distribución Normal Estándar para una probabilidad de $\alpha/2 = 0.025$.

$p = 0.3169$, representa la proporción promedio de producto defectuoso obtenida de la muestra tomada.

$E = 0.07$, es decir, 7% utilizando la lógica explicada en la Paleta Larga pero considerando que la proporción promedio es más baja.

4.3.1.3 Tamaño de las Muestras en Tornos.

Haciendo un cálculo con la Fórmula 4.1 en base a datos históricos tomados en los Tornos, el tamaño de la muestra sería el siguiente:

Aproximando el valor al inmediato superior, se obtiene un tamaño de muestra de 150 chapas. Los valores se obtuvieron de la siguiente manera:

$\alpha = 0.05$, ya que se tomó un Porcentaje de Confianza del 95%.

$z_{\alpha/2} = 1.96$, pues es el valor de la Distribución Normal Estándar para una probabilidad de $\alpha/2 = 0.025$.

$p = 0.4772$, representa la proporción promedio de defectos obtenida al calcular el promedio de seis tornos.

$E = 0.08$, es decir, 8% pues la variabilidad lo permite, ésta está dada por el Rango (Valor máximo – Valor mínimo) entre los seis Tornos de 20.89% entre 36.65% y 57.54%.

Sin embargo, se conoce que la cantidad máxima de troncos cortados para encajar en los Tornos (conocidos como trozas), que se puede procesar es de aproximadamente 30 o 40 por hora. Por lo que el tamaño máximo de muestra que se podría tomar, considerando una capacidad de 30 por hora, para los seis tornos, es de 5 trozas por hora. Así, se ha decidido tomar dos muestras diarias, cada una de tamaño 15.

4.3.2 Frecuencia.

Montgomery (2007) recalca que uno de los factores más importantes a considerar, cuando se debe decidir sobre la frecuencia, es la velocidad de producción (p. 224). Dado que la velocidad de Festa es alta (varios miles de palitos diarios), los muestreos deben realizarse frecuentemente. Además, la cantidad de muestras que se tomen debe constituir un espacio de tiempo que represente el estado y funcionamiento del proceso. Considerando estos puntos se ha decidido tomar:

- Pulidores: dos muestras diarias: una en la mañana y una en la tarde, fraccionadas cada dos horas para darle una mayor aleatoriedad a las

muestras y permitir que todas las muestras de todos los subprocesos puedan ser recolectadas.

- Secadores: dos muestras diarias: una en la mañana y una en la tarde, fraccionadas de igual forma que en los Pulidores.
- Tornos: dos muestras diarias, repartidas a cada hora, como se muestra en las tablas 4.2 y 4.3, sin considerar las 11:00 pues alrededor de esa hora los operadores tienen un refrigerio y se deja de operar o se provee de un reemplazo temporal. Cabe recalcar que en los Tornos no hay diferencia en el material para Paleta Larga o Paleta Corta, por lo que en las tablas siguientes se presentan los mismos datos.

En la siguiente tabla se muestra cómo va a estar distribuida la frecuencia de muestreo:

Tabla 4.2: Frecuencia de muestreo para paleta larga.

Pulidores		Secadores		Tornos	
Hora	Cantidad	Hora	Cantidad	Hora	Cantidad
8:00	30	8:00	50	8:00	5
10:00	30	10:00	50	9:00	5
12:00	40	12:00	45	10:00	5
14:00	30	14:00	50	12:00	5
16:00	30	16:00	50	13:00	5
18:00	40	18:00	45	14:00	5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.3: Frecuencia de muestreo para paleta corta.

Pulidores		Secadores		Tornos	
Hora	Cantidad	Hora	Cantidad	Hora	Cantidad
8:00	40	8:00	50	8:00	5
10:00	40	10:00	50	9:00	5
12:00	50	12:00	45	10:00	5
14:00	40	14:00	50	12:00	5
16:00	40	16:00	50	13:00	5
18:00	50	18:00	45	14:00	5

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Hoja de Recolección de Datos.

Con el fin de que la información que se reúna se mantenga organizada y la recolección se haga de manera ordenada es importante utilizar formatos. De acuerdo con Przekop (2006), estas hojas “deben capturar los datos apropiados y ser fáciles de usar” (p. 90). Además, recomienda usar hojas de cálculo electrónicas, pues es más eficiente el análisis de los datos que si se recogieran en hojas impresas y posteriormente se reescribieran en las electrónicas (Przekop, 2006, p. 90). Por lo tanto, las hojas electrónicas en las que se recogerán los datos en cada subproceso se muestran en el Anexo 9 (Ver Anexo 9: Hojas de Recolección de Datos)

4.4 Validación del Sistema de Medición

Con el fin de establecer si las mediciones que se tomen son las correctas, se validará el sistema de medición. Como menciona Montgomery (2007), en cualquier

problema en que se realicen mediciones, la variabilidad total viene dada tanto por la del producto como la del instrumento, como muestra la ecuación siguiente:

Ecuación 4.2: Variabilidad total

(p. 377).

Por lo tanto, es importante determinar la magnitud del impacto que genera el error que se produce al realizar las mediciones. Para esto se debe separar a la variabilidad del instrumento en dos componentes: repetibilidad y reproductibilidad (Estudio de R&R) (Montgomery, 2007, p. 380). Dado que en este caso las mediciones serán realizadas por una sola persona, la reproductibilidad no se encuentra presente. Por lo tanto, se realizará solamente el análisis a la repetibilidad.

Para ello se tomarán mediciones de cada defecto equivalentes a una muestra de cada producto en cada subprocesso y serán realizadas dos veces, de modo que se pueda comparar la diferencia entre ellas.

4.4.1 Tornos

Se tomará una muestra de cada uno de los tornos 2, 3, 4, 5 y 7, que están operando actualmente. Considerando que cada muestra de tamaño 15 está compuesta por tres grupos de tamaño 5 (diferente hora), se separará cada uno de estos grupos y se registrará la cantidad de chapas Onduladas y Torcidas que se presenten. De este modo, en total se conseguirán 15 datos (3 en cada torno). En el Anexo 10 se muestra el proceso completo (Ver Anexo 10: Validación del Sistema de Medición).

Como se aprecia en el Anexo, el rango promedio, es decir, la diferencia que existió entre las dos mediciones es cero. Por lo tanto, no hay un error de medición que agregue variabilidad a los datos.

4.4.2 Secador

Se tomará una muestra para cada tipo de palito en el Secador 2, que es el único que está procesando los productos Paleta Larga y Paleta Corta. De ellas se realizarán 145 mediciones (tamaño de la muestra) para cada defecto (referirse a la Tabla 4.1 en la Sección 4.2). El análisis se encuentra en el Anexo 10 (Ver Anexo 10: Validación del Sistema de Medición).

El rango promedio por producto y defecto es el siguiente:

Tabla 4.4: Rango promedio por producto y defecto en Secador.

	Paleta Larga	Paleta Corta
Convexidad	0.022	0.021
Banana	0.026	-
Bajo Contorno	-	0.007

Fuente: Elaboración propia.

Así, se calcula la variabilidad para cada caso con la fórmula:

Ecuación 4.3: Sigma de repetibilidad.

—

Donde el valor de d_2 se encuentra tabulado de acuerdo al número de muestras, y en este caso, dado que se realizó una comparación entre dos muestras, se utiliza el valor 1.128 (Montgomery, 381). Conociendo esto, el valor de sigma para cada caso estaría dado de la manera que se muestra a continuación:

Tabla 4.5: Sigma de repetibilidad por producto y defecto en Secador.

	Paleta Larga	Paleta Corta
Convexidad	0.019	0.019
Banana	0.023	-
Bajo Contorno	-	0.006

Fuente: Elaboración propia.

A partir de estos valores se calcula el sigma del instrumento:

Ecuación 4.4: Sigma del instrumento

Dado que la varianza de reproductibilidad no existe debido a que solamente una persona realizó las mediciones, la varianza del instrumento es igual a la de repetibilidad. Al aplicar la raíz cuadrada, se obtiene el sigma o desviación estándar. De igual forma, se presentan los valores en una tabla.

Tabla 4.6: Sigma de instrumento por producto y defecto en Pulidores.

	Paleta Larga	Paleta Corta
Convexidad	0.019	0.019
Banana	0.023	-
Bajo Contorno	-	0.006

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se calcula el cociente P/T (Precisión/Tolerancia), definido como:

Ecuación 4.5: Cociente P/T

— —————

Sin embargo, en estos casos, los límites son unilaterales, lo que impide el cálculo de la Tolerancia. Además, no hay un método formal para la resolución de estos casos. Sin embargo, las especificaciones faltantes serán reemplazadas por el valor mínimo que pueden alcanzar los palitos. Estas son: 2.1 mm para Convexidad (espesor mínimo), 9.2 mm para Banana (ancho mínimo) y 10.2 mm para Bajo Contorno (ancho máximo).

Así los cocientes son los siguientes:

Tabla 4.7: Cocientes P/T por producto y defecto en Secador.

	Paleta Larga	Paleta Corta
Convexidad	0.104	0.103
Banana	0.092	-
Bajo Contorno	-	0.036

Fuente: Elaboración propia.

Según Montgomery (2007), el cociente P/T debe ser ≤ 0.1 (p. 382). De esta manera, solamente las mediciones correspondientes de la Convexidad presentan un cociente P/T ligeramente por encima de 0.1. Sin embargo, no es muy alto, por lo que se lo considerará aceptable, tomando en cuenta, además, que a medida que se realicen más mediciones la variabilidad disminuirá debido a la práctica.

4.4.3 Pulidores

Se tomará una muestra del Pulidor 1 para Paleta Larga y una del Pulidor 7 para Paleta Corta, que son los que procesan estos productos. Las muestras serán de tamaño 100 para Paleta Larga y 130 para Paleta Corta como se muestra en la Sección 4.3.1. El análisis se encuentra en el Anexo 10 (Ver Anexo 10: Validación del Sistema de Medición).

El rango promedio por producto y defecto es el siguiente:

Tabla 4.8: Rango promedio por producto y defecto en Pulidores.

	Paleta Larga	Paleta Corta
Convexidad	0.0225	0.019
Bajo Contorno	-	0.002
Desportillado Vertical	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Así, se calcula la variabilidad para cada caso con la fórmula:

Ecuación 4.3: Sigma de repetibilidad.

—

Donde el valor de d_2 se encuentra tabulado de acuerdo al número de muestras, y en este caso, dado que se realizó una comparación entre dos muestras, se utiliza el valor 1.128 (Montgomery, 381). Conociendo esto, el valor de sigma para cada caso estaría dado de la manera que se muestra a continuación:

Tabla 4.9: Sigma de repetibilidad por producto y defecto en Pulidores.

	Paleta Larga	Paleta Corta
Convexidad	0.02	0.017
Bajo Contorno	-	0.002
Desportillado Vertical	0	0

Fuente: Elaboración propia.

A partir de estos valores se calcula el sigma del instrumento:

Ecuación 4.4: Sigma del instrumento.

Dado que la varianza de reproductibilidad no existe debido a que solamente una persona realizó las mediciones, la varianza del instrumento es igual a la de repetibilidad. Al aplicar la raíz cuadrada, se obtiene el sigma o desviación estándar. De igual forma, se presentan los valores en una tabla.

Tabla 4.10: Sigma de instrumento por producto y defecto en Pulidores.

	Paleta Larga	Paleta Corta
Convexidad	0.02	0.017
Bajo Contorno	-	0.002
Desportillado Vertical	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se calcula el cociente P/T, definido como:

Ecuación 4.5: Cociente P/T

Sin embargo, en estos casos, los límites son unilaterales, lo que impide el cálculo de la Tolerancia. Además, no hay un método formal para la resolución de estos casos. Sin embargo, las especificaciones faltantes serán reemplazadas por el valor mínimo que pueden alcanzar los palitos. Estas son: 1.9 mm para Convexidad (espesor mínimo) y 10 mm para Bajo Contorno (ancho máximo).

Así los cocientes son los siguientes:

Tabla 4.11: Cocientes P/T por producto y defecto de Pulidores

	Paleta Larga	Paleta Corta
Convexidad	0.109	0.092
Bajo Contorno	-	0.012
Desportillado Vertical	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Según Montgomery (2007), el cociente P/T debe ser ≤ 0.1 (p. 382). De esta manera, solamente las mediciones provenientes de la Convexidad de Paleta Larga presentan un cociente P/T ligeramente por encima de 0.1. Sin embargo, no es muy alto, por lo que se lo considerará aceptable, tomando en cuenta, además, que a medida que se realicen más mediciones la variabilidad disminuirá debido a la práctica.

4.5 Variación del Proceso

Para determinar la variación del proceso es importante utilizar una herramienta que la describa con claridad. Para ello, una de las herramientas más importantes son las gráficas, o cartas, de control, las cuales Montgomery (2007), en su libro Control Estadístico de la Calidad, las define como “una técnica de monitoreo del proceso muy útil; cuando están presentes fuentes inusuales de variabilidad, los promedios muestrales graficados se localizarán fuera de los límites de control [...] El uso sistemático de una carta de control es una excelente manera de reducir la variabilidad.” (p. 13)

4.5.1 Variabilidad en Tornos.

Dado que los defectos que se analizan en los Tornos (chapa Ondulada y Torcida) no son cuantificables se utilizaron *Cartas de Control np*, las cuales muestran la cantidad de chapas defectuosas halladas en cada muestra de tamaño 15 (Referirse a la Sección 4.3.1.3). El análisis se realizó en los tornos 2, 3, 4, 5 y 7, los demás no operaron en las fechas establecidas para el muestreo.

Se tomaron alrededor de 30 muestras para cada defecto, pues como menciona Montgomery (2007) en su libro Control Estadístico de la Calidad, “[...] El procedimiento usual es seleccionar m muestras preliminares, cada una de tamaño n . Como regla general, m deberá ser 20 o 25.” (p. 286). Sin embargo, el tomar una cantidad mayor no es perjudicial e incluso puede dar una mejor percepción del trabajo del proceso.

4.5.1.1 Torno 2.

En el Torno 2 se analizaron 31 muestras, para cada defecto. A continuación se muestran las gráficas de control de cada uno:

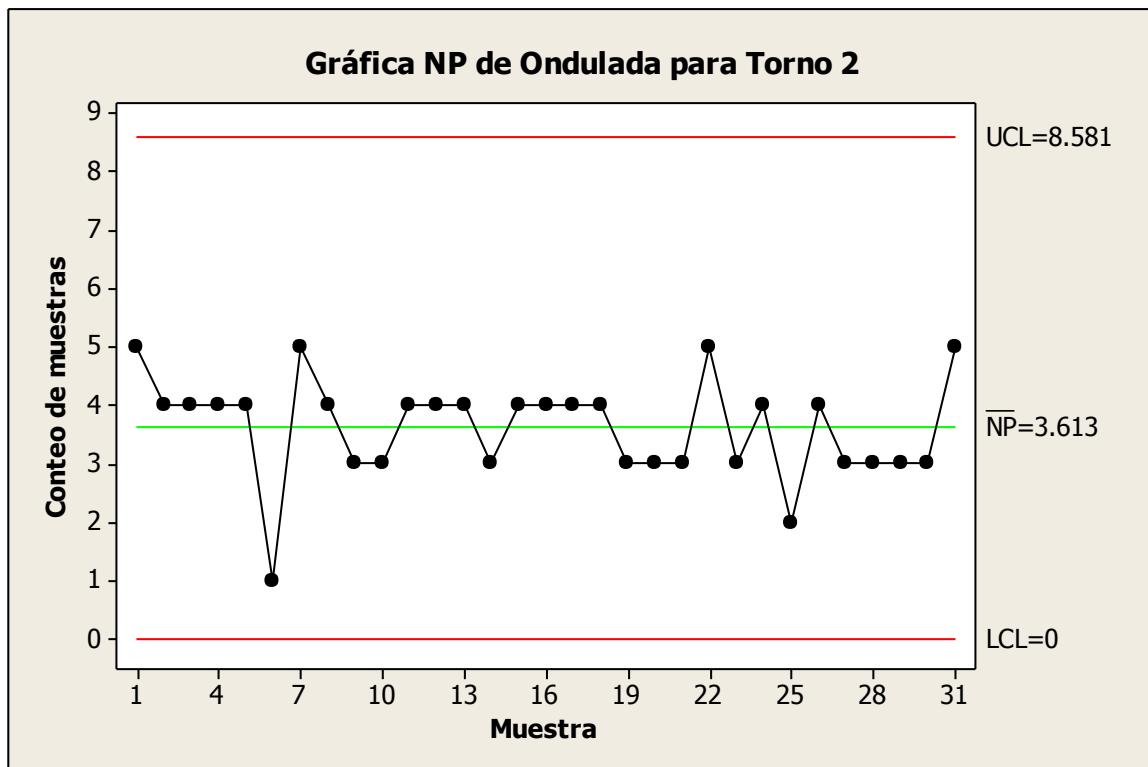


Figura 4.2: Carta np de Ondulada para Torno 2.

Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia que los datos tomados se encuentran dentro de los límites de control y presentan aleatoriedad.

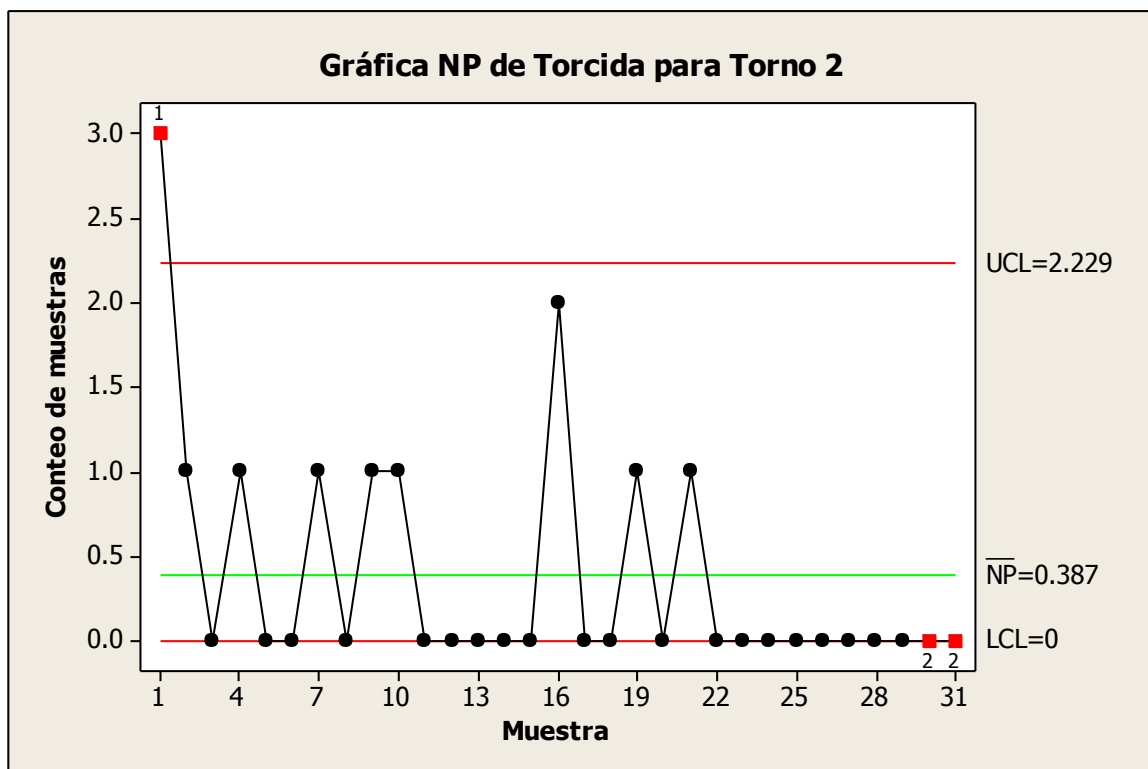


Figura 4.3: Carta np de Torcida para Torno 2.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la chapa torcida, la gráfica marca dos problemas: el primer punto se encuentra fuera del Límite de Control Superior y a partir del punto 22, existen más de ocho puntos debajo de la Línea Central. Investigando sobre las causas que pudieran haber ocasionado el valor del primer punto, se determinó que la materia prima tenía muchos Nudos, y por lo tanto la chapa se torció. En cuanto a los últimos puntos no se encontró una causa, sin embargo, se puede apreciar que se encuentran en un valor de cero, lo que quiere decir que la materia prima fue buena y el proceso se está operando correctamente.

4.5.1.2 Torno 3.

En cuanto al Torno 3 se consiguieron 30 muestras, cuyas gráficas se muestran a continuación:

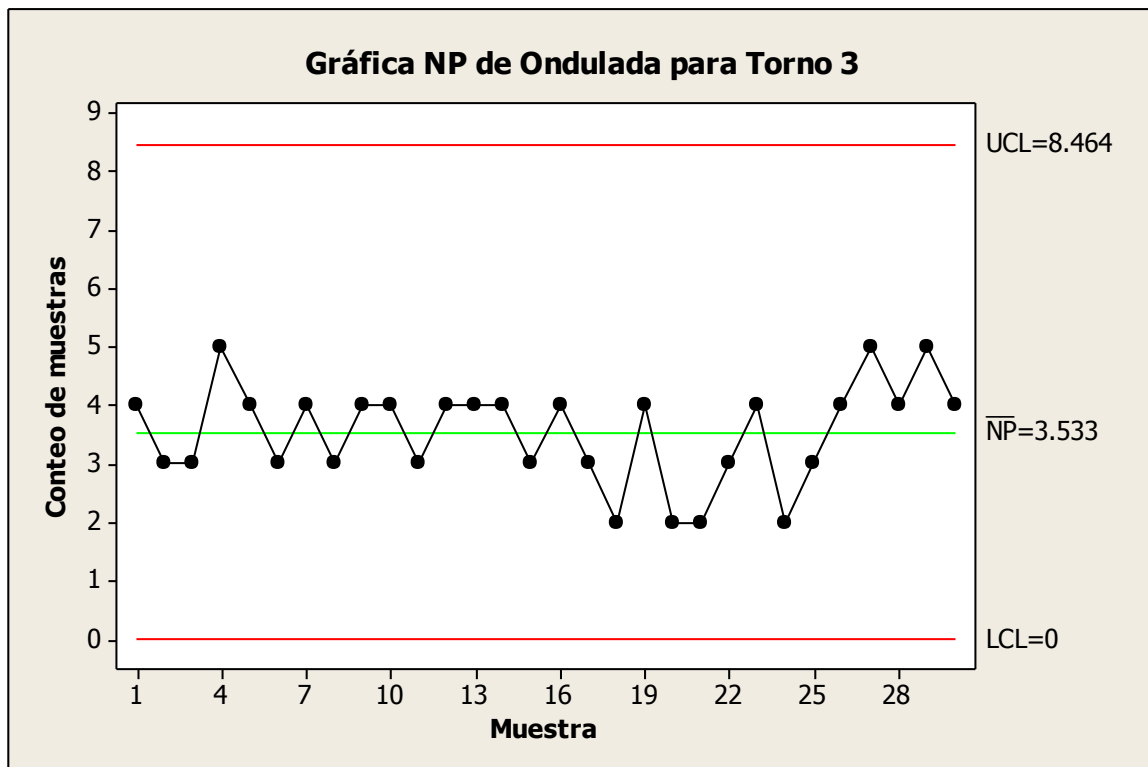


Figura 4.4: Carta np de Ondulada para Torno 3.
Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la Chapa Ondulada, se encuentra controlada, pues no existen puntos fuera de los límites de control ni hay algún tipo de tendencia.

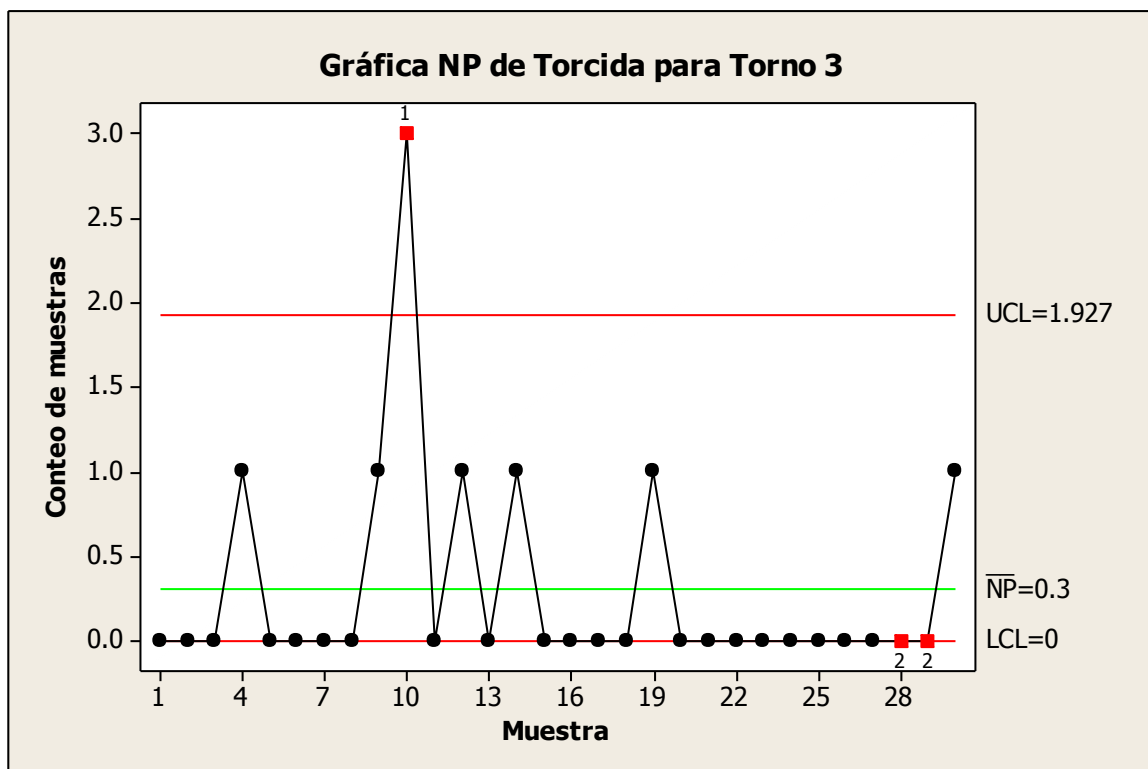


Figura 4.5: Carta np de Torcida para Torno 3

Fuente: Elaboración propia.

La Chapa Torcida muestra el punto 10 fuera de control, al tener tres de las quince muestras defectuosas. Al revisar los registros se encuentra que durante el punto 10, la materia prima presentaba mayor cantidad de nudos, lo que originó la torcedura.

Además, tiene diez puntos seguidos a un mismo lado del la Línea Central, lo que indica falta de aleatoriedad y variabilidad natural. Sin embargo, estos valores se encuentran en 0, lo que se traduce en una menor cantidad de defectos gracias a una buena materia prima y operaciones adecuadas.

4.5.1.3 Torno 4.

Para el análisis de variabilidad de este Torno se tomaron 31 muestras. Las cartas de control son las siguientes:

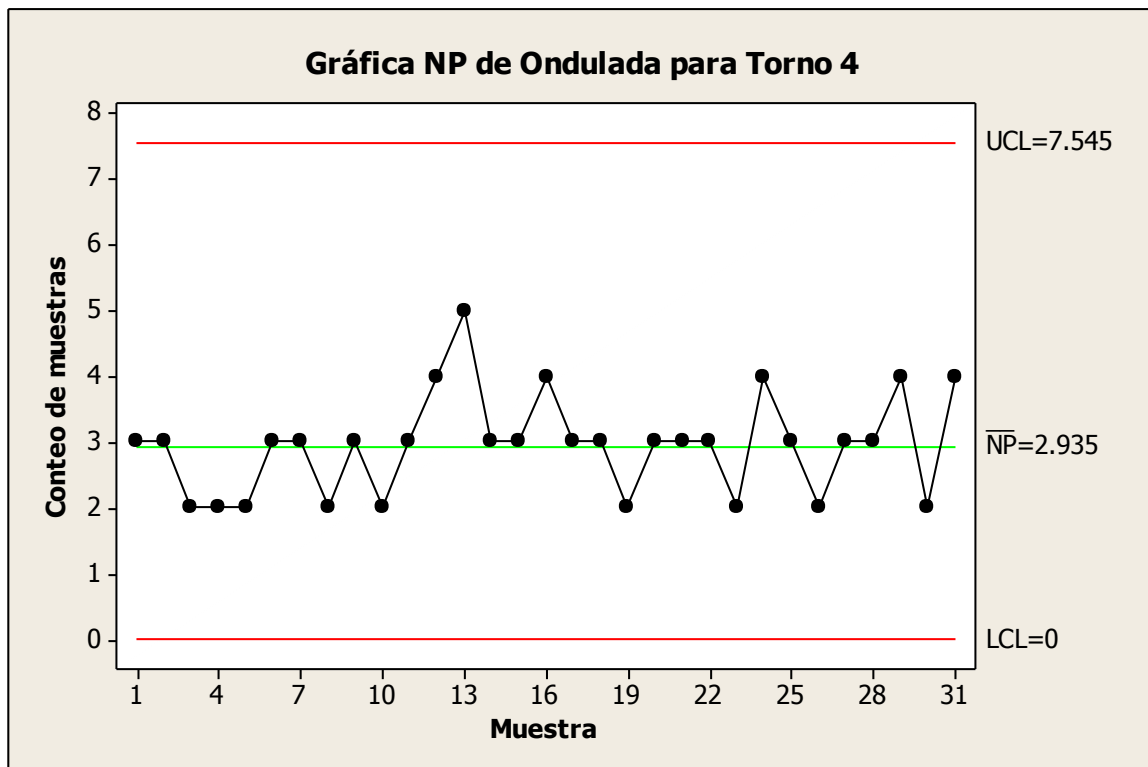


Figura 4.6: Carta np de Ondulada para Torno 4.
Fuente: Elaboración propia.

La chapa Ondulada se encuentra bajo control dado que no existen puntos fuera de los límites ni hay ninguna tendencia.

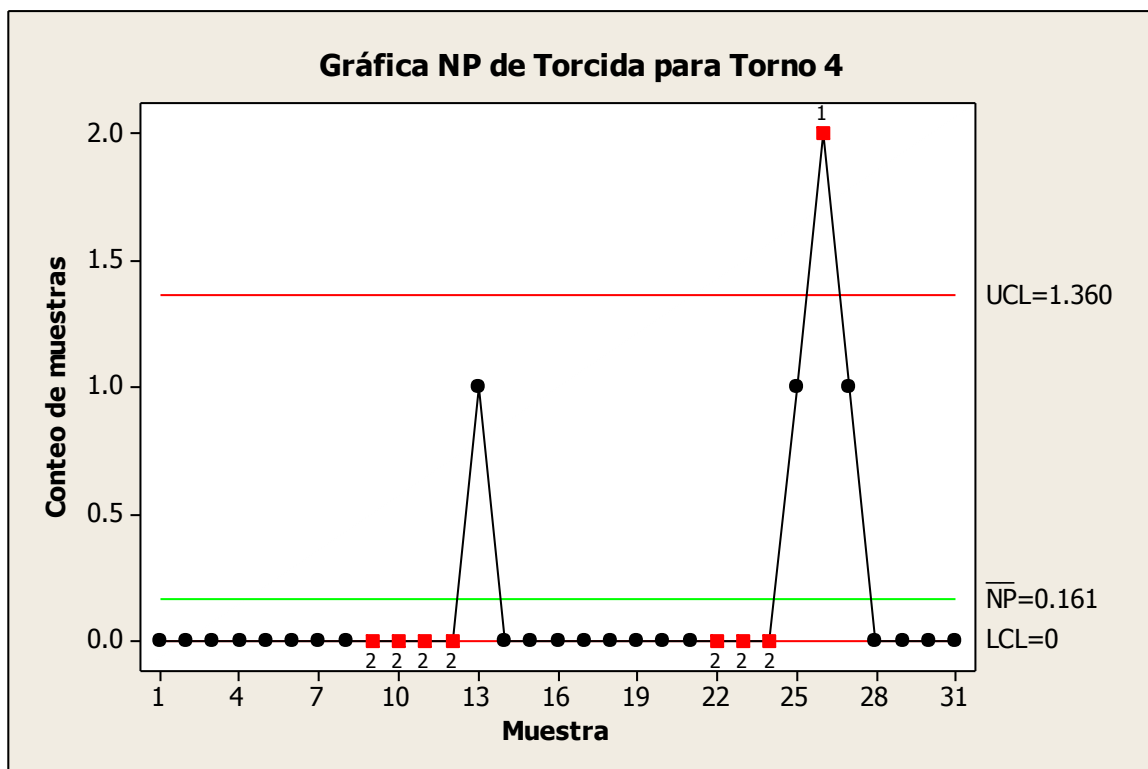


Figura 4.7: Carta np de Torcida para Torno 4.
Fuente: Elaboración propia.

La chapa Torcida en este torno se encuentra fuera de control, pues hay un punto por encima del límite superior, además los puntos del 1 al 12 y del 14 al 25 se encuentran por debajo de la línea central. Sin embargo, todos tienen un valor de cero, por lo que se refleja que hay poca presencia de este defecto.

4.5.1.4 Torno 5.

En lo que respecta al Torno 5, se obtuvieron 29 datos. Aquí se presentan las cartas de control correspondientes a cada defecto:

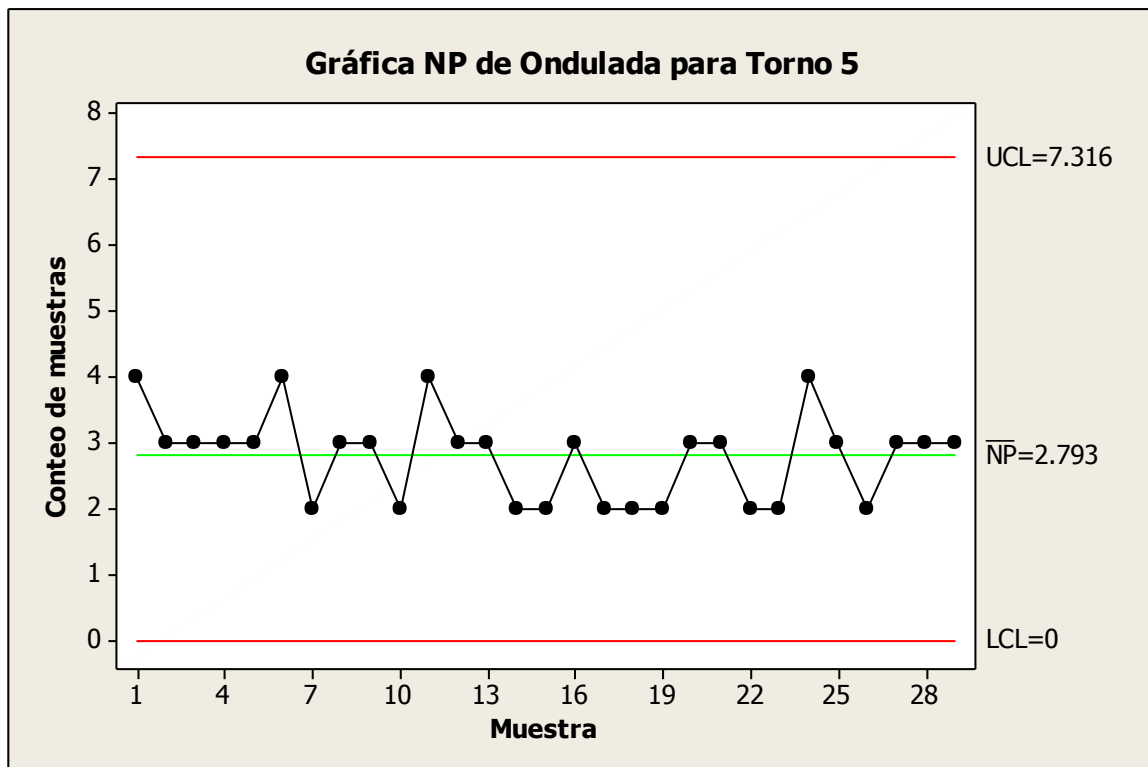


Figura 4.8: Carta np de Ondulada para Torno 5.
 Fuente: Elaboración propia.

La chapa Ondulada se encuentra controlada, con puntos tanto encima y debajo de la Línea Central.

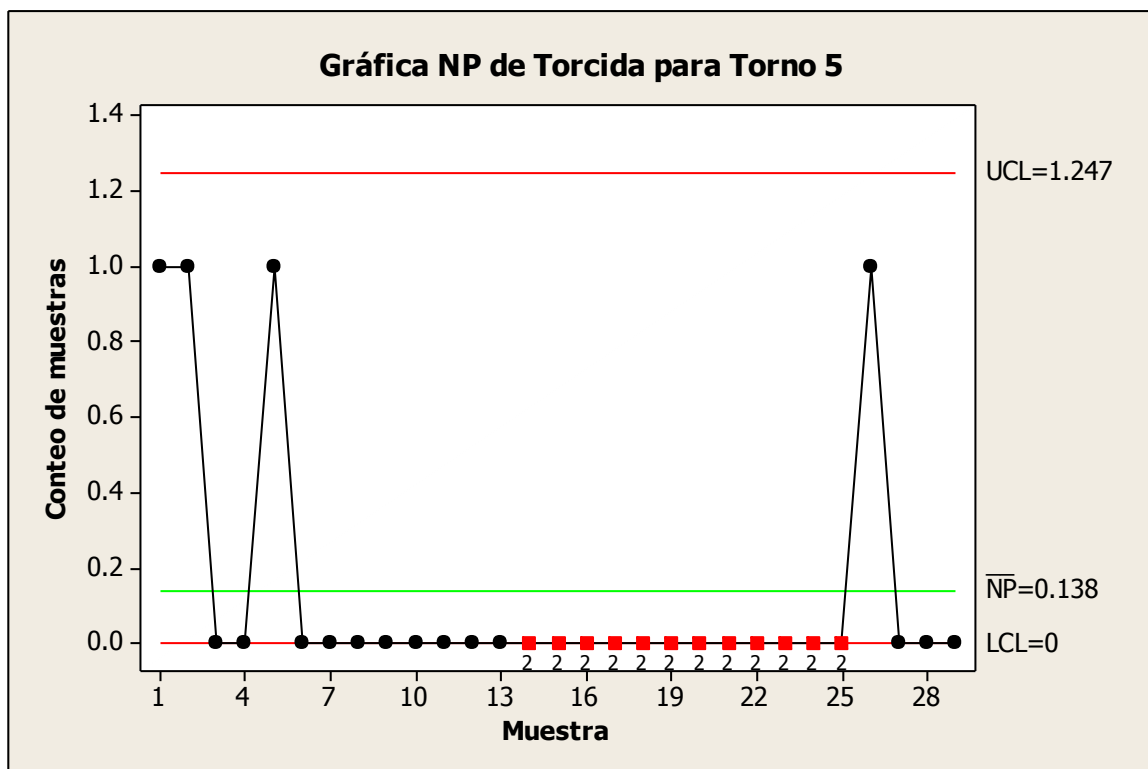


Figura 4.9: Carta np de Torcida para Torno 5.

Fuente: Elaboración propia.

A pesar de que la gráfica muestra varios puntos resaltados advirtiendo un problema al haber demasiados puntos a un mismo lado de la Línea Central, debe recalarse que se debe a que en este Torno, la chapa torcida casi no se presenta. Esto se refleja en que veinticuatro de los veintinueve puntos tienen un valor de 0, y los demás tienen un valor de solamente 1.

4.5.1.5 Torno 7.

Finalmente, las cartas correspondientes al último Torno, del cual se obtuvieron 31 muestras, son las siguientes:

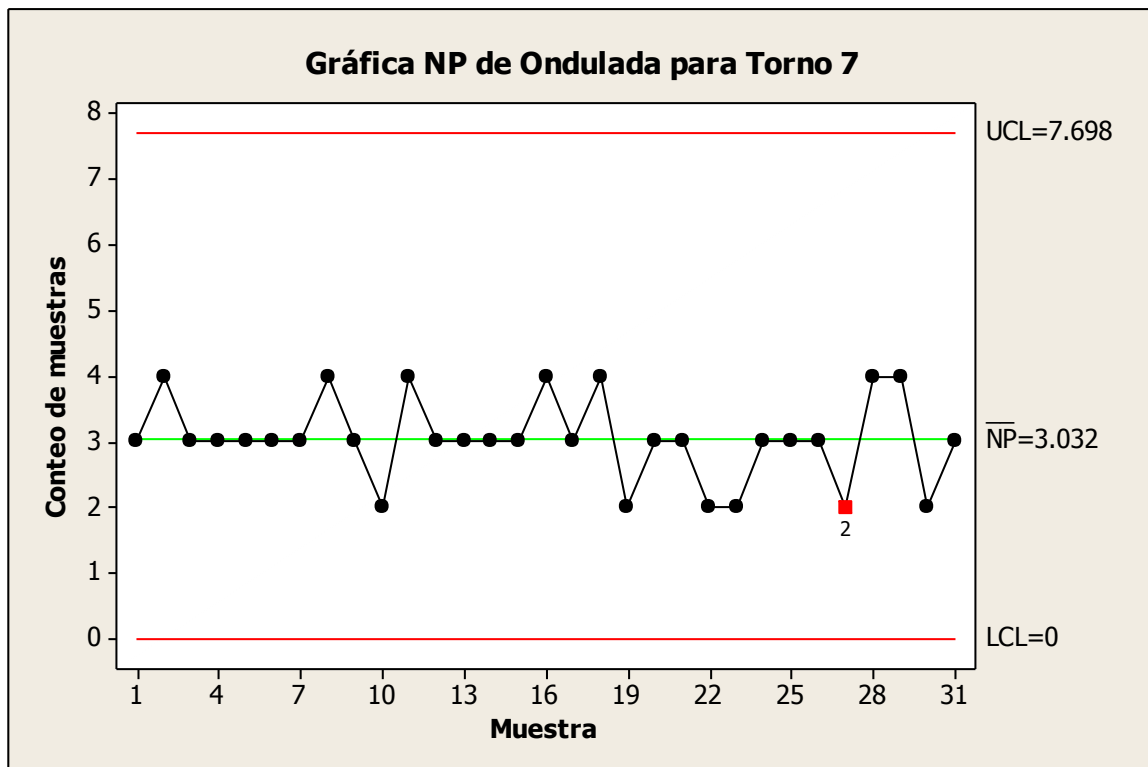


Figura 4.10: Carta np de Ondulada para Torno 7.
Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se muestra que la mayoría de puntos se encuentran cerca de la Línea Central, dado que la cantidad de defectuosas es 3. También, se marca un punto dado que es el noveno debajo de la Línea Central.

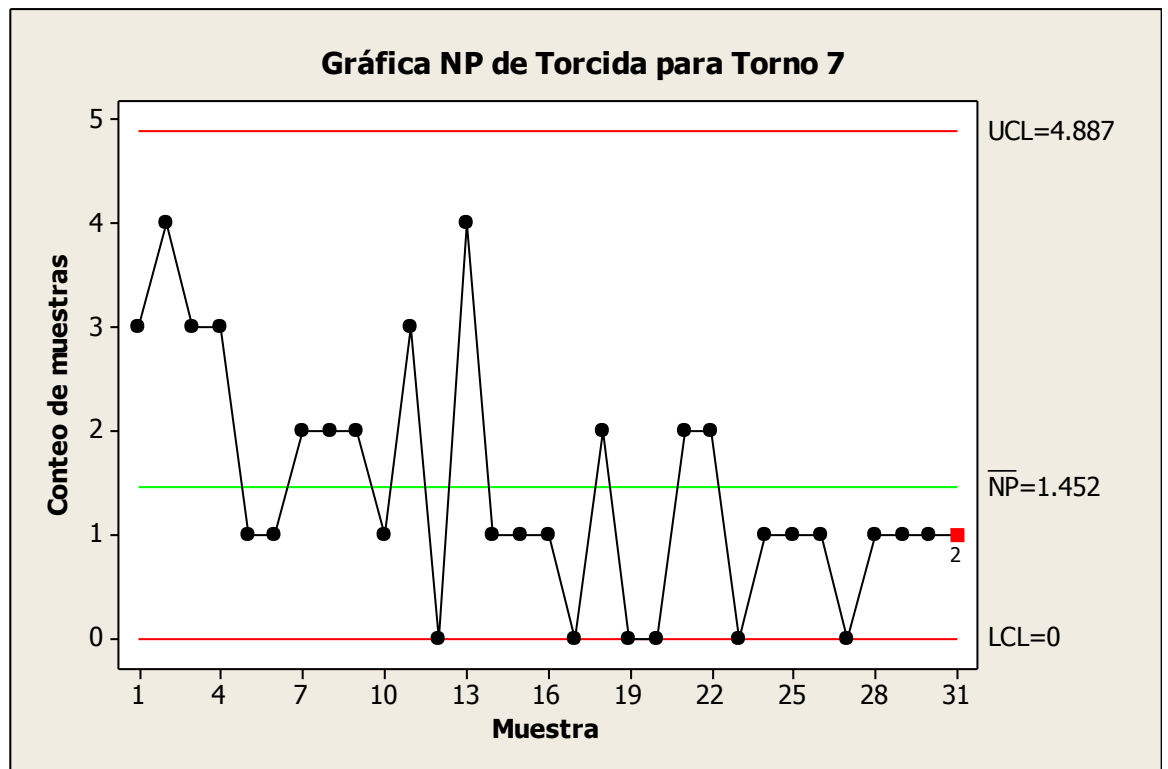


Figura 4.11: Carta np de Torcida para Torno 7.

Fuente: Elaboración propia.

La chapa Torcida muestra mayor variabilidad, sin embargo, se mantiene dentro de los Límites de Control. El último punto se encuentra marcado debido a que hay más de ocho puntos debajo de la Línea Central, dado que son los últimos podría significar una disminución permanente en la variabilidad del proceso. Debido a esto se tomó una muestra más y su valor fue de tres chapas torcidas, lo que muestra que la variabilidad vuelve a aumentar y se mantiene en niveles similares. Revisando los registros, las muestras que presentan valores bajos se dieron cuando la materia prima fue menos defectuosa.

4.5.2 Variabilidad en Secador.

Para el caso del secado, se utilizaron cartas de control para variables pues los defectos o características Convexidad, Bajo Contorno (ancho) y Banana son medibles y se representaron con cartas \bar{X} y S.

Cabe recalcar que se prefirieron las cartas \bar{y} y S sobre las \bar{y} y R debido a que, como menciona Montgomery (2007) en el libro Control Estadístico de la Calidad, funciona mejor para tamaños de muestras grandes, por ejemplo mayores a 10 o 12 (p. 239). En este caso el tamaño de la muestra es 145 (Referirse a la Sección 4.3.1.2).

Para cada característica de la calidad, o defecto en este caso, en primer lugar se llevó a cabo una prueba de normalidad de los promedios. La prueba elegida fue la de Kolmogorov-Smirnov que es la más adecuada cuando se tienen pocos datos (25 muestras); ésta busca demostrar la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución normal. La razón para realizarla recae en que Montgomery (2007) cita en la sección de ‘Fundamentos estadísticos de las cartas’, que se debe “suponer que una característica de la calidad tiene una distribución normal con media μ y desviación estándar σ ” (p. 207) Si no se cumple con este supuesto se listan los efectos que esto puede tener en la sección ‘El efecto del incumplimiento de la normalidad en las cartas \bar{y} y R ’ (232), cuyas implicaciones se aplican de igual forma a las cartas \bar{y} y S debido a su similitud.

Así, se analizaron 25 muestras, pues como menciona Montgomery (2007) muchas veces μ y σ no son conocidas y por lo tanto deben estimarse por medio de muestras. “Estas estimaciones deberán basarse en al menos 20 o 25 muestras” (p. 208-209). Además, en cuanto al tema del cálculo de los límites de control de las cartas se cita que “Es altamente deseable contar con 20 o 25 muestras o subgrupos de tamaño n (típicamente el valor de n está entre 3 y 5) para calcular los límites de control de prueba)” (p. 212). Obviamente, para este subproceso no se puede considerar un valor de n entre 3 y 5 pues no se obtendrían valores representativos reales de su desempeño. Por ello se realizó el cálculo de dicho tamaño en la Sección 4.3.1.2.

Durante el proceso existen dos secadores (llamados 1 y 2), sin embargo, sólo se tomaron muestras del Secador 2 debido a que, en el tiempo durante el cual se realizó la

recolección, por el otro se pasó un tipo distinto de producto a los que se están considerando en el presente proyecto de tesis.

4.5.2.1 Secador 2.

En este secador se recogieron muestras tanto de Paleta Larga como de Paleta Corta, se hicieron las pruebas de normalidad pertinentes y se realizó el análisis de variabilidad de los defectos correspondientes a cada uno.

4.5.2.1.1 Paleta Larga.

En primer lugar se realizaron mediciones de la Convexidad, las cuales fueron sometidas a la prueba de normalidad, obteniendo el siguiente resultado:

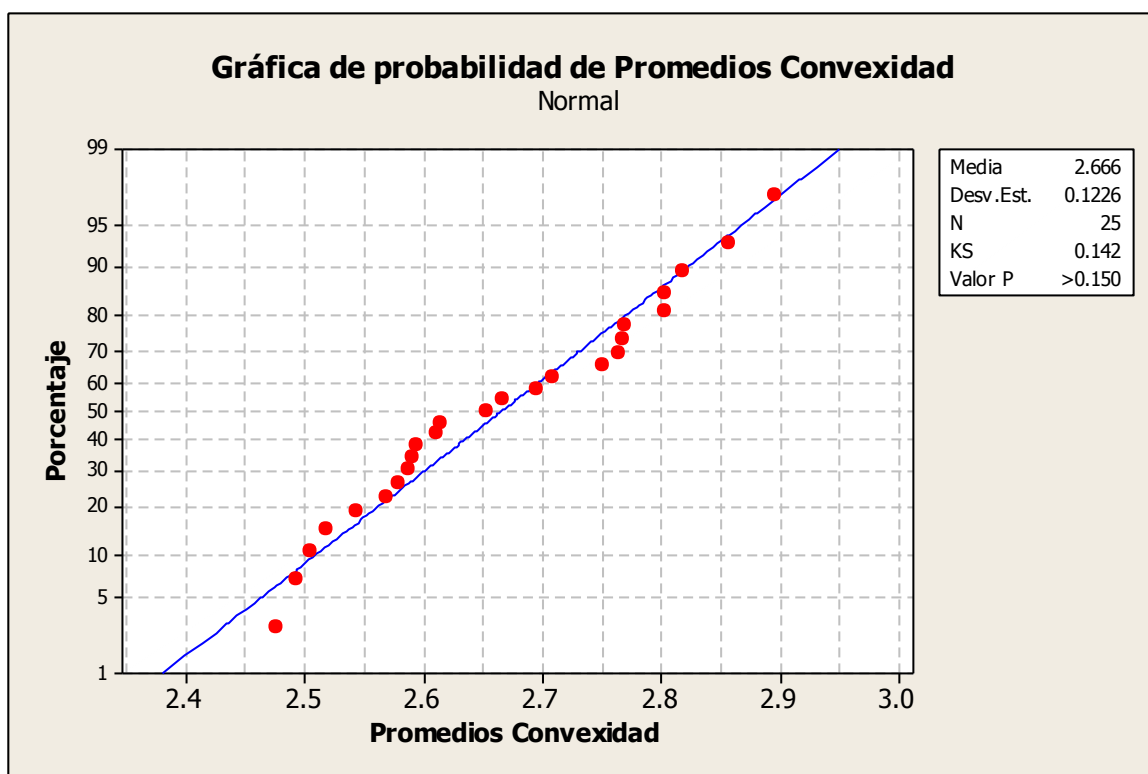


Figura 4.12: Prueba de normalidad para convexidad de paleta larga en Secador.
Fuente: Elaboración propia.

Dado que los puntos se encuentran cerca a la línea y el Valor P es mayor a 0.05, se concluye que los datos siguen una distribución normal. Una vez hecho esto, se elaboraron las siguientes cartas:

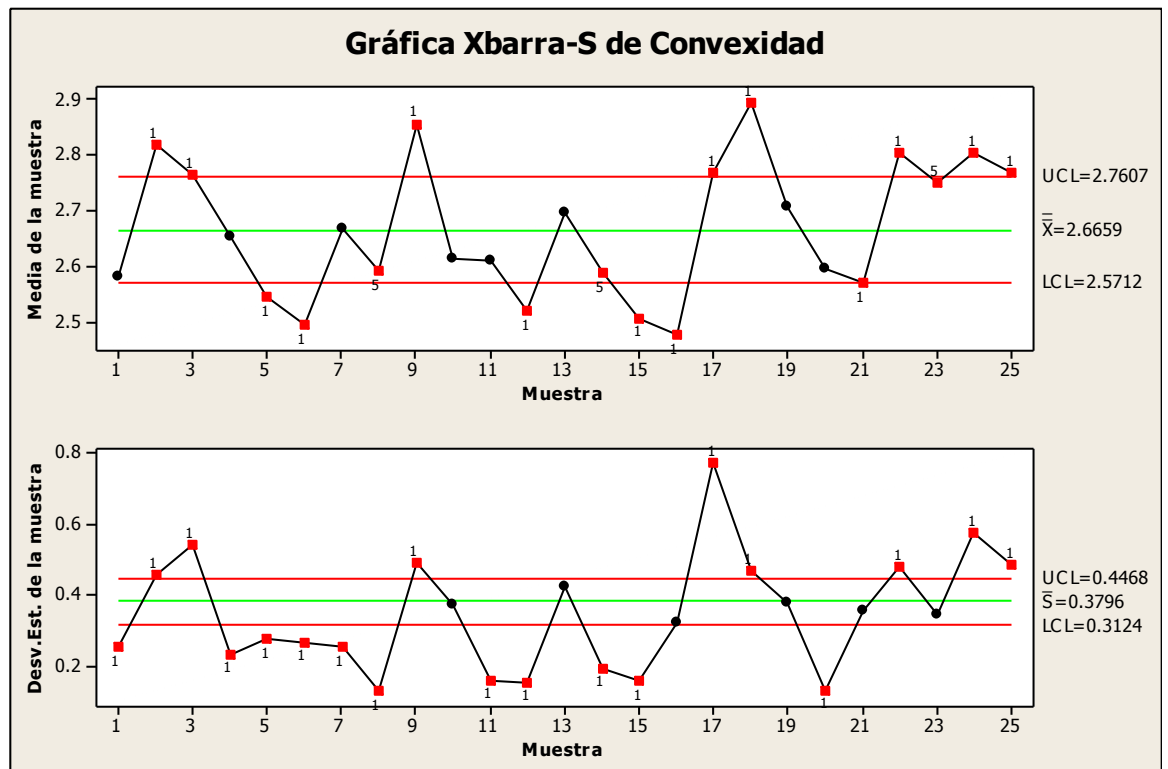


Figura 4.13: Carta de control xbarra-s para convexidad de paleta larga en Secador.
 Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se puede apreciar que el proceso se encuentra fuera de control debido, principalmente, a que hay varios puntos por fuera de los Límites de Control. La carta \bar{X} , ubicada en la parte superior, muestra que hay una alta variabilidad en los valores entre muestras. Mientras que la carta S muestra un carácter similar pues hay ocho puntos por encima del límite de control superior pero once por debajo del límite inferior. Esta mayoría de puntos bajos a la vez demuestra que dentro de cada muestra hay valores muy similares, por lo que su desviación estándar es baja.

Posteriormente, se realiza el mismo análisis para el defecto Banana. La prueba de normalidad de los datos es la siguiente:

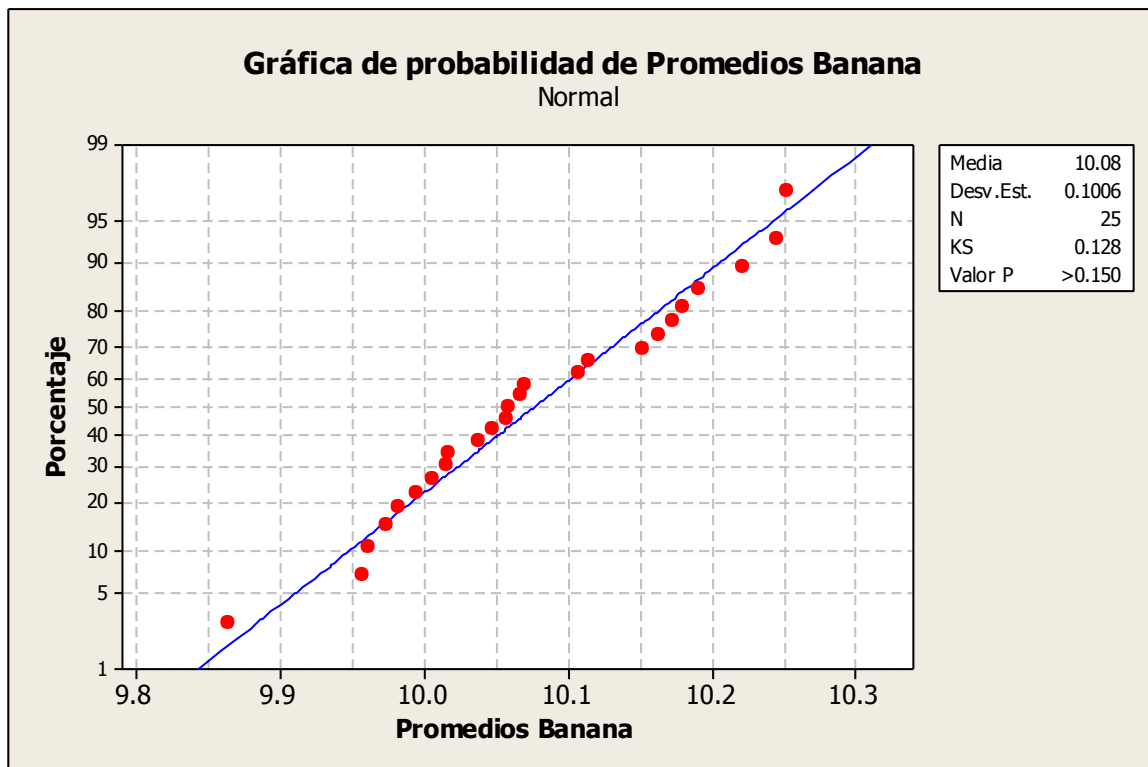


Figura 4.14: Prueba de normalidad para banana de paleta larga en Secador.

Como se puede apreciar en la gráfica, los puntos se encuentran muy cercanos a la línea, y por lo tanto, el Valor P es mucho mayor a 0.05, lo que refleja la normalidad de los datos. Ahora se presentan las cartas correspondientes.

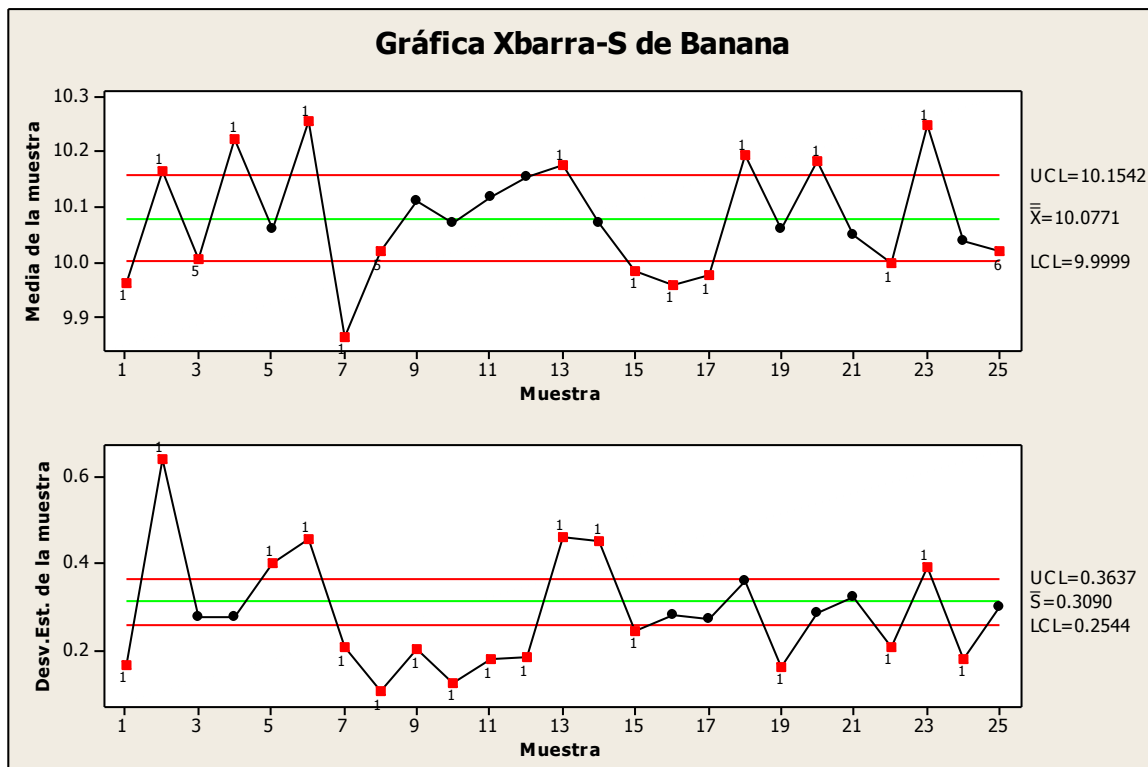


Figura 4.15: Carta de control xbarra-s para banana de paleta larga en Secador.

Se presenta una situación similar al defecto Convexidad, pues hay varios puntos que se encuentran por fuera de los Límites de Control, tanto en la carta \bar{X} como en la S . Siendo esta última la que mayor variabilidad presenta pues sólo 8 de los 25 puntos se encuentran dentro de los límites.

4.5.2.1.2 Paleta Corta.

Para este producto se analizaron los defectos Convexidad y Bajo Contorno. A continuación se presenta la prueba de normalidad de los datos.

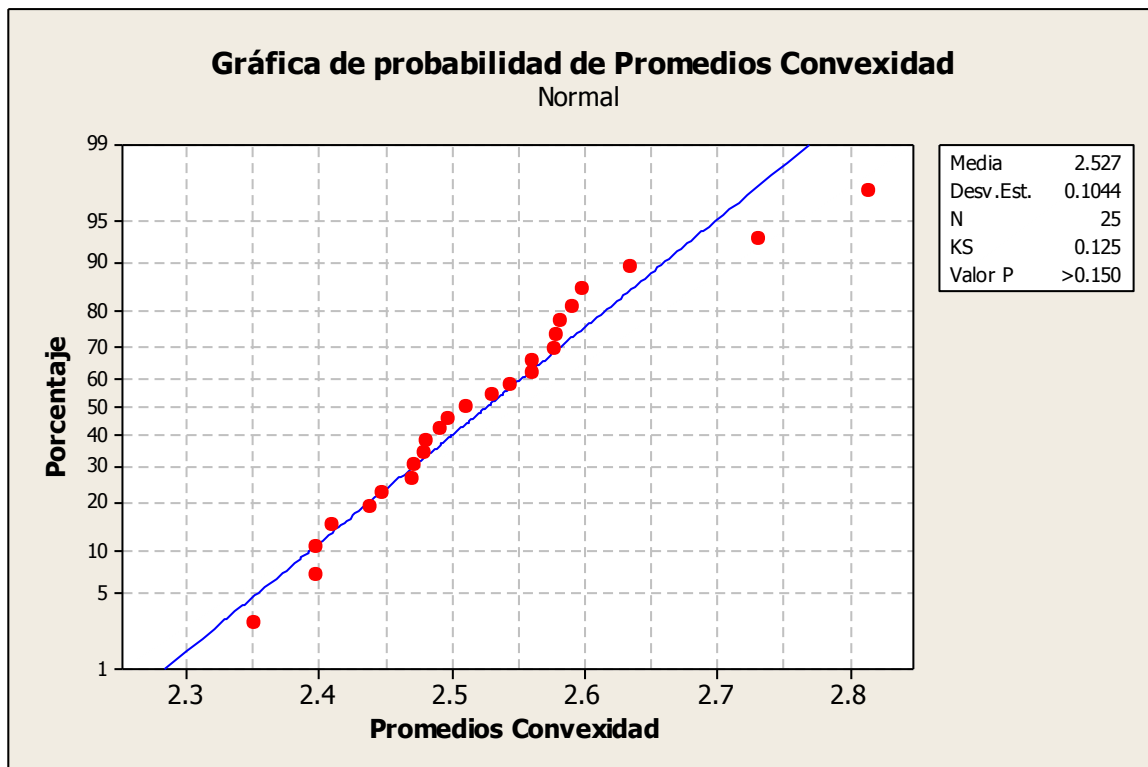


Figura 4.16: Prueba de normalidad para convexidad de paleta corta en Secador.
Fuente: Elaboración propia.

La gráfica muestra que a pesar de que hay algunos puntos alejados de la línea, el Valor P es alto y mayor a 0.05, por lo que los datos siguen una distribución normal. Dado que el supuesto se cumple, las cartas de control son las siguientes:

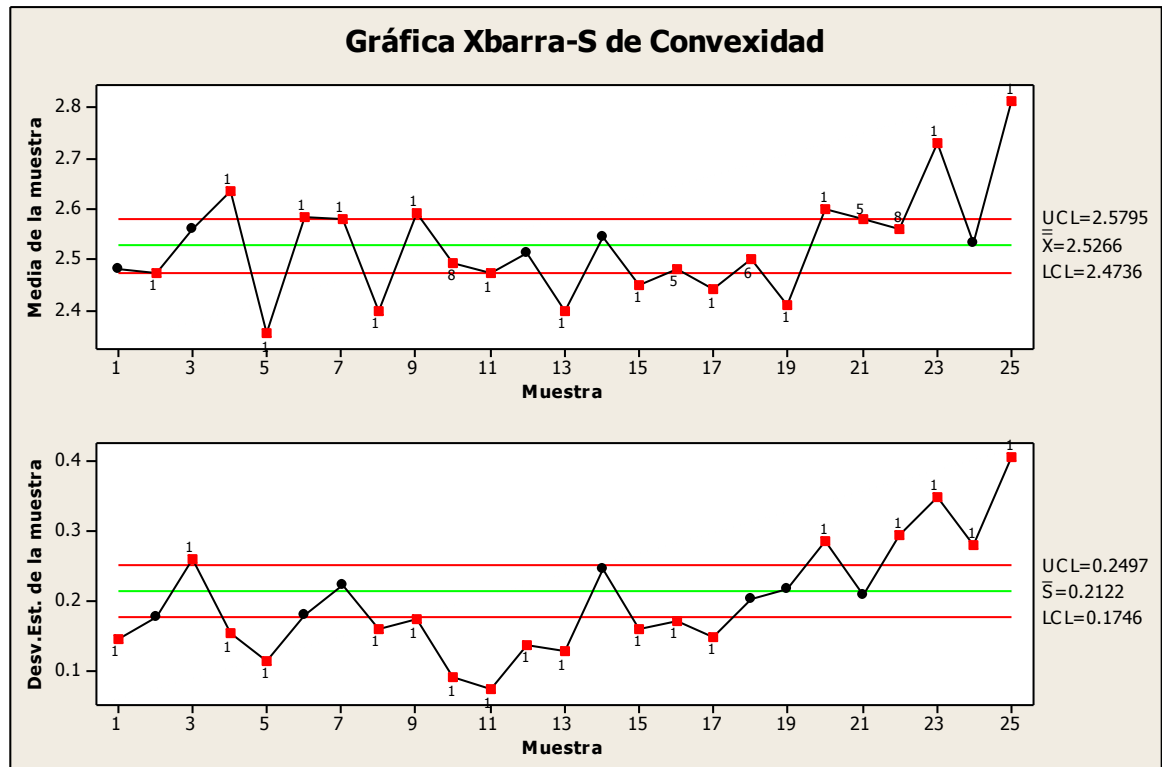


Figura 4.17: Carta de control xbarra-s para convexidad de paleta corta en Secador.
Fuente: Elaboración propia.

A pesar de que en la carta muchos de los puntos se encuentran dentro de los límites de control, se presenta un problema al haber demasiados puntos cercanos a los límites y alejados de la línea central. En cuanto a la carta S , se ve que la desviación estándar de la mayoría de las muestras es baja, y por ello se encuentran por debajo del límite inferior.

En cuanto al defecto Bajo Contorno, la prueba de normalidad de los promedios obtenidos de cada muestra es la siguiente:

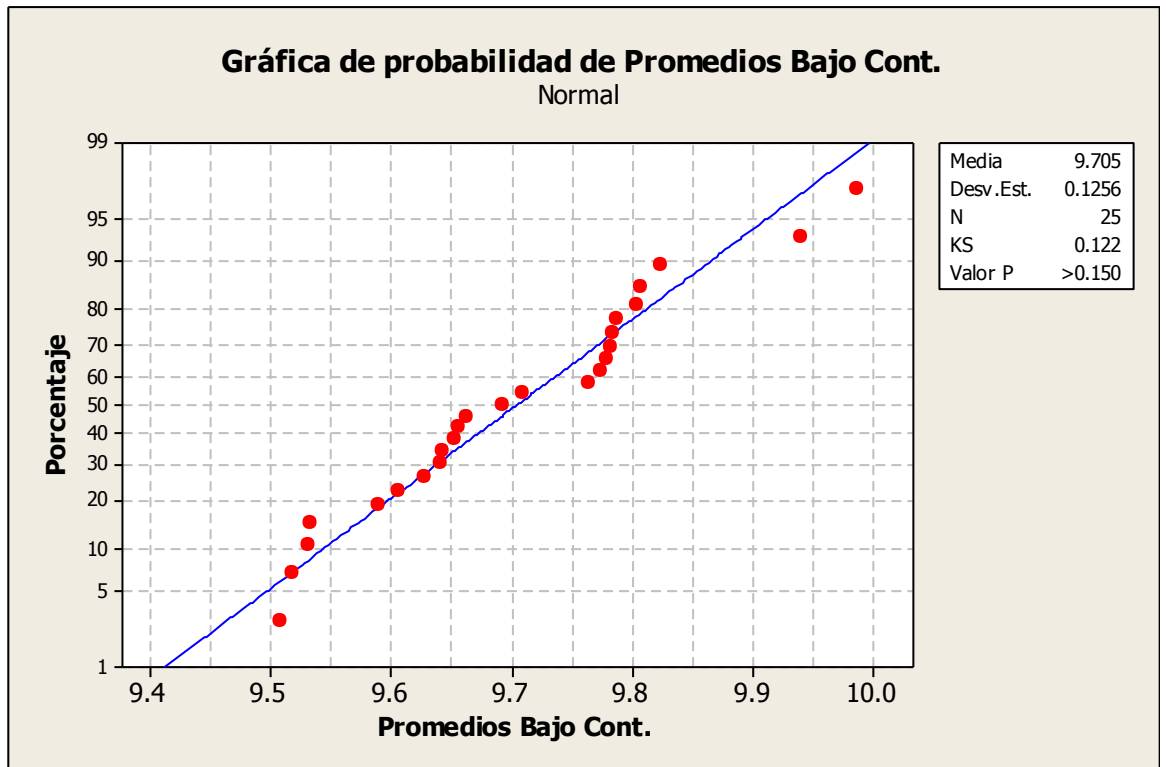


Figura 4.18: Prueba de normalidad para bajo contorno de paleta corta en Secador.
Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se aprecia que los puntos se encuentran cercanos a la línea, lo que se refleja en que el Valor P sea mayor a 0.05, concluyéndose que la distribución es normal.

Así, las cartas de control son las siguientes:

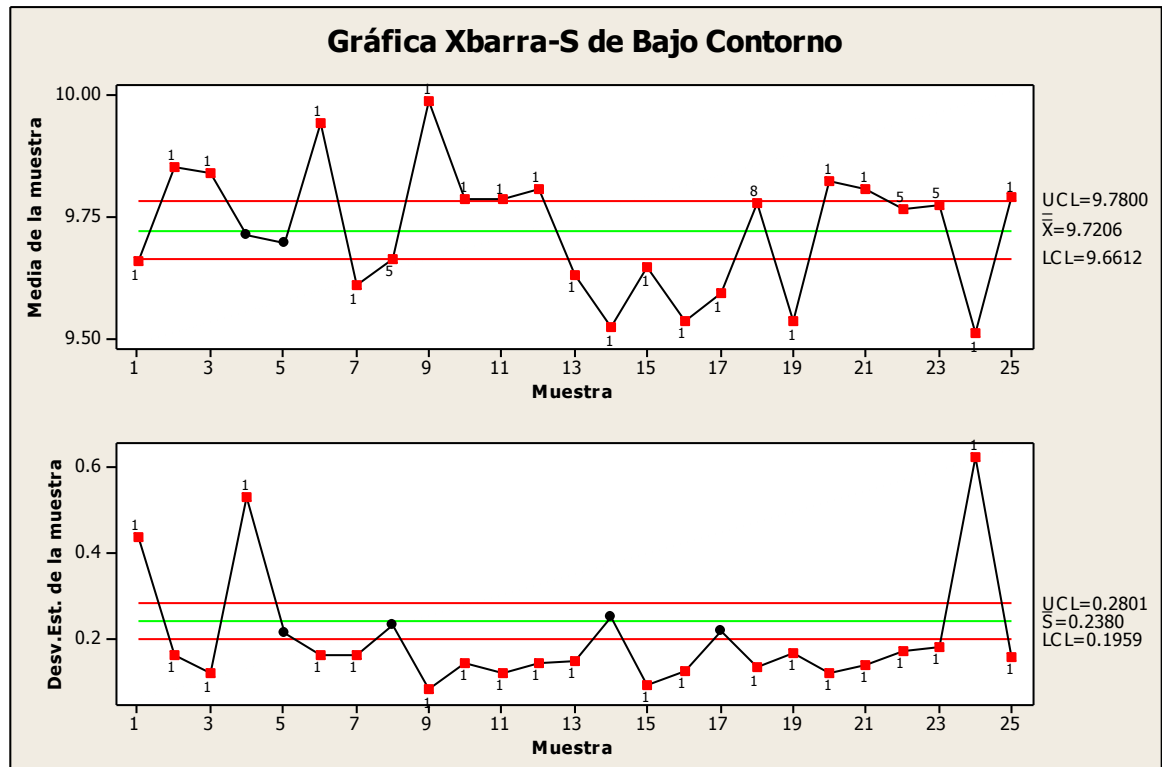


Figura 4.19: Carta de control xbarra-s para bajo contorno de paleta corta en Secador.

Al igual que en el caso de Convexidad, en la carta además de los puntos que se encuentran fuera de los límites de control hay muchos que se encuentran alejados de la línea central y cerca de los límites de control. La carta S también es similar pues la desviación estándar es baja en la mayoría de las muestras y es por eso que se encuentran por debajo del límite inferior.

4.5.3 Variabilidad en Pulidores.

Para visualizar la variabilidad presentada en el proceso de pulido, se utilizaron tanto cartas de control para variables como para atributos. Para el primer caso se tomaron los defectos Convexidad y Bajo Contorno (ancho) pues son medibles y se representaron con cartas \bar{x} y S . En cuanto a los atributos, se tomó la carta de control p que muestra la proporción de disconformes para la variabilidad del Desportillado Vertical.

La explicación sobre la preferencia de cartas \bar{X} y S sobre \bar{y} y R es la misma que la que se dio en la variabilidad en Secador, Sección 4.5.2. De igual forma, para la carta p , a diferencia de los Tornos donde se utilizaron cartas np , en este caso se optó por ésta debido a que el tamaño muestral es mayor, por lo que el manejo de proporciones o porcentajes resulta más conveniente y sencillo.

Al igual que en la sección del Secador, en primer lugar se llevó a cabo una prueba de normalidad de los promedios para luego desarrollar las cartas de control.

Durante el tiempo en que se recolectaron las muestras, el producto Paleta Corta se pasó por el Pulidor 7, mientras que la Paleta Larga por el Pulidor 1.

4.5.3.1 Pulidor 1.

En este pulidor se recogieron las muestras de Paleta Larga, a las cuales se aplicaron la prueba de normalidad y se realizaron las cartas de control.

4.5.3.1.1 Paleta Larga.

En primer lugar se realizaron mediciones de la Convexidad, las cuales fueron sometidas a la prueba de normalidad, obteniendo el siguiente resultado:

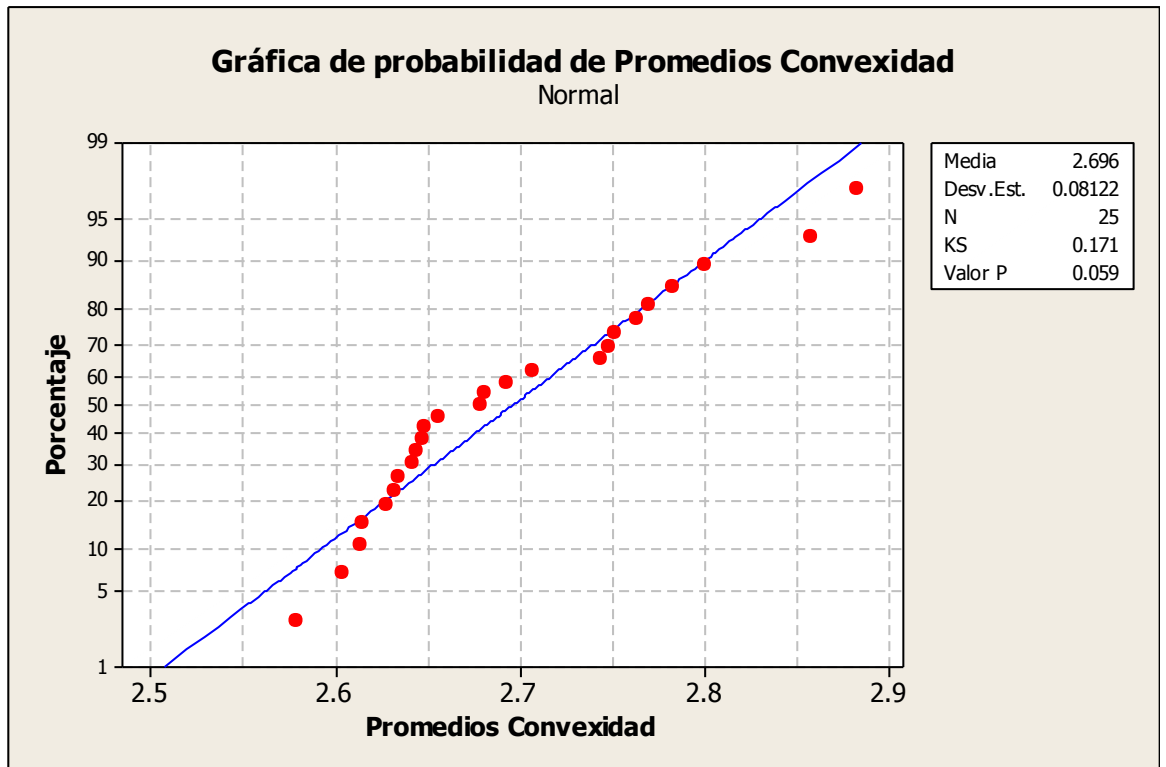


Figura 4.20: Prueba de normalidad para convexidad de paleta larga en Pulidores.
Fuente: Elaboración propia.

Dado que los puntos se encuentran cerca a la línea y el Valor P es mayor a 0.05, se concluye que los datos siguen una distribución normal. Una vez hecho esto, se elaboraron las siguientes cartas:

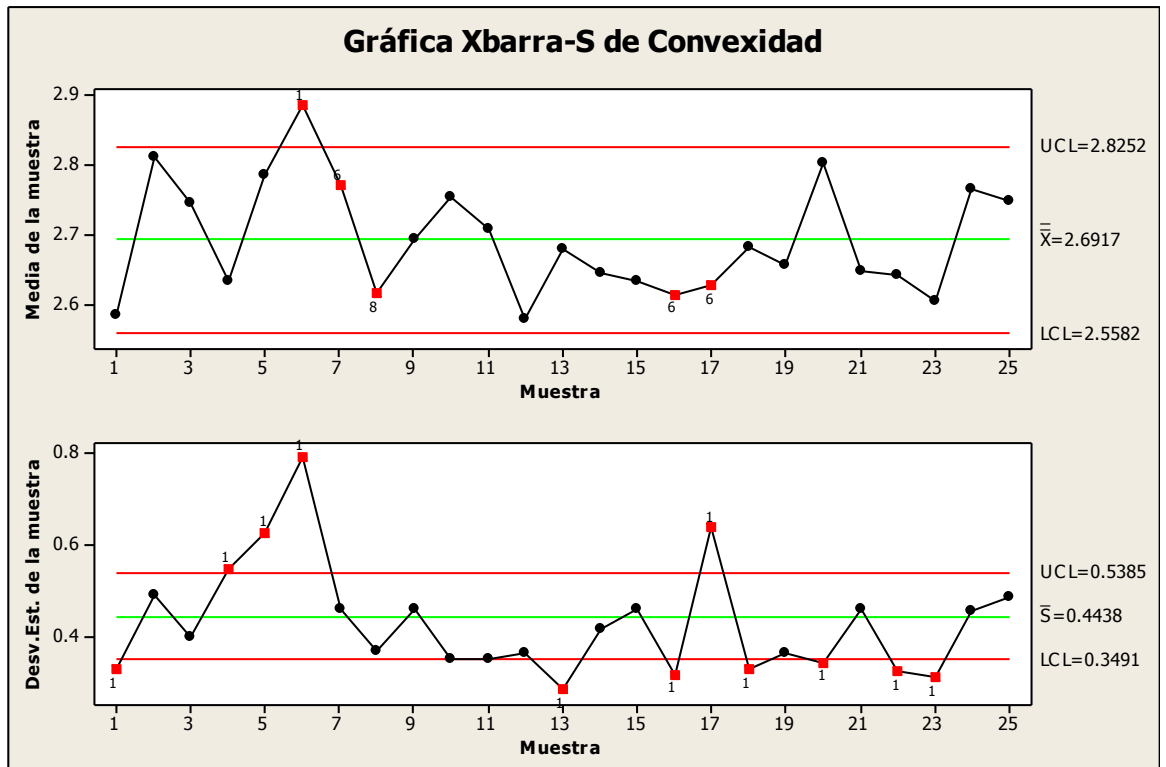


Figura 4.21: Carta de control xbarra-s para convexidad de paleta larga en Pulidores.

En la gráfica se puede apreciar que el proceso se encuentra fuera de control, sin embargo, no es tan marcado como en el caso del Secador. En la carta \bar{X} , ubicada en la parte superior, solamente hay un punto fuera de los límites (6), los primeros ocho puntos están muy alejados de la media, y los puntos entre el 12 y 19 están todos por debajo de la línea central. Mientras que la carta S muestra una mayor variabilidad con once puntos fuera de los límites de control, de los cuales cuatro se presentan por encima del límite de control superior y siete por debajo del límite inferior.

Posteriormente, se realizó la carta p para el defecto Desportillado Vertical:

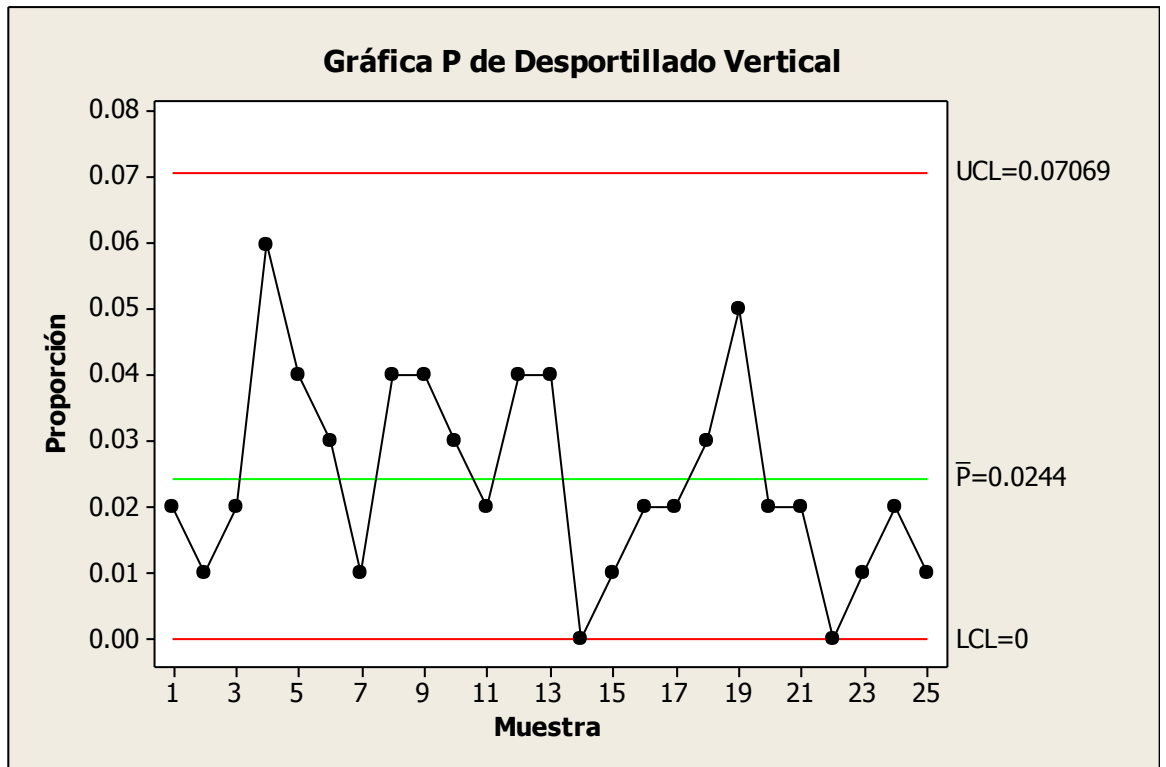


Figura 4.22: Carta de control p para desportillado vertical de paleta larga en Pulidores.

En este caso, el proceso se encuentra bajo control, todos los puntos se encuentran dentro de los límites y no presentan ningún tipo de patrón.

4.5.3.2 Pulidor 7.

En este pulidor se recogieron las muestras de Paleta Corta, a las cuales se aplicaron la prueba de normalidad y se realizaron las cartas de control.

4.5.3.2.1 Paleta Corta.

Para este producto se analizaron los defectos Convexidad, Bajo Contorno y Desportillado Vertical. A continuación se presenta la prueba de normalidad de los datos correspondientes a Convexidad.

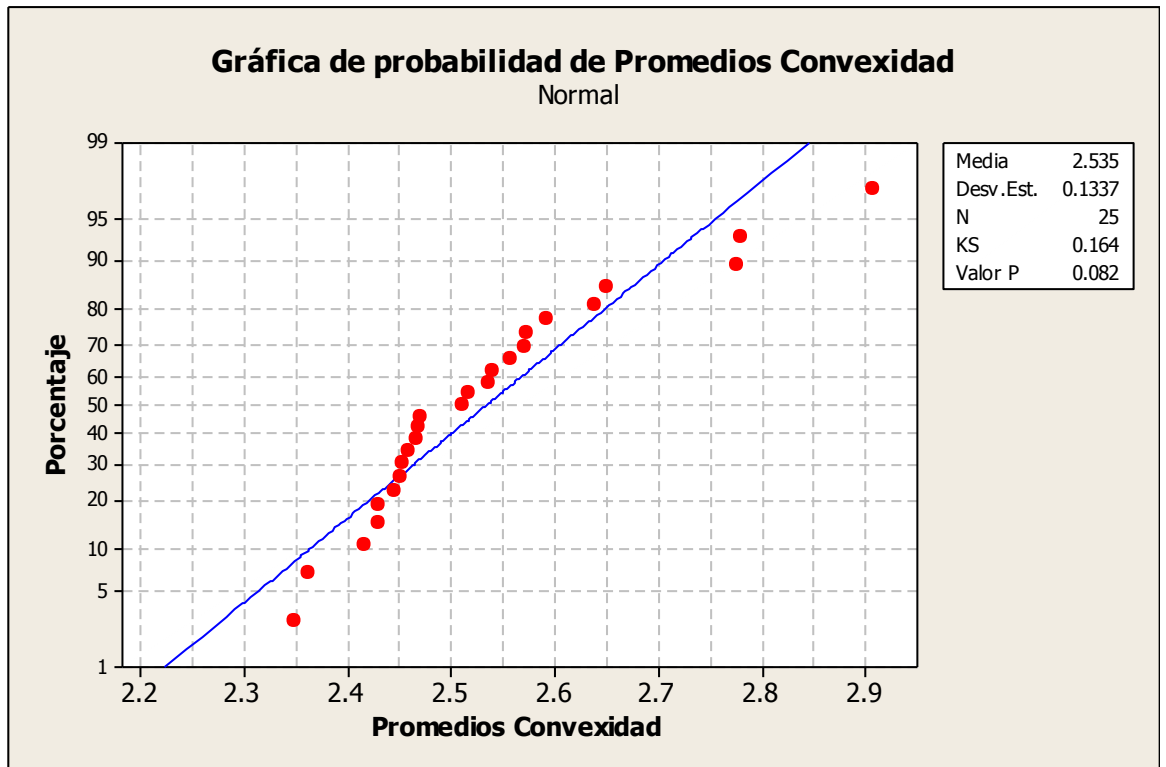


Figura 4.23: Prueba de normalidad para convexidad de paleta corta en Pulidores.
Fuente: Elaboración propia.

La gráfica muestra que a pesar de que hay algunos puntos alejados de la línea, el Valor P es alto y mayor a 0.05, por lo que los datos siguen una distribución normal. Dado que el supuesto se cumple, las cartas de control son las siguientes:

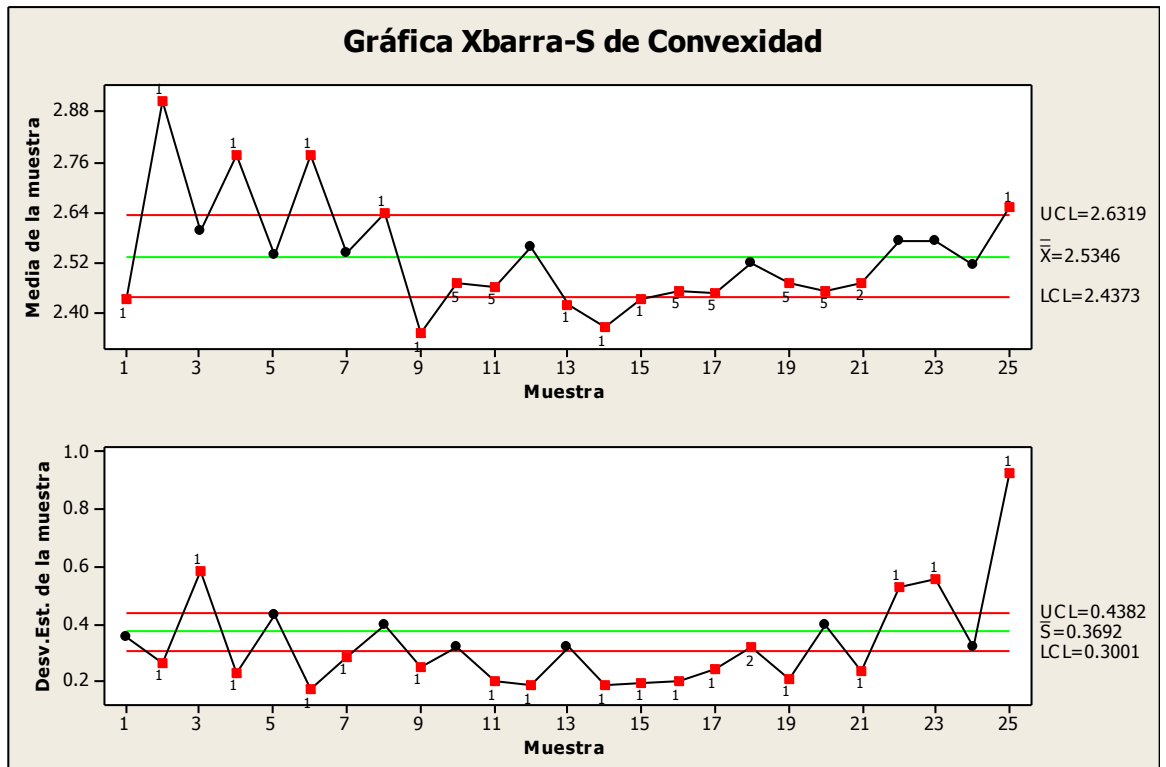


Figura 4.24: Carta de control xbarra-s para convexidad de paleta corta en Pulidores.

En la carta \bar{x} se aprecia que el proceso se encuentra fuera de control, pues varios puntos se encuentran fuera de los límites y otros muy cercanos al límite inferior de manera seguida. En la carta S se presenta un comportamiento similar al haber una gran cantidad de puntos (17) fuera de los límites de control, estando trece de ellos por debajo del límite inferior. Esto muestra que la desviación estándar de la mayoría de las muestras es baja, sin embargo, hay valores altos que hacen que los límites suban y por ello se encuentran por debajo del límite inferior.

En cuanto al defecto Bajo Contorno, la prueba de normalidad de los promedios obtenidos de cada muestra es la siguiente:

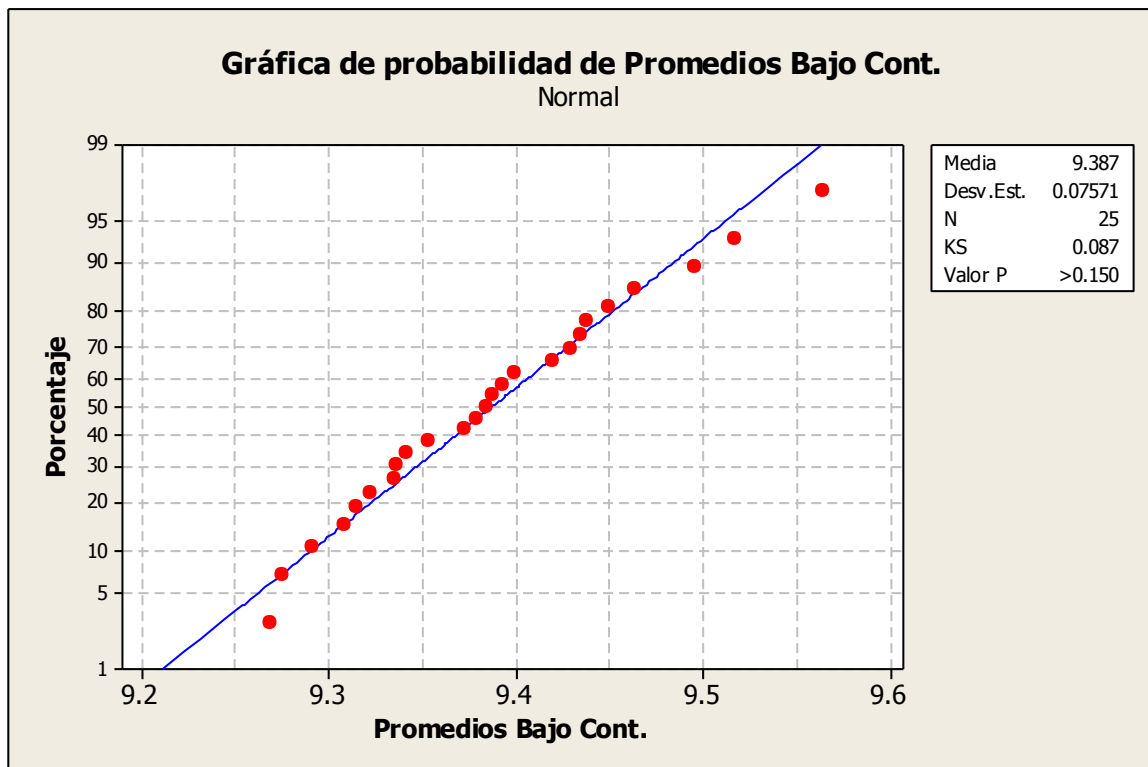


Figura 4.25: Prueba de normalidad para bajo contorno de paleta corta en Pulidores.
Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se aprecia que los puntos se encuentran bastante cercanos a la línea, lo que se refleja en que el Valor P sea mayor a 0.05, concluyéndose que la distribución es normal. Así, las cartas de control son las siguientes:

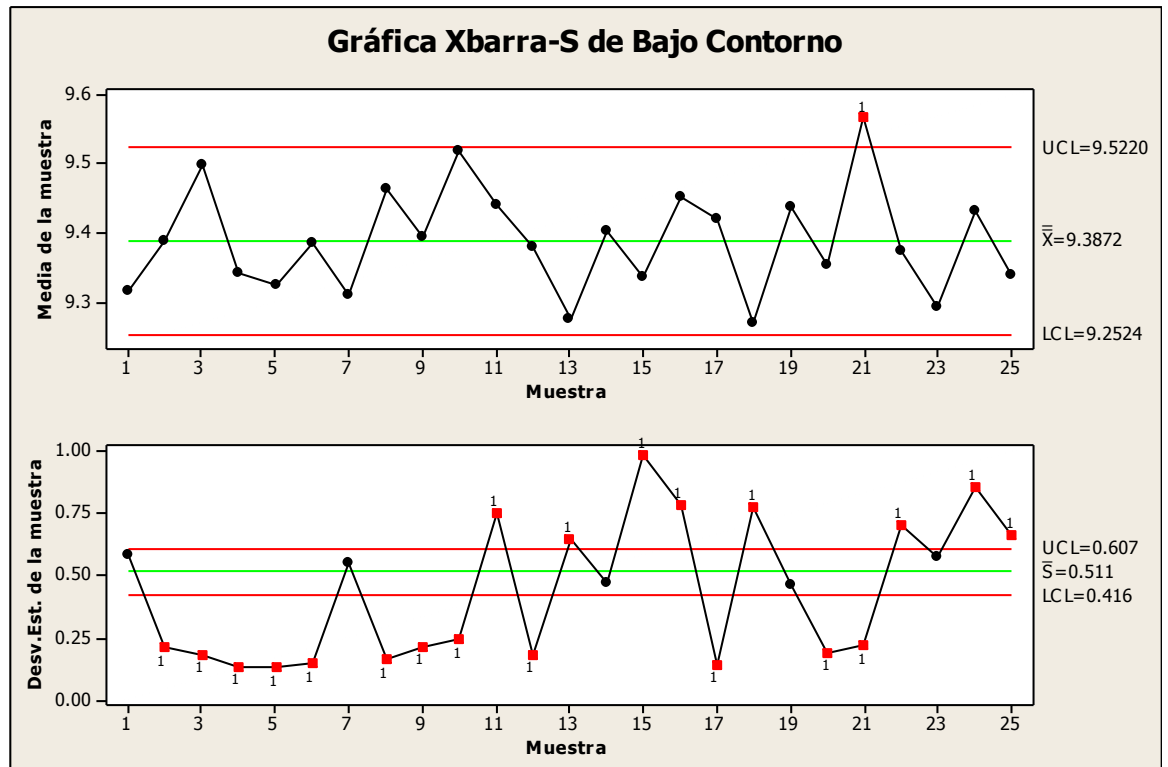


Figura 4.26: Carta de control *xbarra-s* para bajo contorno de paleta corta en Pulidores.
 Fuente: Elaboración propia.

En la carta \bar{x} se muestra que el proceso está fuera de control solamente por el punto 21 que se encuentra por encima del límite superior. Por otra parte, la carta S presenta gran variabilidad teniendo los primeros diez puntos con valores bajos y los siguientes más altos, lo que se refleja en varios puntos por fuera de los límites de control.

Finalmente, la carta p para Desportillado Vertical es la siguiente:

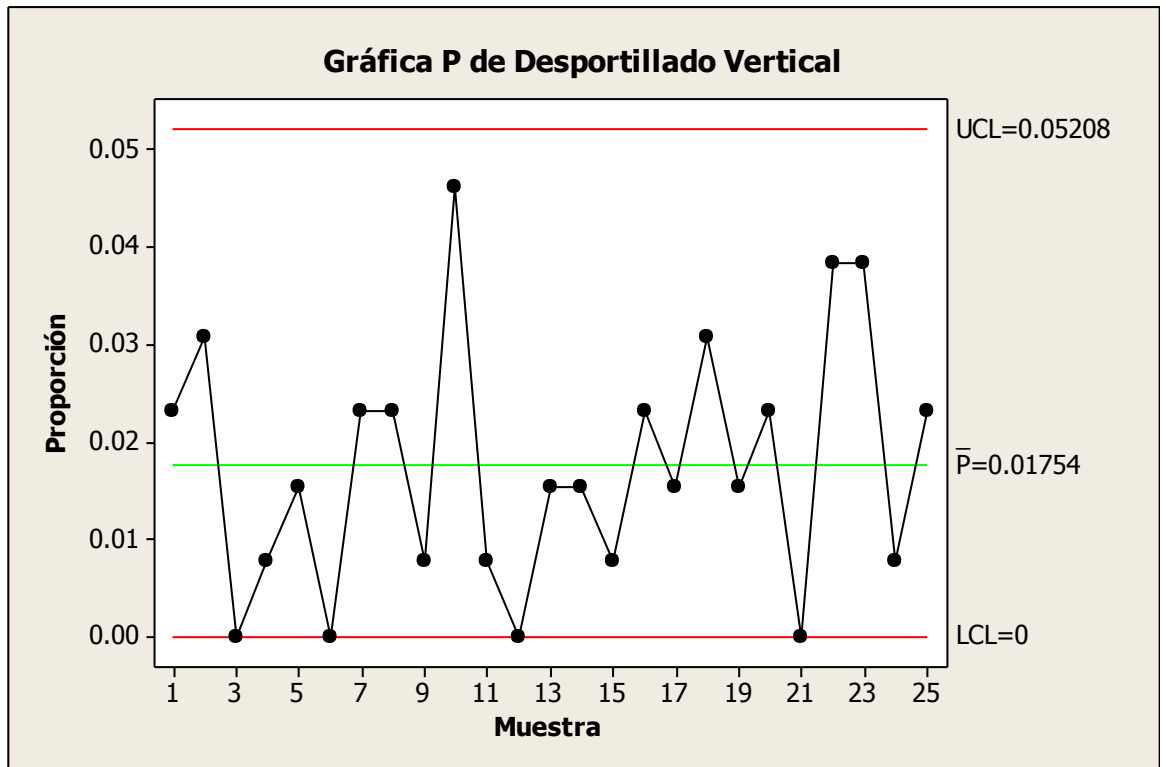


Figura 4.27: Carta de control p de desportillado vertical de paleta corta en Pulidores.
Fuente: Elaboración propia.

En la carta se aprecia que el proceso se encuentra bajo control con los puntos dentro de los límites y sin presencia de patrones.

4.6 Capacidad del Proceso

Una vez descrita la variabilidad del proceso, es necesario determinar si es capaz de cumplir con las especificaciones del producto establecidas por el cliente. Para esto, generalmente, se utilizan los índices C_p y C_{pk} que determinan tanto dicho cumplimiento, como que el proceso se encuentre centrado con respecto a las especificaciones. Sin embargo, en este caso sólo se tienen especificaciones unilaterales, ya sean superiores o inferiores, por lo que según Montgomery (2007) los Índices de Capacidad del Proceso (CPR) a utilizarse son:

Ecuación 4.6: Índice de capacidad del proceso c_{pu}

Ecuación 4.7: Índice de capacidad del proceso c_{pl}

El primero para especificación superior y el segundo para especificación inferior.

(p. 359)

Montgomery (2007) recomienda que tengan un valor mínimo de 1.25 para procesos existentes, es decir, que ya hayan venido trabajando durante un largo período de tiempo (p. 361). Asimismo, recalca la importancia de cumplir el supuesto de normalidad de los datos para la aplicación de cualquiera de estos índices (p. 364), por lo que a continuación se realiza el análisis de capacidad de los datos que cumplieron dicho supuesto en la sección 4.5 correspondiente a cada subprocesso y producto.

Por otra parte, se utilizará el análisis de capacidad del software estadístico Minitab, el cual muestra el valor de C_{pu} o C_{pl} y en la parte inferior la cantidad de unidades defectuosas en partes por millón (PPM). Para ello toma en cuenta tres tipos de rendimiento o desempeño: el Desempeño Observado que se basa en los datos reales utilizados para cada caso en particular (histograma de la figura), mientras que el Rendimiento Esperado “Dentro de” y el General toman curvas teóricas que ayudan a generalizar al desempeño del proceso. La diferencia entre estas dos últimas es que el Rendimiento “Dentro de” utiliza la variabilidad, es decir, la desviación estándar existente dentro de cada subgrupo o muestra, relacionándose con los índices C_{pu} y C_{pl} , mientras que el General toma la desviación estándar entre los subgrupos, relacionándose con los índices P_{pu} y P_{pl} que no serán

considerados (Ayuda de Minitab). Montgomery (2007) y otros autores no consideran útiles estos últimos y los han condenado (p. 372-373).

4.6.1 Tornos.

Para poder realizar el análisis mencionado, es necesario que los datos sigan una distribución normal. Sin embargo, por definición, las proporciones y los datos que se utilizan en cartas de control por atributos siguen una distribución binomial, por lo que es necesario hacerles una transformación. El método a utilizarse será el de Box-Cox, el cual consiste en transformar los valores utilizando una ecuación del tipo $y = \lambda x$, donde λ puede tomar valores entre -5 y 5 que representan ecuaciones como logaritmo con $\lambda = 0$ o raíz cuadrada cuando $\lambda = 0.5$, así que hay que hallar el que mejor describa la normalidad. Para esto se utilizará el software estadístico Minitab, que obtiene la lambda óptima.

Para los tornos no existen especificaciones definidas sobre un máximo de chapas defectuosas. Considerando que de cada chapa pueden obtenerse cientos y hasta miles de palitos y que se pueden procesar entre 30 y 40 tucos por hora, se ha decidido que sería ideal permitir un 10% como máximo. Así, tomando en cuenta que las muestras son de tamaño 15, la cantidad permitida sería 1.5, redondeando a 2.

4.6.1.1 Torno 2.

El resultado obtenido con Minitab para la chapa Ondulada es el siguiente:

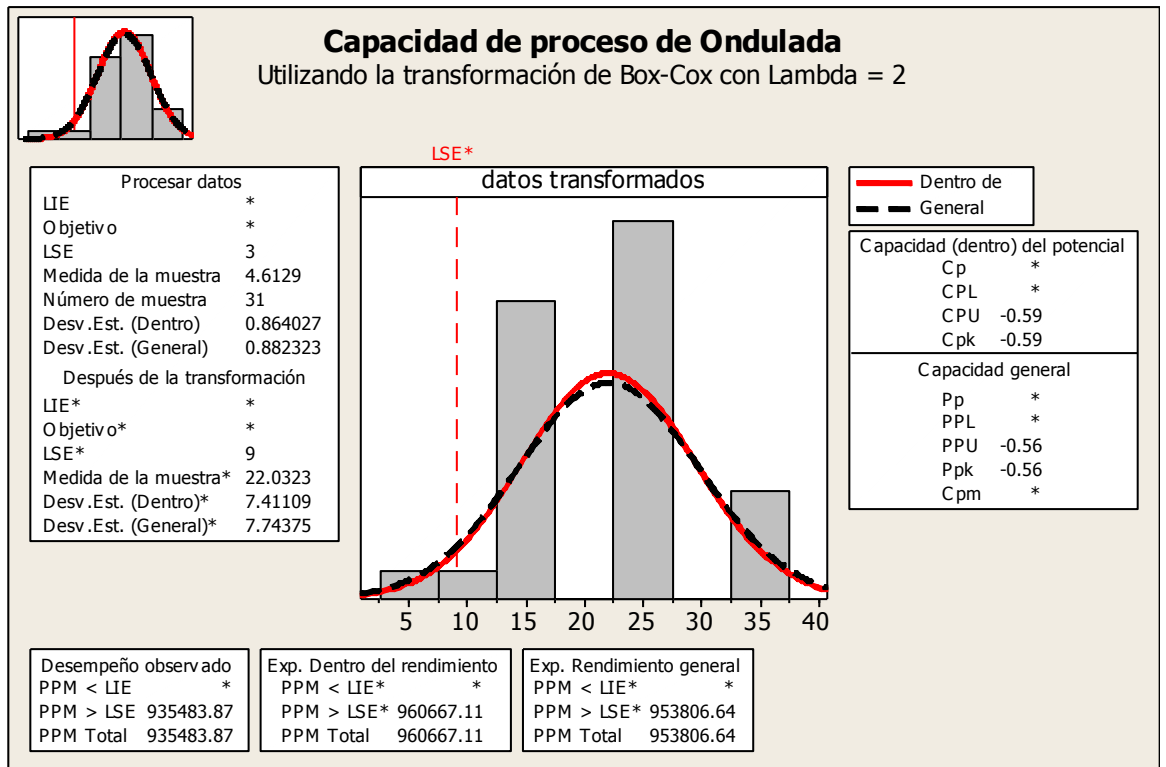


Figura 4.28: Análisis de capacidad de ondulada en Torno 2.

Fuente: Elaboración propia.

El análisis transformado muestra que $\lambda = 2$ es el óptimo y que a partir de esto, el C_{pu} es -0.59. El valor es negativo debido a que el límite es menor a la media, lo que se traduce en una gran cantidad de defectuosos, 960667.11 por millón, es decir, casi todos.

En cuanto a la chapa Torcida el análisis es el siguiente:

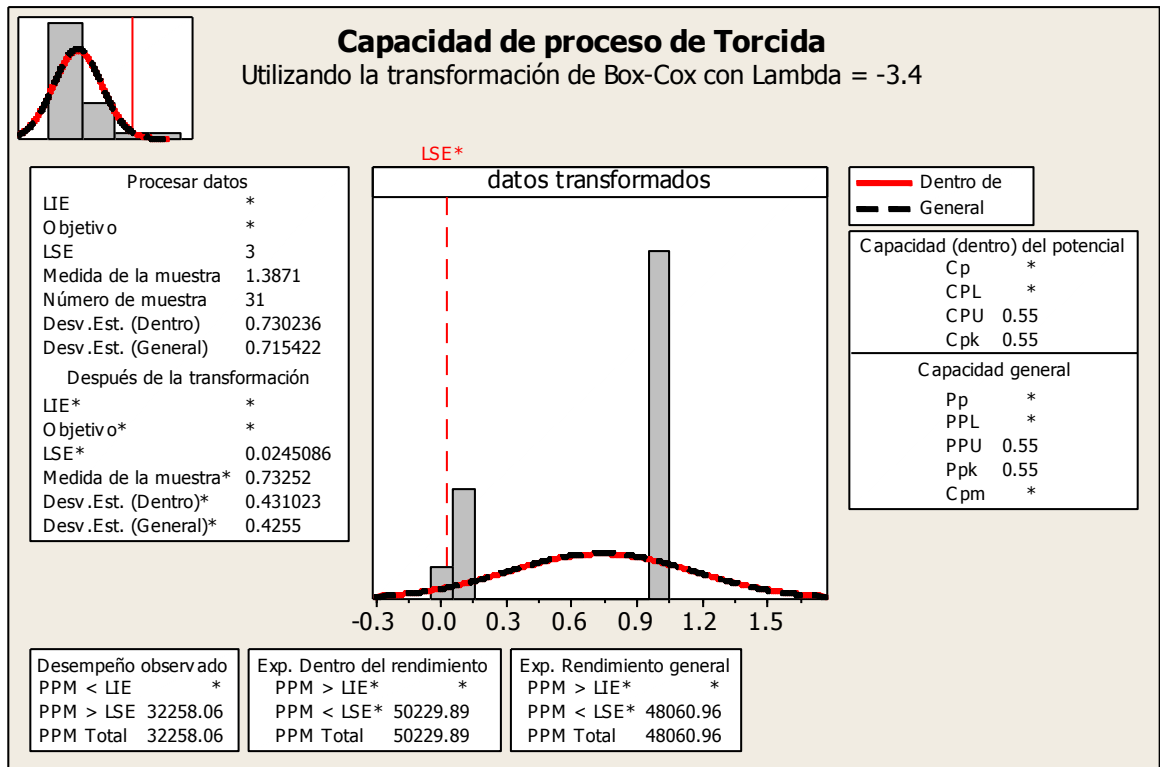


Figura 4.29: Análisis de capacidad de torcida en Torno 2.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar que la transformación óptima se obtiene con $\lambda = -3.4$, que es lo más parecido a una normal (como se ve en el histograma). El C_{pu} es 0.55 reflejando 50229.89 defectuosos por millón en el rendimiento “Dentro de”.

4.6.1.2 Torno 3.

En cuanto al Torno 3, el análisis de capacidad para la chapa Ondulada es el siguiente:

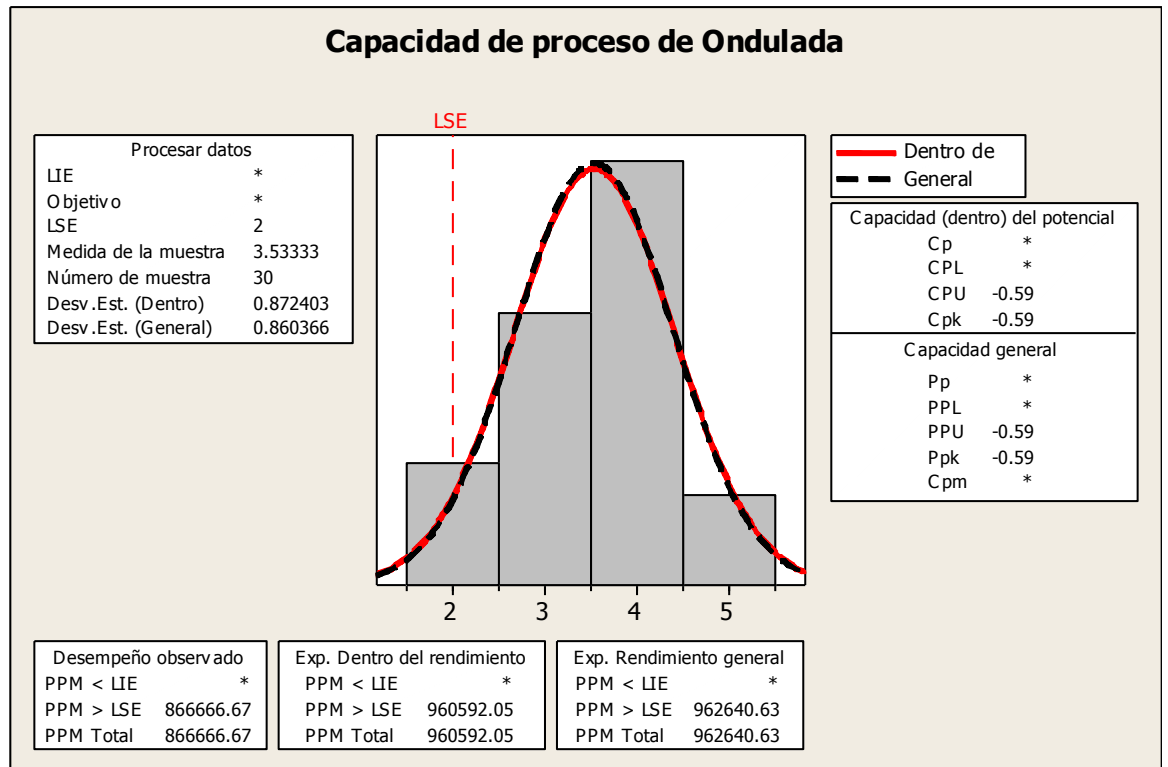


Figura 4.30: Análisis de capacidad de ondulada en Torno 3.

Fuente: Elaboración propia.

En este caso, Minitab no seleccionó una lambda óptima, lo que podría interpretarse como $\lambda = 1$, de modo que la función es la misma, lo que probablemente sugeriría una aproximación de la distribución Binomial a la Normal. Así, el C_{pu} es -0.59 debido a que la media es mayor al límite superior produciendo 960592.05 productos defectuosos por millón.

Para la chapa Torcida el resultado fue este:

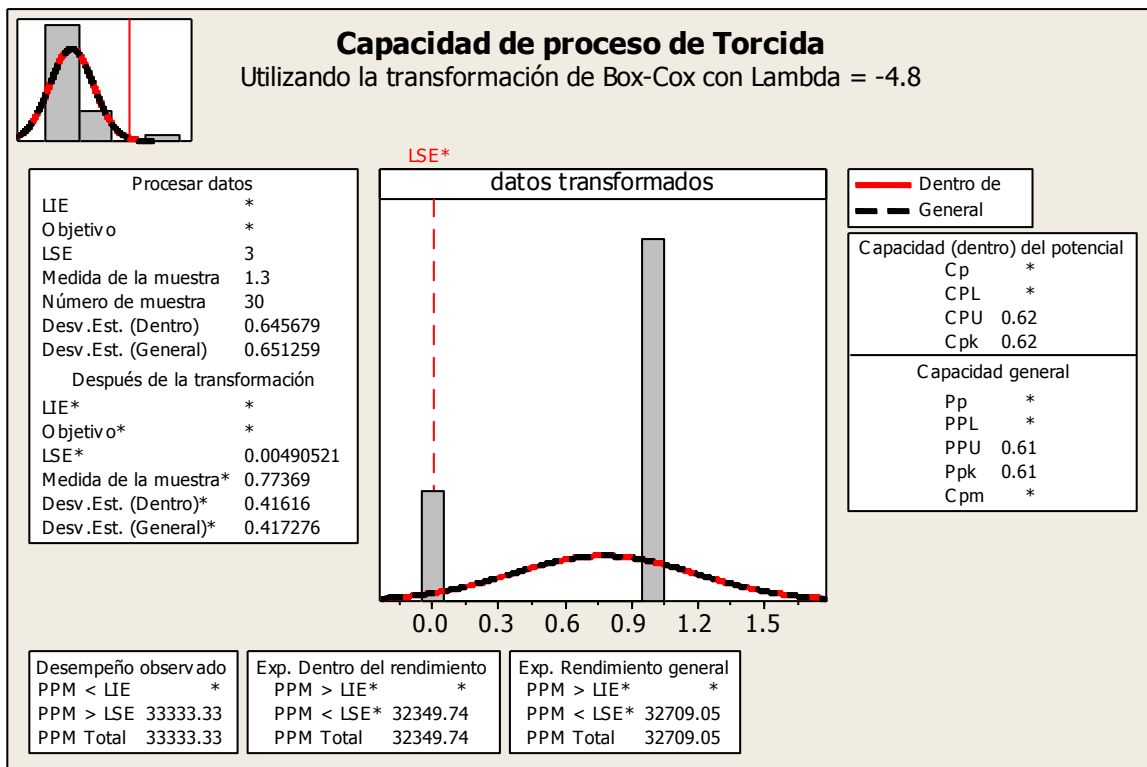


Figura 4.31: Análisis de capacidad de torcida en Torno 3.

Dado que los datos no son muy variables, el histograma busca adaptarse lo más posible a una normal, siendo la mejor lambda -4.8. De aquí, el C_{pu} es 0.62 con 32349.74 defectuosos por millón.

4.6.1.3 Torno 4.

En este torno el análisis de capacidad con Box-Cox fue el siguiente:

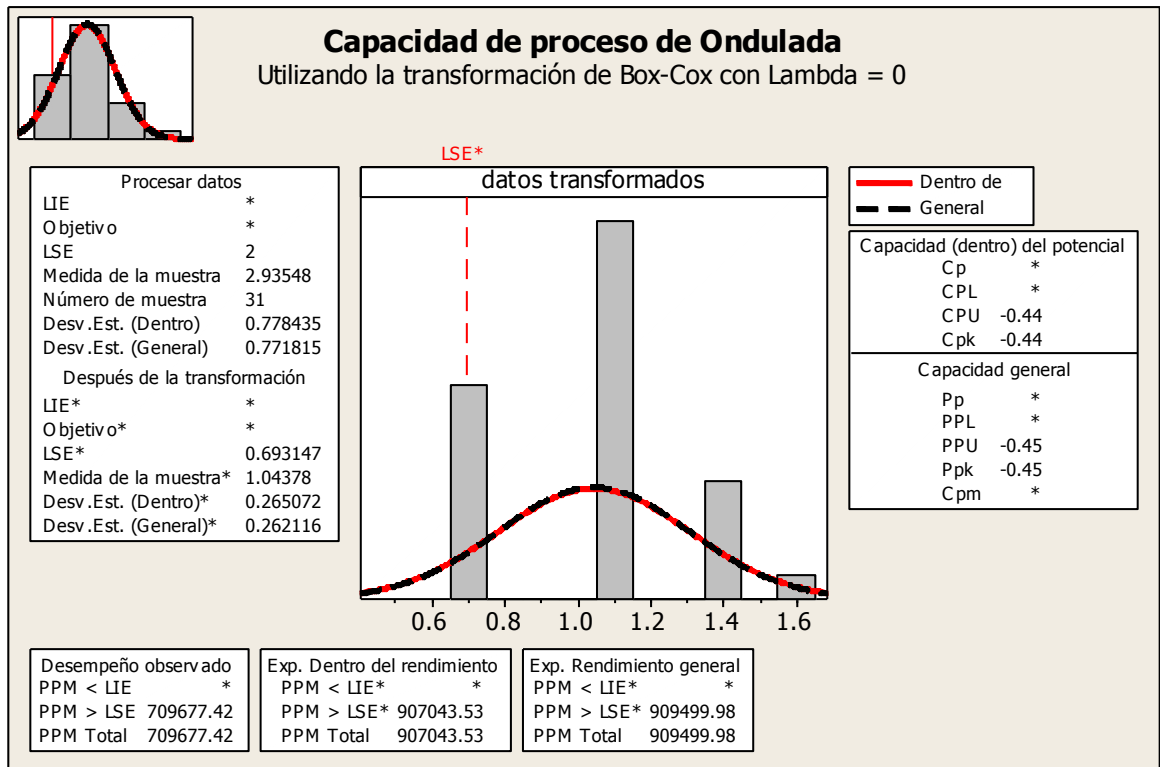


Figura 4.32: Análisis de capacidad de ondulada en Torno 4.

Fuente: Elaboración propia.

La lambda óptima es 0, lo que refleja una función logarítmica, a partir de esto el C_{pu} es de -0.44 y se presentan 907043.53 chapas defectuosas por millón.

La chapa Torcida se presenta de la siguiente forma:

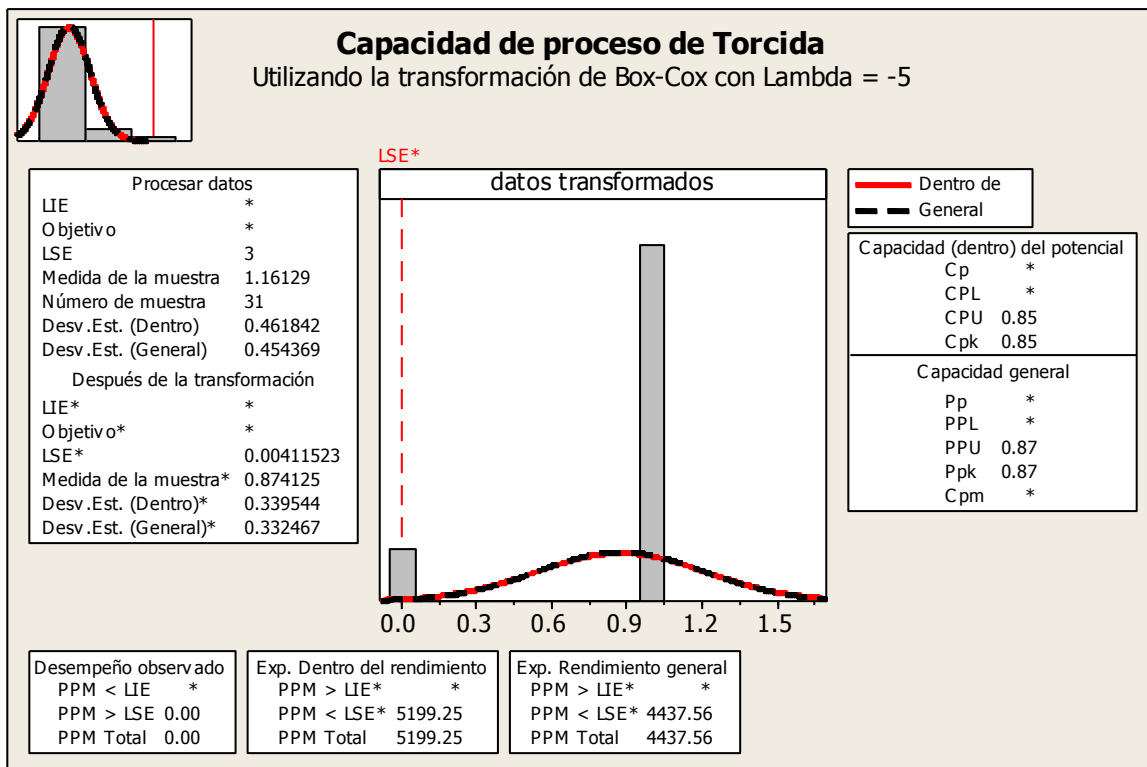


Figura 4.33: Análisis de capacidad de torcida en Torno 4.

Fuente: Elaboración propia.

Para este caso la lambda óptima fue -5, el C_{pu} es 0.85 resultando en 5199.25 defectuosas por millón. El relativamente nivel alto de C_{pu} refleja que la mayoría de muestras que se tomaron no tuvieron chapa torcida.

4.6.1.4 Torno 5.

En cuanto al torno 5 la capacidad referente a chapa Ondulada es:

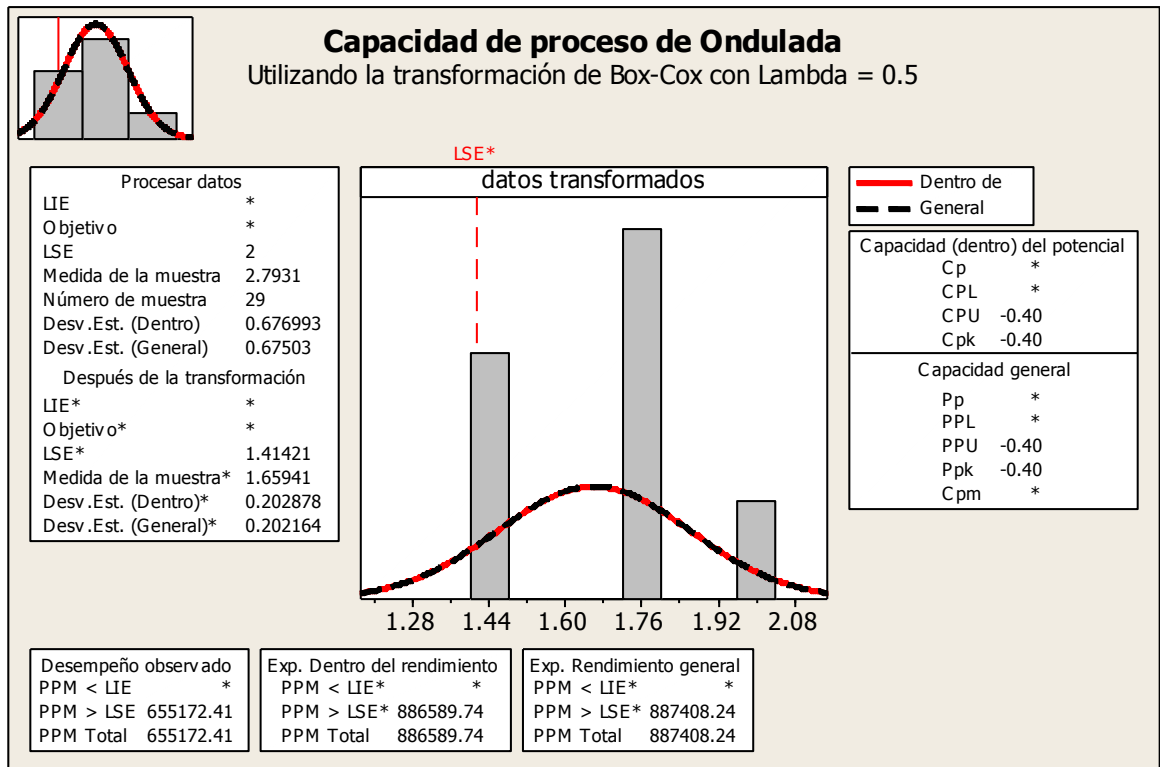


Figura 4.34: Análisis de capacidad de ondulada en Torno 5.

Fuente: Elaboración propia.

La transformación de Box-Cox que se utilizó fue la raíz cuadrada, pues la lambda óptima fue 0.5. El C_{pu} es -0.4 que conlleva a que se presenten 886589.74 chapas defectuosas por millón.

El defecto de chapa Torcida presenta el siguiente análisis de capacidad:

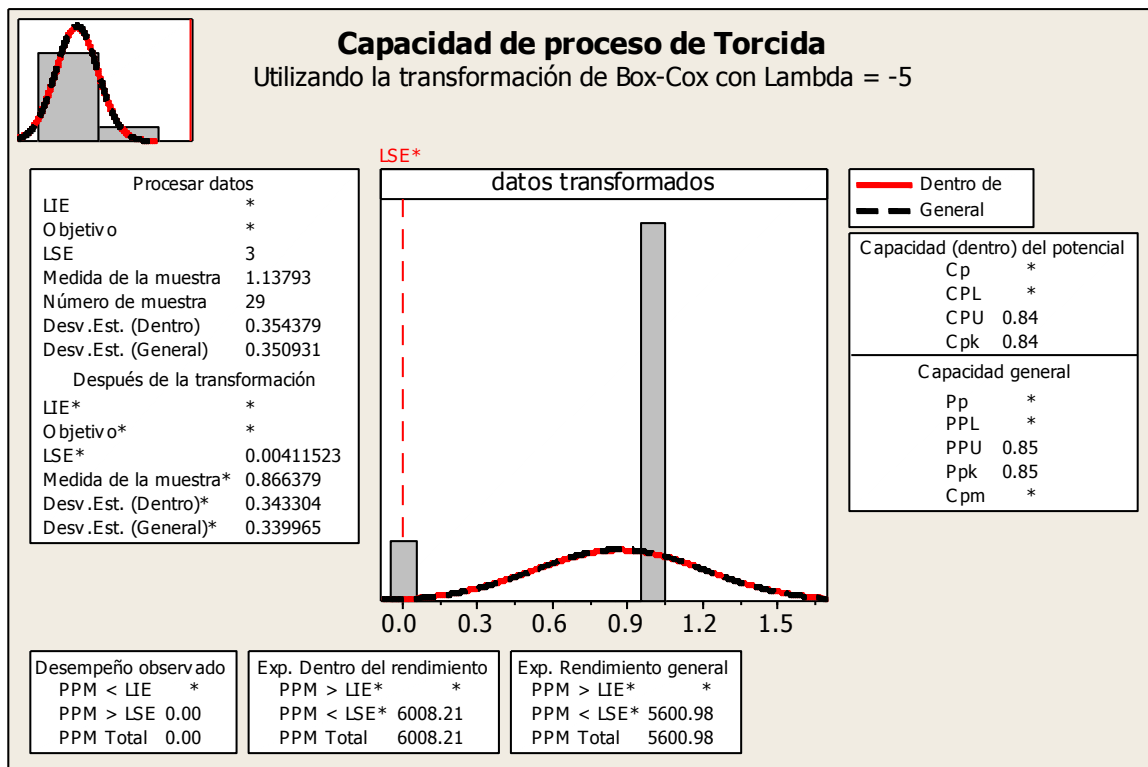


Figura 4.35: Análisis de capacidad de torcida en Torno 5.

Fuente: Elaboración propia.

La lambda óptima fue -5 en la transformación, lo que devuelve una distribución normal con C_{pu} de 0.84 y 6008.21 chapas defectuosas por millón. Al igual que en el caso del Torno 4, estos valores son reflejo de que en la mayoría de muestras no se hayan presentado Torcidas.

4.6.1.5 Torno 7.

El análisis de capacidad de la chapa Ondulada correspondiente a este Torno es:

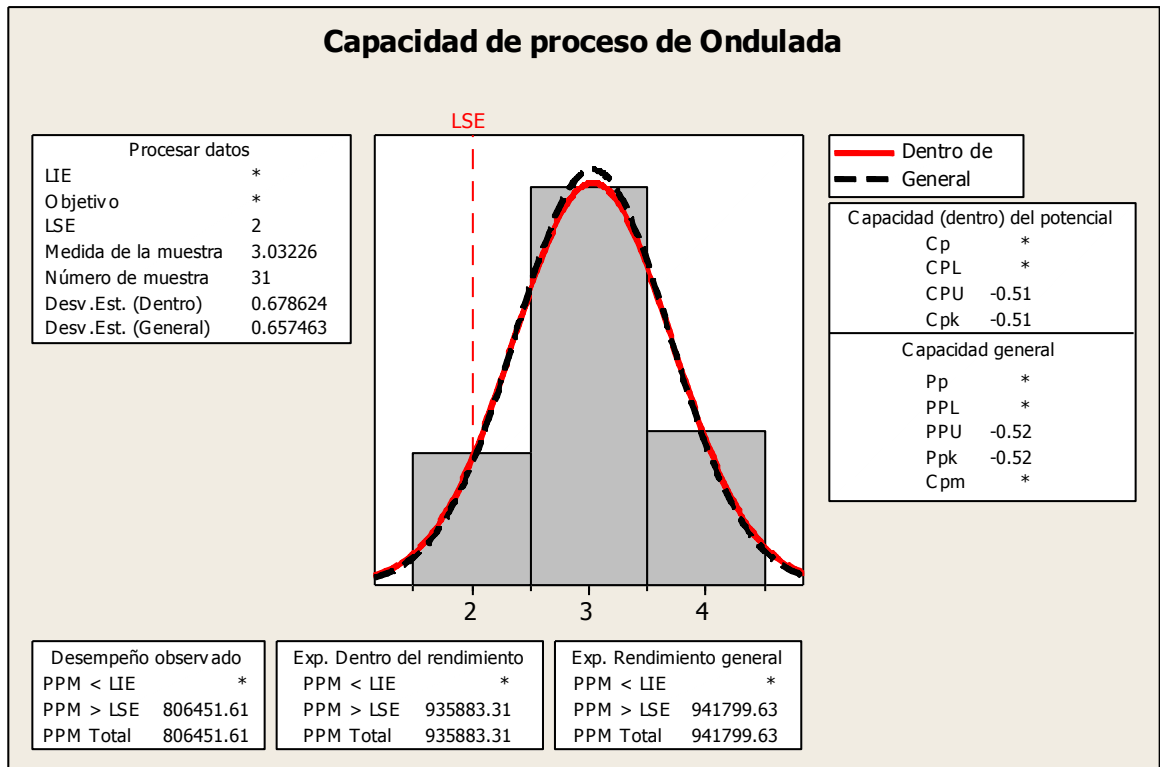


Figura 4.36: Análisis de capacidad de ondulada en Torno 7.

Fuente: Elaboración propia.

Este es otro caso donde el valor de lambda es 1 y podría inferirse que se utiliza la aproximación de la distribución Binomial a la Normal. Una vez dicho esto, el valor de C_{pu} es -0.51 pues el límite es menor a la media, dando como resultado 935883.31 chapas defectuosas por millón.

En cuanto a la chapa torcida el resultado del análisis es el siguiente:

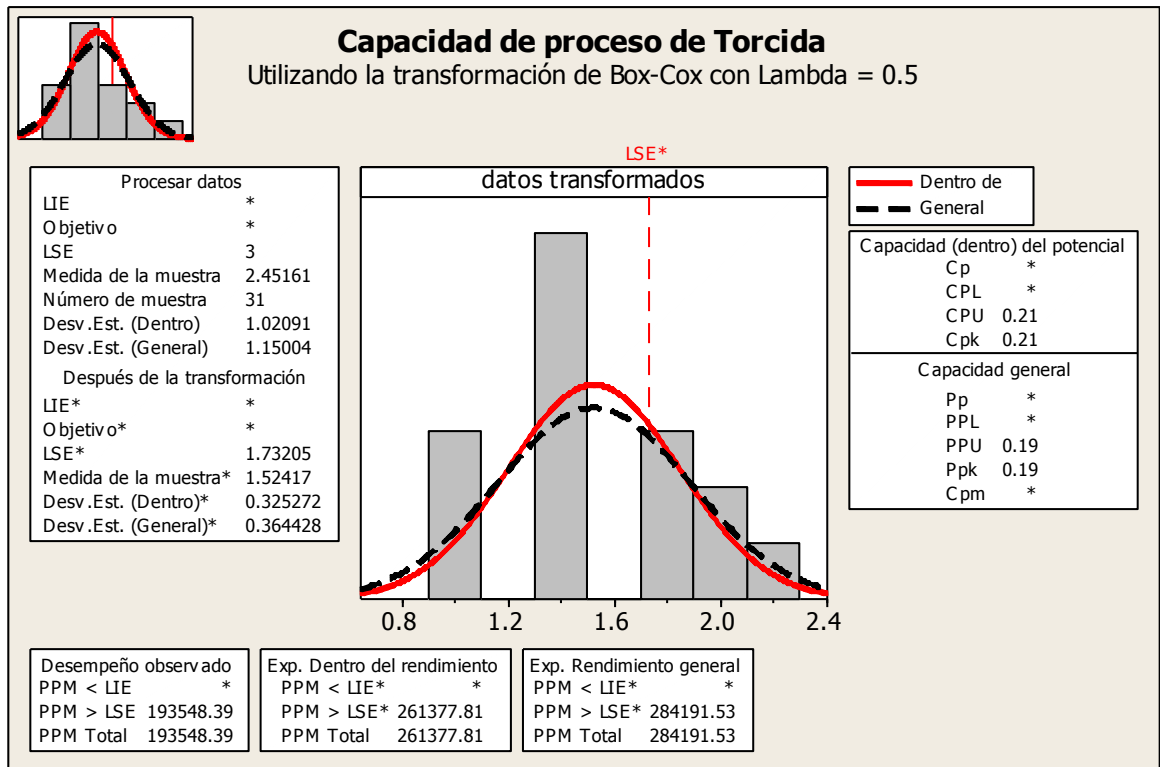


Figura 4.37: Análisis de capacidad de torcida en Torno 7.

Fuente: Elaboración propia.

Se tiene una lambda óptima de 0.5 reflejando una transformación con raíz cuadrada.

Así, el C_{pu} es de 0.21 con 261377.81 defectuosas por millón.

4.6.2 Secador.

En el Secador se analizarán los productos Paleta Larga y Paleta Corta, con los defectos Convexidad y Banana y, Convexidad y Bajo Contorno, respectivamente. Cabe recalcar que no existen valores exactos de las especificaciones en este subproceso, por lo que los valores son calculados con un margen de 0.2 mm más que las especificaciones de producto final, pues es lo que aproximadamente se pierde durante el subproceso de Pulido.

4.6.2.1 Paleta Larga.

La Convexidad tiene una especificación superior (USL o LSE) de 3.2 mm, la media con valor 2.67 mm y la desviación estándar de 0.3796 se pueden apreciar en la Figura 4.13 de la Sección 4.4.2.1.1. Con estos valores se realizó el análisis de capacidad en Minitab, obteniéndose lo siguiente:

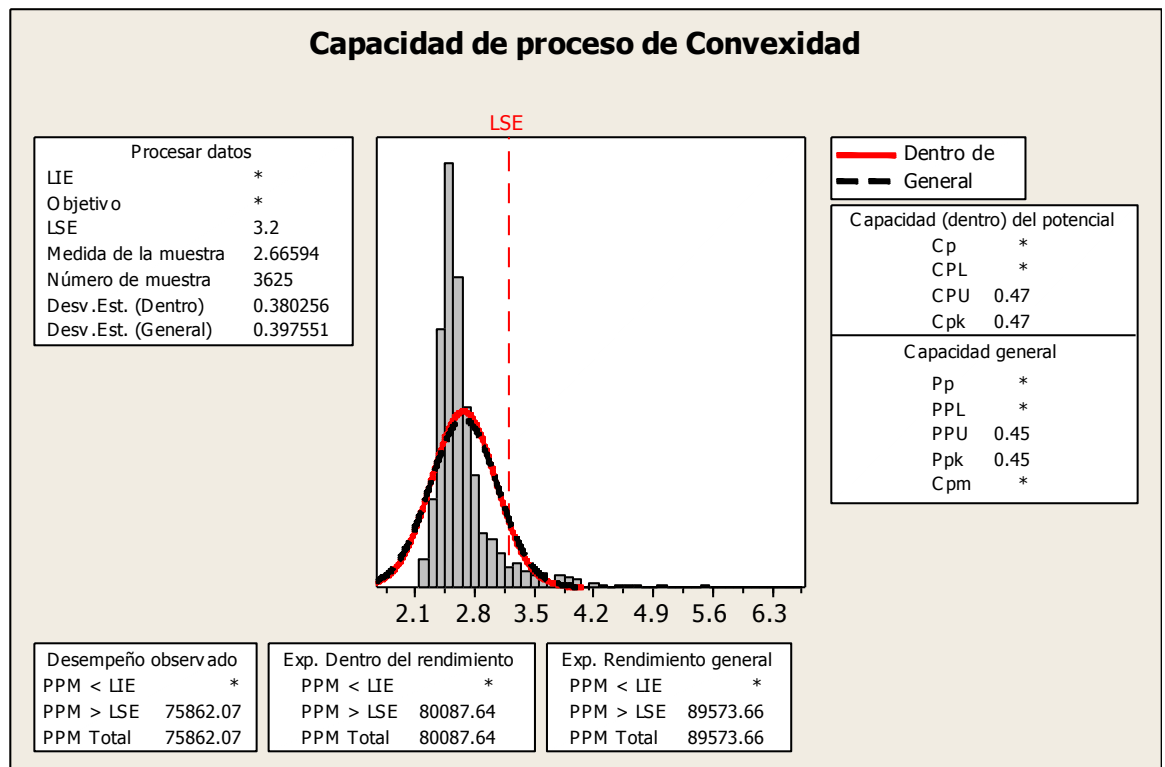


Figura 4.38: Análisis de capacidad de convexidad de paleta larga en Secador.

Fuente: Elaboración propia.

Se muestra que el índice C_{pu} tiene un valor de 0.47, el cual es bajo en comparación al 1.25 recomendado. Además, se expone que tomando la variabilidad dentro de cada muestra se producen 80087.64 productos defectuosos por millón.

En cuanto al defecto Banana, los datos obtenidos en la Figura 4.15 dan una media de 10.08 mm y una desviación estándar de 0.309, con una especificación superior (USL o LSE) de 10.7 mm el análisis fue el siguiente:

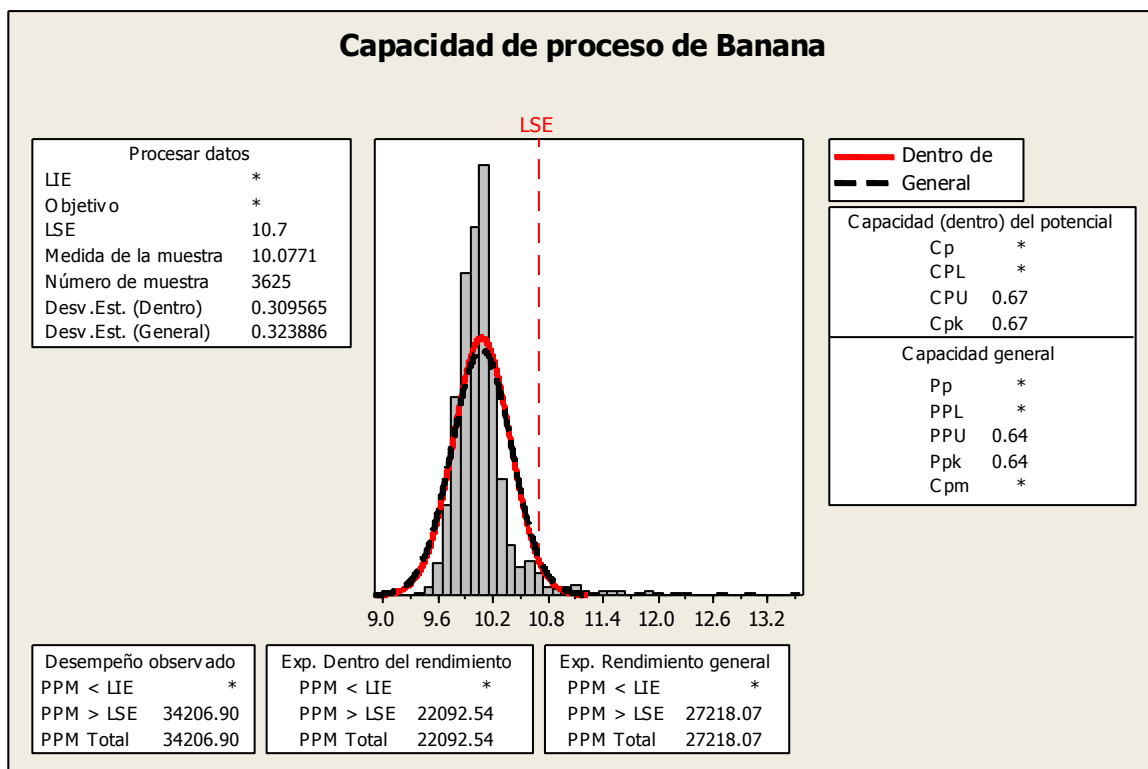


Figura 4.39: Análisis de capacidad de banana de paleta larga en Secador.
Fuente: Elaboración propia.

El informe muestra que el C_{pu} es igual a 0.67, lo que es bajo respecto al 1.25 de referencia. De acuerdo al Rendimiento Esperado “Dentro de” hay 22092.54 unidades defectuosas por millón.

4.6.2.2 Paleta Corta.

En paleta corta se realizó el análisis de Convexidad con media de 2.53 mm y desviación estándar 0.2122 como se muestra en la Figura 4.17 de la Sección 4.4.2.1.2, y un límite superior de especificación (USL o LSE) de 3.2 mm. El informe es el siguiente:

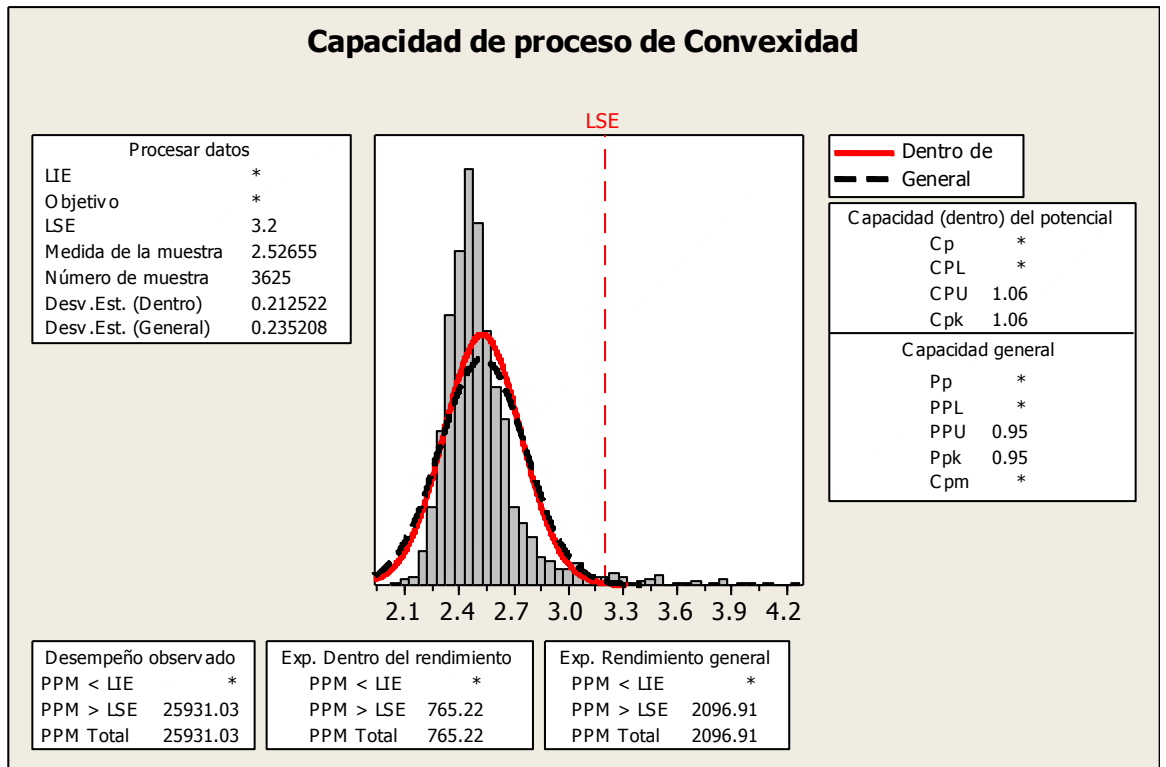


Figura 4.40: Análisis de capacidad de convexidad de paleta corta en Secador.

Fuente: Elaboración propia.

En este caso, el proceso trabaja con un C_{pu} de 1.06, más cercano que en casos anteriores al 1.25 recomendado. Esto se refleja en un Rendimiento “Dentro de” de 765.22 defectuosos por millón.

Para el defecto Bajo Contorno se utilizó un límite inferior de especificación (LSL o LIE) de 9.2 mm, la media que presentaron las muestras fue de 9.72 mm y la desviación estándar 0.238, como se observa en la Figura 4.19 de la Sección 4.4.2.1.2. El análisis fue el siguiente:

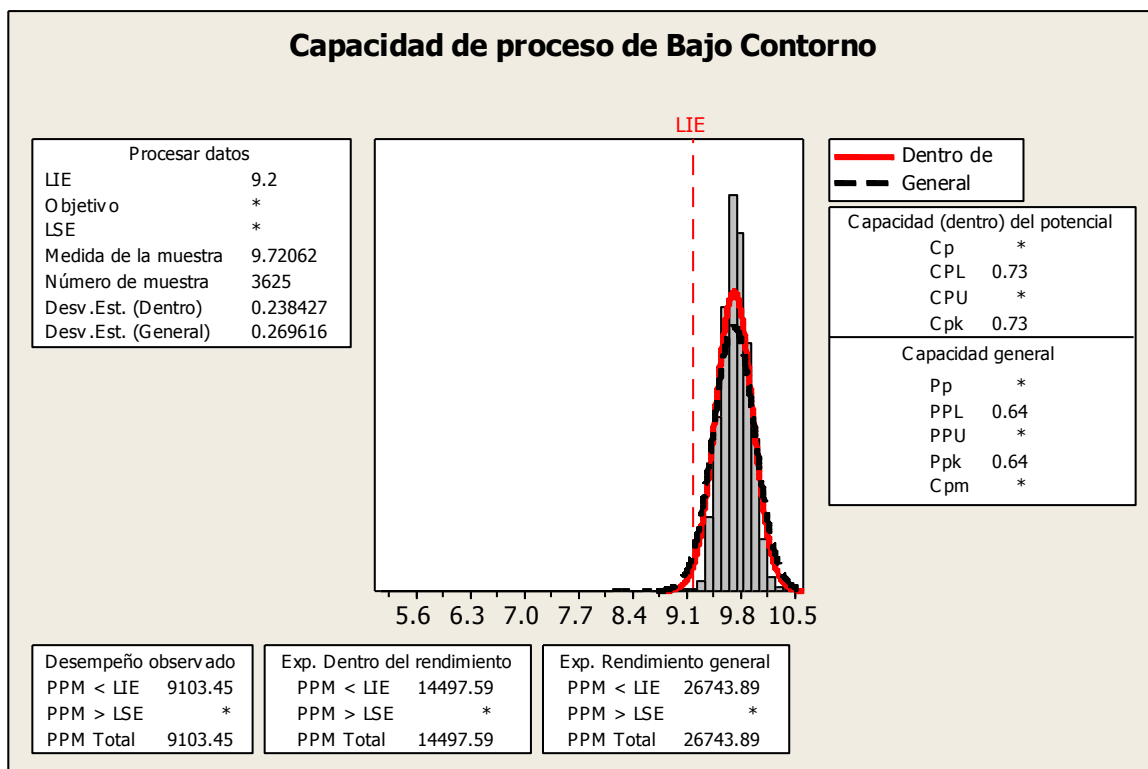


Figura 4.41: Análisis de capacidad de bajo contorno de paleta corta en Secador.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura se muestra un C_{pl} de 0.73, el cual es bajo respecto al 1.25 de referencia. En cuanto al Rendimiento se tienen 14497.59 unidades defectuosas por millón.

4.6.3 Pulidores.

En los Pulidores se analizarán los productos Paleta Larga y Paleta Corta, con los defectos Convexidad y Desportillado Vertical y, Convexidad, Bajo Contorno y Desportillado Vertical, respectivamente. En este punto, el producto ya puede considerarse como final, y por lo tanto las especificaciones a utilizarse serán las establecidas por los clientes. Se genera un inconveniente con el Desportillado Vertical, pues es un defecto por atributo, es decir, seguirá una distribución discreta, por definición Binomial. De esta forma, deberá utilizarse el método de Box-Cox, al igual que en los Tornos, para transformar los datos a una distribución Normal. Igualmente, no se tiene una especificación definida para una máxima cantidad de este tipo de defecto, por lo tanto se ha decidido, en

base a especificaciones de un cliente muy riguroso que permite un 0.4% en conjunto con otros tres defectos más, ajustarlo a 5%.

4.6.3.1 Paleta Larga.

La Convexidad tiene una especificación superior (USL o LSE) de 3 mm, la media con valor 2.69 mm y la desviación estándar de 0.4438 se pueden apreciar en la Figura 4.21 de la Sección 4.4.3.1.1. Con estos valores se realizó el análisis de capacidad en Minitab, obteniéndose lo siguiente:

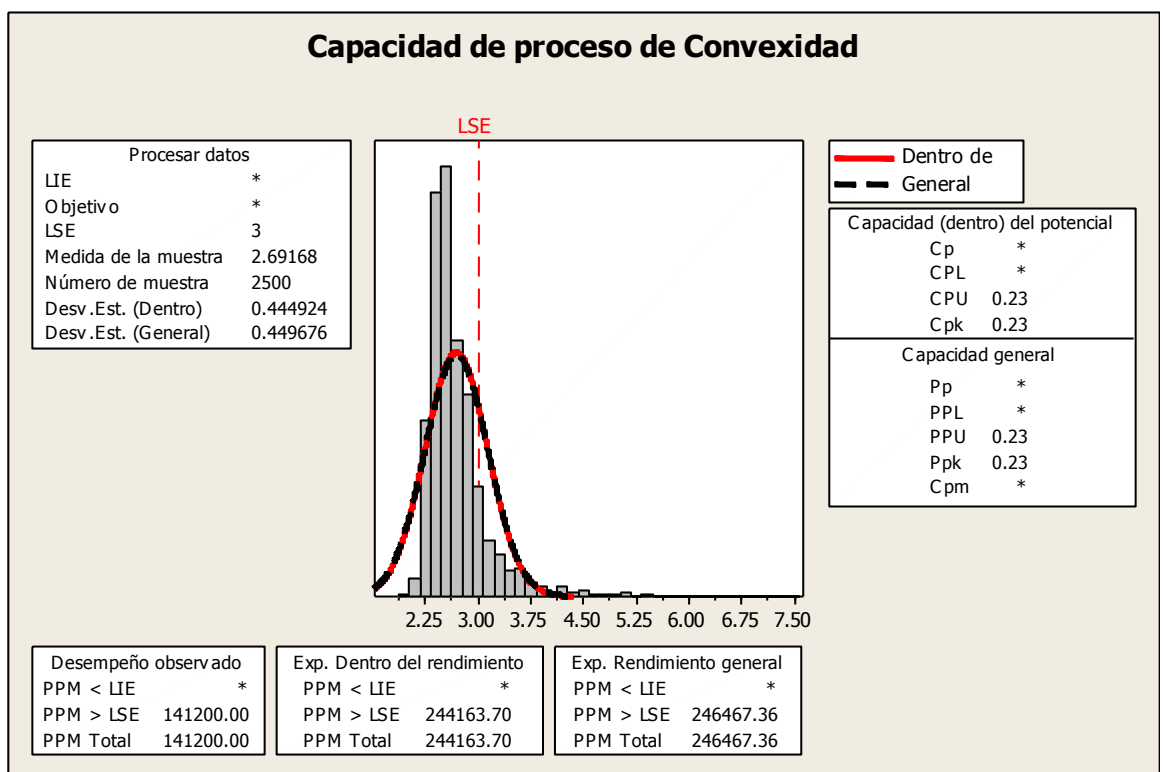


Figura 4.42: Análisis de capacidad de convexidad de paleta larga en Pulidores.
Fuente: Elaboración propia.

En este caso el C_{pu} tiene un valor 0.23, muy bajo con respecto al 1.25 recomendado.

Esto se traduce en un rendimiento bajo, 244163.7 unidades defectuosas por millón.

En el caso del Desportillado Vertical, el análisis obtenido en Minitab es el siguiente:

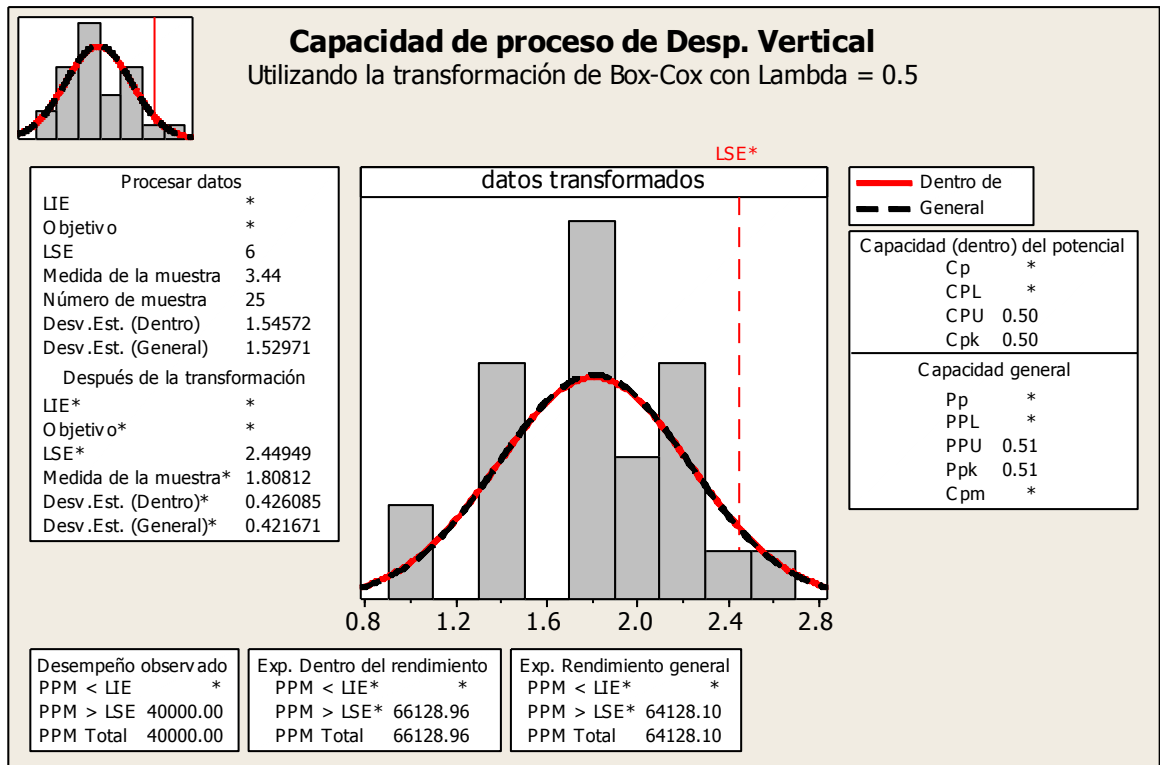


Figura 4.43: Análisis de capacidad de desportillado vertical de paleta larga en Pulidores.
Fuente: Elaboración propia.

La figura muestra que la transformación óptima se dio con una lambda de 0.5, es decir, con la raíz cuadrada de los datos. Así, el C_{pu} tiene un valor de 0.5 involucrando 66128.96 unidades defectuosas por millón.

4.6.3.2 Paleta Corta.

En paleta corta se realizó el análisis de Convexidad con media de 2.53 mm y desviación estándar 0.3692 como se muestra en la Figura 4.24 de la Sección 4.4.3.1.2, y un límite superior de especificación (USL o LSE) de 3 mm. El informe es el siguiente:

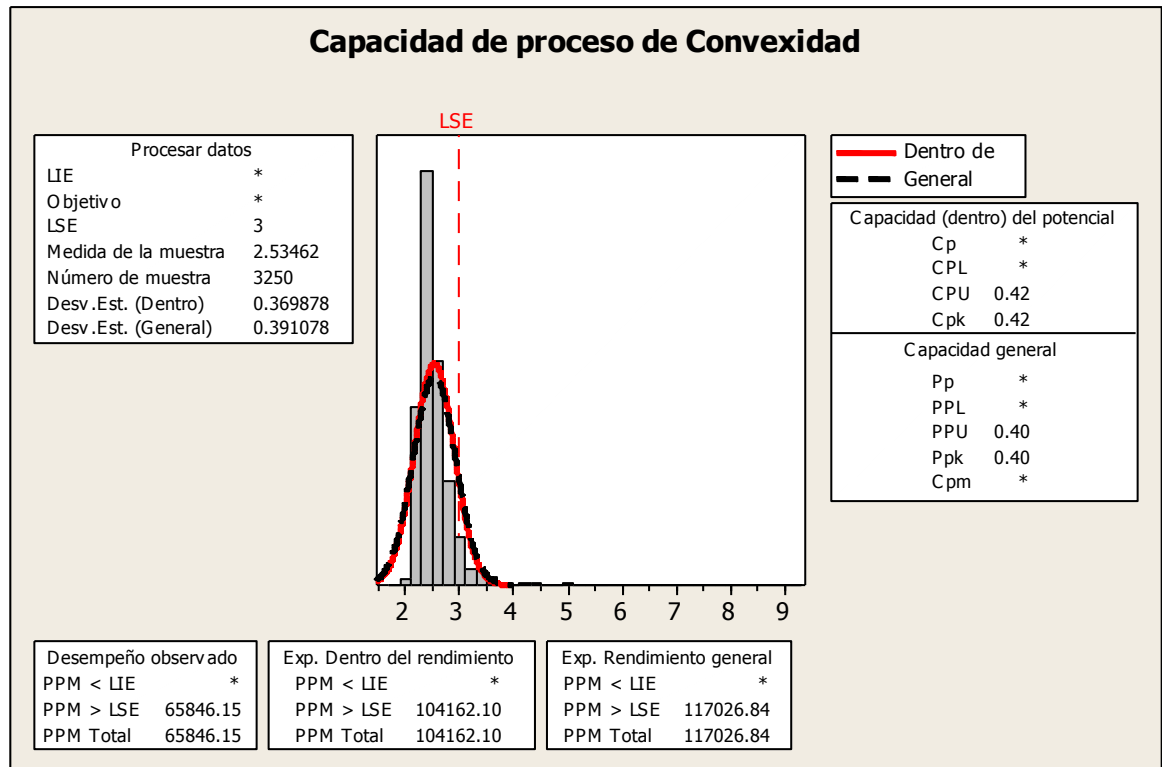


Figura 4.44: Análisis de capacidad de convexidad de paleta corta en Pulidores.

El proceso trabaja con un C_{pu} de 0.42, lejano al 1.25 recomendado. Esto se refleja en un Rendimiento “Dentro de” de 104 162.1 defectuosos por millón.

Para el defecto Bajo Contorno se utilizó un límite inferior de especificación (LSL o LIE) de 9 mm, la media que presentaron las muestras fue de 9.39 mm y la desviación estándar 0.511, como se observa en la Figura 4.26 de la Sección 4.4.3.1.2. El análisis fue el siguiente:

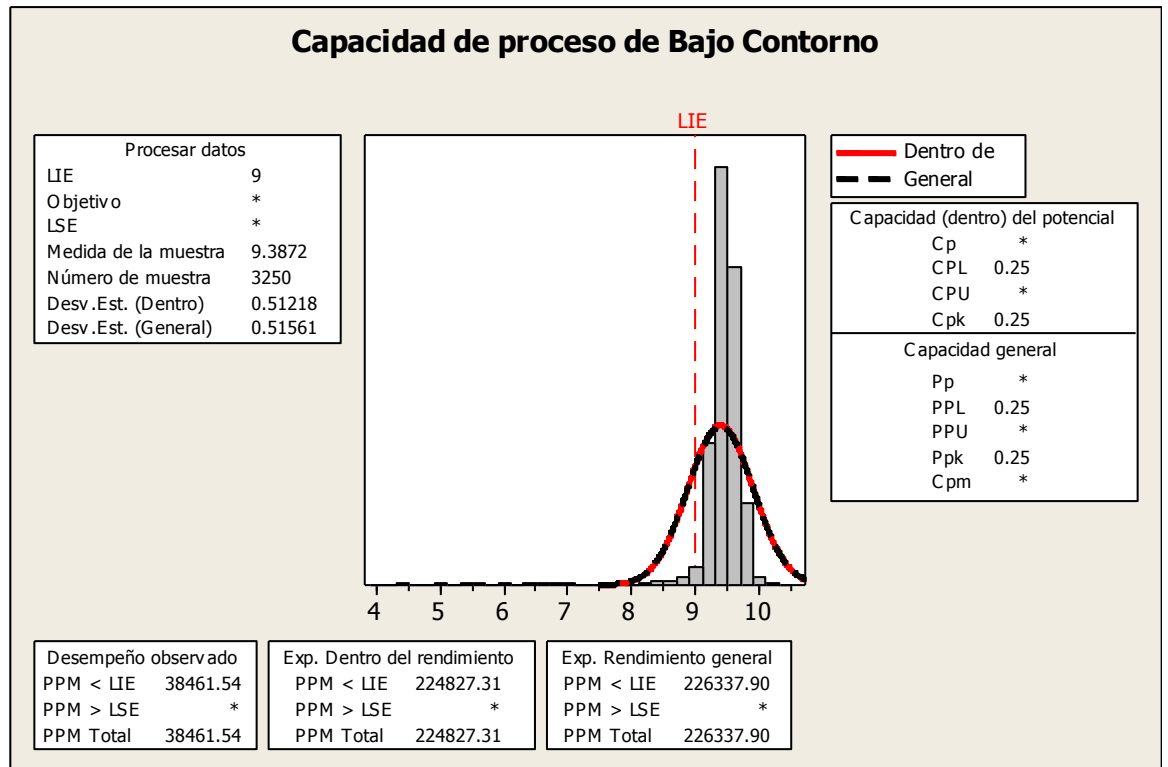


Figura 4.45: Análisis de capacidad de bajo contorno de paleta corta en Pulidores.

En la Figura se muestra un C_{pl} de 0.25, el cual es muy bajo respecto al 1.25 de referencia. En cuanto al Rendimiento se tienen 224827.31 unidades defectuosas por millón.

Finalmente, para el análisis de Desportillado Vertical se utilizó como límite el 5% de 130, es decir 6.5 redondeado a 7, lo que significa un máximo de 7 palitos por cada 130.

La transformación con Box-Cox es:

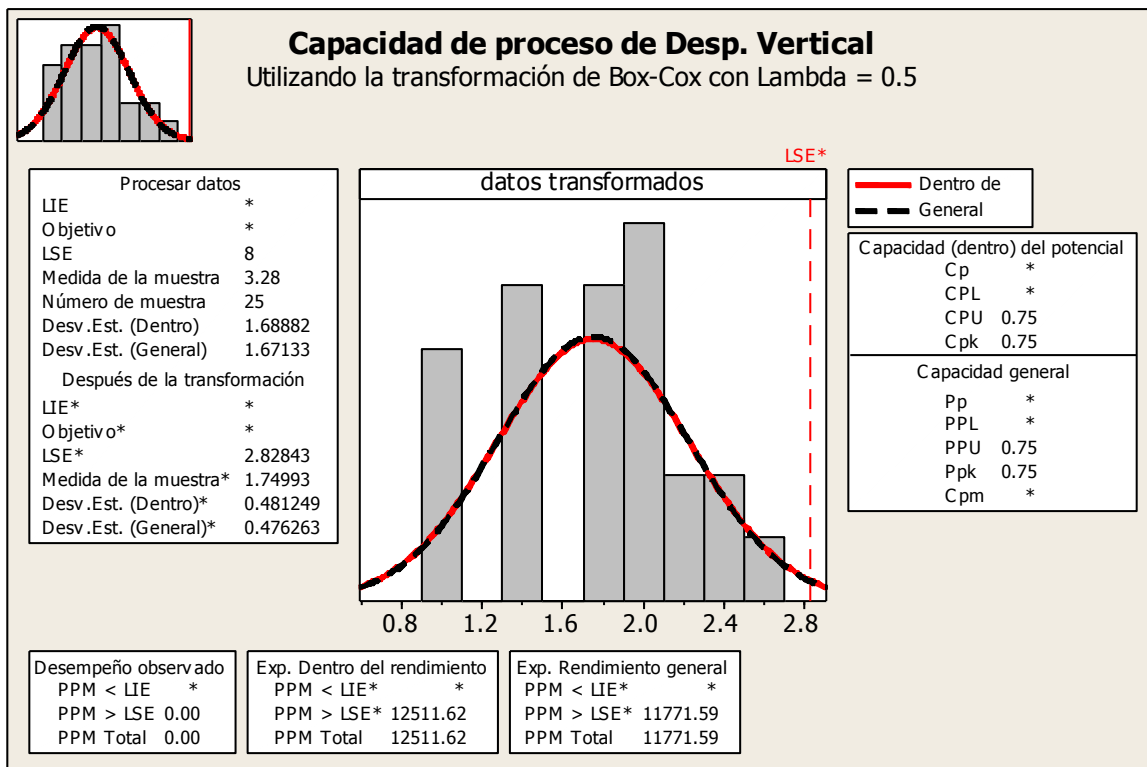


Figura 4.46: Análisis de capacidad de desportillado vertical de paleta corta en Pulidores.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la figura, la lambda óptima que mejor normalizó los datos fue 0.5. Se obtuvo un C_{pu} de 0.75 y un Rendimiento de 12511.62 defectuosos por millón.

Para resumir los datos obtenidos se realizó la siguiente tabla:

Tabla 4.12: Capacidad y partes por millón.

Subproceso	Producto	Defecto	C_{pu} o C_{pl}	PPM
Tornos	Torno 2	Ondulado	-0.59	960667.11
		Torcido	0.55	50229.89
	Torno 3	Ondulado	-0.59	960592.05
		Torcido	0.62	32349.74
	Torno 4	Ondulado	-0.44	907043.53
		Torcido	0.85	5199.25
	Torno 5	Ondulado	-0.4	886589.74
		Torcido	0.84	6008.21
	Torno 7	Ondulado	-0.51	935883.31
		Torcido	0.21	261377.81
Secador	Paleta Larga	Convexidad	0.47	80087.64
		Banana	0.67	22092.54
	Paleta Corta	Convexidad	1.06	765.22
		Bajo Contorno	0.73	14497.59
Pulidores	Paleta Larga	Convexidad	0.23	244163.7
		Desp. Vertical	0.5	66128.96
	Paleta Corta	Convexidad	0.42	104162.1
		Bajo Contorno	0.25	224827.31
		Desp. Vertical	0.75	12511.62

Fuente: Elaboración propia.

El subproceso que más problemas tiene son los Tornos en el defecto de Ondulado. Además, se nota una clara diferencia entre los índices de capacidad del Secador con los de los Pulidores, siendo estos últimos más bajos.

4.7 Nivel Sigma

El nivel sigma permite comparar qué tan lejano se encuentra trabajando el proceso con respecto al nivel 6 sigma (3.4 defectos por millón de oportunidades). Para el cálculo del nivel sigma en primer lugar se debe obtener el valor de los Defectos por Millón de Oportunidades, para conseguir esto es necesario calcular primero los Defectos por Unidad, cuya fórmula es la siguiente:

Ecuación 4.8: Cálculo de DPU

A partir de esto, sí se llega a la formula deseada de los DPMO:

Ecuación 4.9: Cálculo de DPMO

Dado que en el análisis de capacidad se obtuvieron las Partes por Millón, se puede utilizar este valor que representaría:

Así, los DPMO serían:

Ecuación 4.10: Cálculo de DPMO en base a PPM

4.7.1 Tornos.

Para los tornos debe considerarse dos oportunidades de defectos por unidad, pues se analizaron los defectos Ondulada y Torcida.

4.7.1.1 Torno 2.

El cálculo de los DPMO es:

Consultando las tablas de conversión, el nivel sigma es el siguiente:

DPMO	Nivel Sigma
507978.31	1.48
503989.36	1.49

Dado que 505448.5 se encuentra más cercano al DPMO de un sigma de 1.49, el Nivel Sigma será ese.

4.7.1.2 Torno 3.

Los DPMO serían:

De acuerdo a las tablas de conversión, el nivel sigma es el siguiente:

DPMO	Nivel Sigma
496010.64	1.51

Como los DPMO calculados se encuentran muy cercanos al de un nivel sigma 1.51, se tomará este como el nivel del torno.

4.7.1.3 Torno 4.

Calculando los DPMO se tiene:

De acuerdo a las tablas de conversión, el nivel sigma es el siguiente:

DPMO	Nivel Sigma
456204.69	1.61

Como los DPMO calculados se encuentran muy cercanos al de un nivel sigma 1.61, se tomará este como el nivel del torno.

4.7.1.4 Torno 5.

El cálculo de los DPMO es:

De acuerdo a las tablas de conversión, el nivel sigma es el siguiente:

DPMO	Nivel Sigma
448283.21	1.63
444329.99	1.64

Como los DPMO calculados se encuentran ligeramente más cercanos al nivel sigma 1.64 que 1.63, el primero será su nivel sigma.

4.7.1.5 Torno 7.

El cálculo de los DPMO es:

De acuerdo a las tablas de conversión, el nivel sigma es el siguiente:

DPMO	Nivel Sigma
598706.33	1.25

Como los DPMO calculados se encuentran cercanos al nivel sigma 1.25 se asumirá este como el nivel sigma del Torno 7.

4.7.2 Secador.

4.7.2.1 Paleta Larga.

Considerando los dos defectos que se analizaron para este producto (Convexidad y Banana), el cálculo de los DPMO sería el siguiente:

Consultando las tablas de conversión, el nivel sigma es el siguiente:

DPMO	Nivel Sigma
51550.75	3.13
50502.58	3.14

Dado que 51090.09 se encuentra más cercano al DPMO de un sigma de 3.13, el Nivel Sigma será 3.13.

4.7.2.2 Paleta Corta.

Al igual que para Paleta Larga, se tienen dos posibilidades de defectos (Convexidad y Bajo Contorno). Así:

Consultando las tablas de conversión, el nivel sigma es el siguiente:

DPMO	Nivel Sigma
7549.41	3.91
7760.25	3.92

Dado que el DPMO calculado se encuentra más cercano a los 7549.41, el Nivel Sigma será 3.91.

4.7.3 Pulidores.

4.7.3.1 Paleta Larga (Pulidor 1).

Para este producto, se tienen dos posibilidades de defectos (Convexidad y Desportillado Vertical). Así, el cálculo de los DPMO es:

Consultando las tablas de conversión, el nivel sigma es el siguiente:

DPMO	Nivel Sigma
156247.64	2.51
153864.23	2.52

Dado que el DPMO calculado se encuentra más cercano a los 156247.64, el Nivel Sigma será 2.51.

4.7.3.1 Paleta Corta (Pulidor 7).

Para Paleta Corta, se tienen tres posibilidades de defectos (Convexidad, Bajo Contorno y Desportillado Vertical). Por lo tanto, el cálculo de los DPMO es:

Consultando las tablas de conversión, el nivel sigma es el siguiente:

DPMO	Nivel Sigma
113139.45	2.71

Dado que el DPMO calculado se encuentra muy cercano al nivel sigma 2.71, este será el Nivel Sigma.

Resumiendo se obtiene:

Tabla 4.13: Nivel Sigma

Subproceso	Producto/Máquina	Nivel Sigma
Tornos	Torno 2	1.49
	Torno 3	1.51
	Torno 4	1.61
	Torno 5	1.64
	Torno 7	1.25
Secador	Paleta Larga	3.13
	Paleta Corta	3.91
Pulidores	Paleta Larga	2.51
	Paleta Corta	2.71

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla se aprecia que el nivel sigma menor se encuentra en el Torno 7, aunque de manera general todos los tornos tienen niveles bajos, alejados del objetivo ideal de 6. Posteriormente, los Pulidores presentan un nivel más bajo que el Secador, estando, dentro de estos, la Paleta Larga con un menor nivel que la Corta. Todo es consistente con el análisis de la tabla 4.12.

CAPÍTULO 5: FASE ANALIZAR

5.1 Introducción: Objetivos y Entregables

Previo al inicio de esta fase, se presentan sus objetivos y entregables, de modo que se conozcan los elementos a utilizarse y las herramientas a utilizarse para encontrar soluciones a la causa raíz del problema.

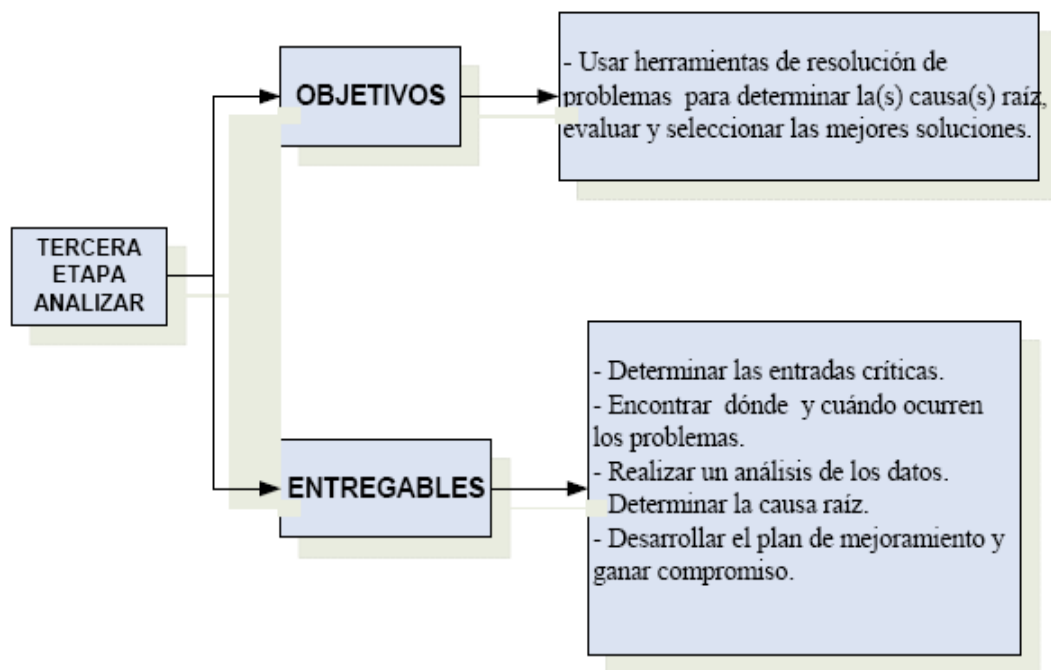


Figura 5.1: Objetivos y entregables de la fase analizar.

5.2 Análisis de Causa Raíz

Para determinar la causa raíz del problema se deben utilizar varias herramientas que permitan encontrarla. En primer lugar, y probablemente la más importante, el Diagrama de Causa y Efecto que ayuda a analizar las causas potenciales que ocasionan un efecto no deseado, el problema en este caso (Montgomery, 2007, p. 181). A continuación, como elemento para la construcción del Diagrama, se debe utilizar la Lluvia de Ideas o Brainstorming, proceso mediante el cual las personas relacionadas con el proceso exponen sus ideas sobre las posibles causas que originen el problema.

La metodología Six Sigma hace una analogía del problema con una ecuación. Así, la 'y' es el problema y las 'x' son las causas que afectan de manera distinta a la variable de respuesta.

Considerando que el problema (presencia de una alta cantidad de defectos) se genera en varios subprocesos, y cada uno posee sus propias características y es operado por personas distintas, se decidió realizar diagramas independientes. Así, después de recopilar todas las causas potenciales generadas en la Lluvia de Ideas realizada con miembros del equipo, que incluyen personal tanto del área de Producción como de Calidad, y los operadores de cada subprocesos en cuestión, se realizaron los siguientes diagramas.



Figura 5.2: Diagrama de causa y efecto para tornos.
Fuente: Elaboración propia.

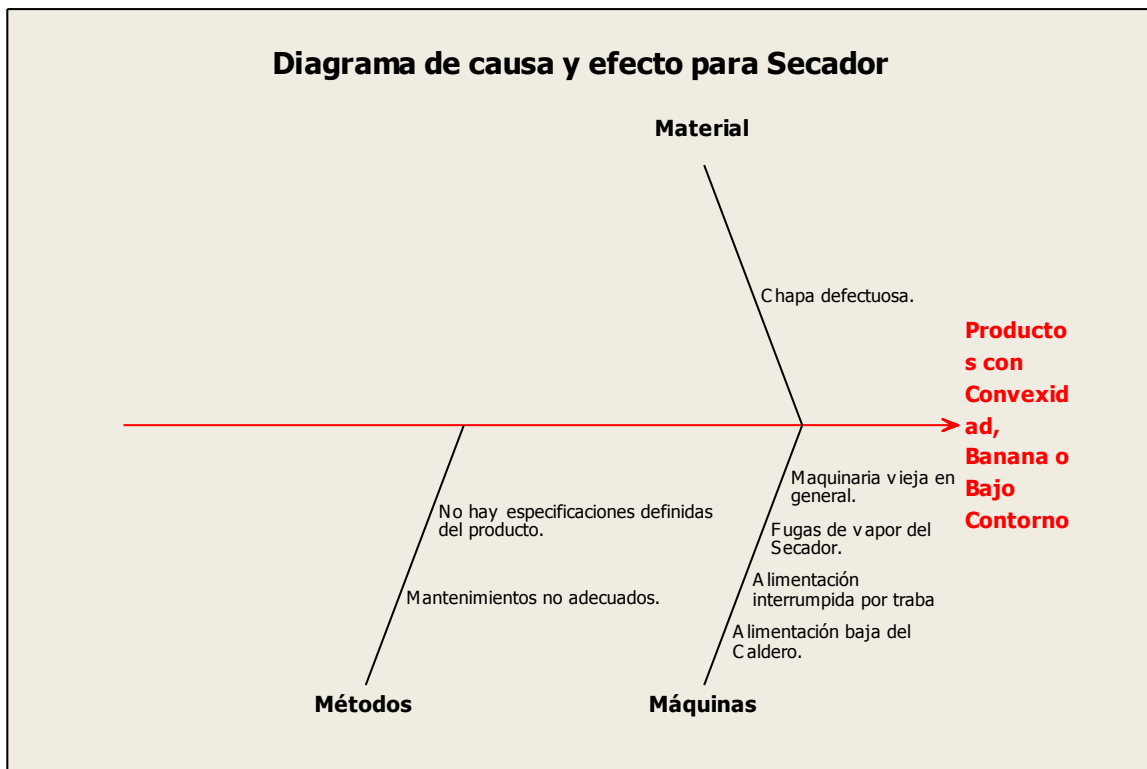


Figura 5.3: Diagrama de causa y efecto para secador.
Fuente: Elaboración propia.

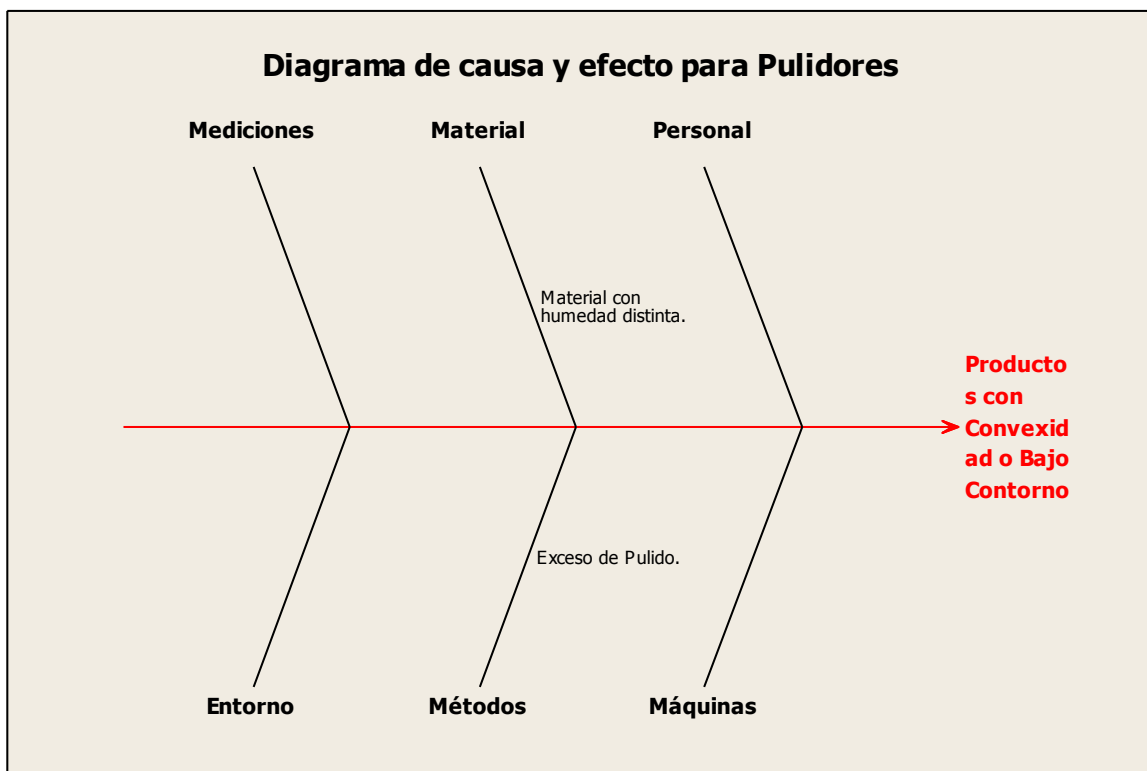


Figura 5.4: Diagrama de causa y efecto para pulidores.
Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se han determinado las principales causas, se procedió a realizar el método del Grupo Nominal para determinar la importancia de cada una de ellas. Para ello se entregó una lista con las mismas para que las personas relacionadas con el proceso las califiquen de acuerdo a su importancia. De esta manera, se tiene una orientación sobre las causas que serán analizadas inicialmente. Las calificaciones finales para tornos fueron las siguientes:

Tabla 5.1: Calificación de posibles causas en Tornos.

Posibles Causas	Calificación
Torno mal calibrado.	48
Mantenimiento basado en la experiencia.	39
Autorización para cambio de cuchilla toma mucho tiempo.	30
Falta de Capacitación para operarios nuevos.	39
Madera roja, seca o con nudos.	48
Cuchilla mal rectificada.	48
Barra mal rectificada.	46
Colocación de tucos en mandriles empíricamente.	11
Exceso de presión entre cuchilla y barra.	37

Fuente: Elaboración propia.

En base a estos valores se realizó un Diagrama de Pareto para determinar si hay un 80% de causas ocasionando el 20% del problema.

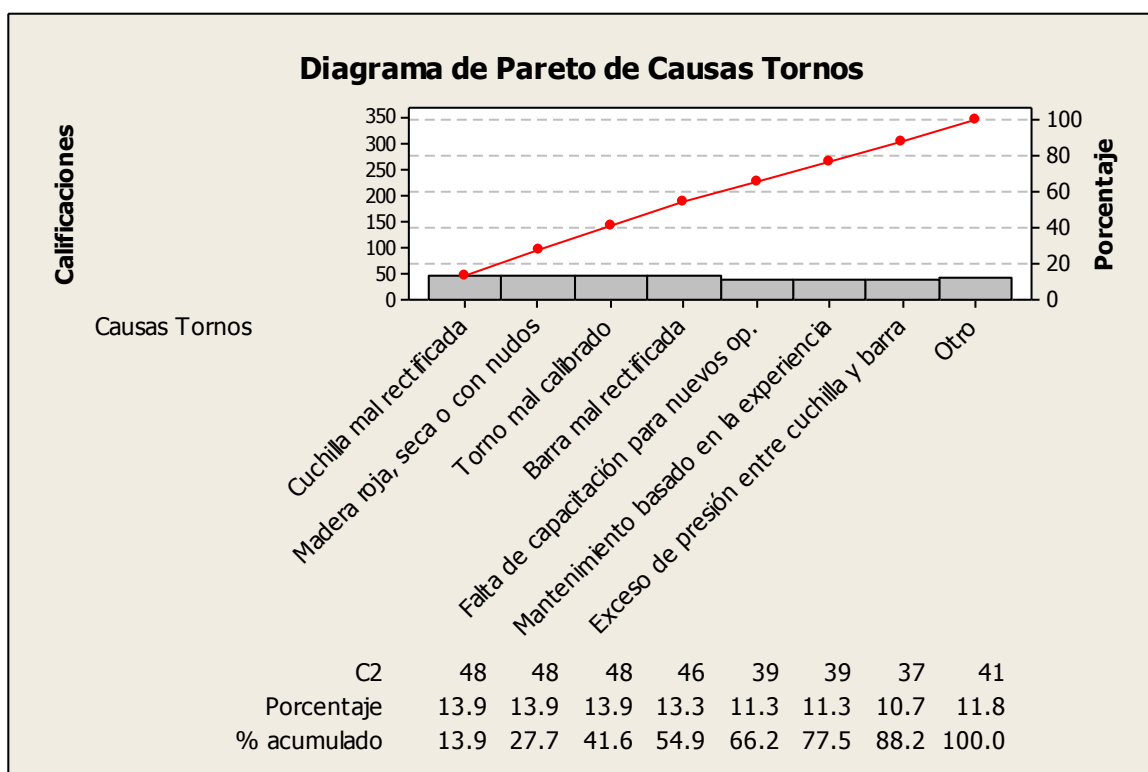


Figura 5.5: Diagrama de Pareto de causas en tornos.
Fuente: Elaboración propia.

Siete causas son las que representan el 80%, por lo que las primeras causas a ser investigadas serán “Torno mal calibrado”, “Madera roja, seca o con nudos” y “Cuchilla mal rectificada” pues tienen las calificaciones más altas. En cuanto al Secador, las calificaciones fueron las siguientes:

Tabla 5.2: Calificación de posibles causas en Secador.

Posibles Causas	Calificación
Alimentación baja del Caldero.	25
Alimentación interrumpida por traba de Troqueladora.	19
Chapa defectuosa.	23
Mantenimientos no adecuados.	21
Fugas de vapor del Secador.	20
Maquinaria vieja en general.	17
No hay especificaciones definidas del producto.	10

Fuente: Elaboración propia.

Su respectivo Diagrama de Pareto es el siguiente:

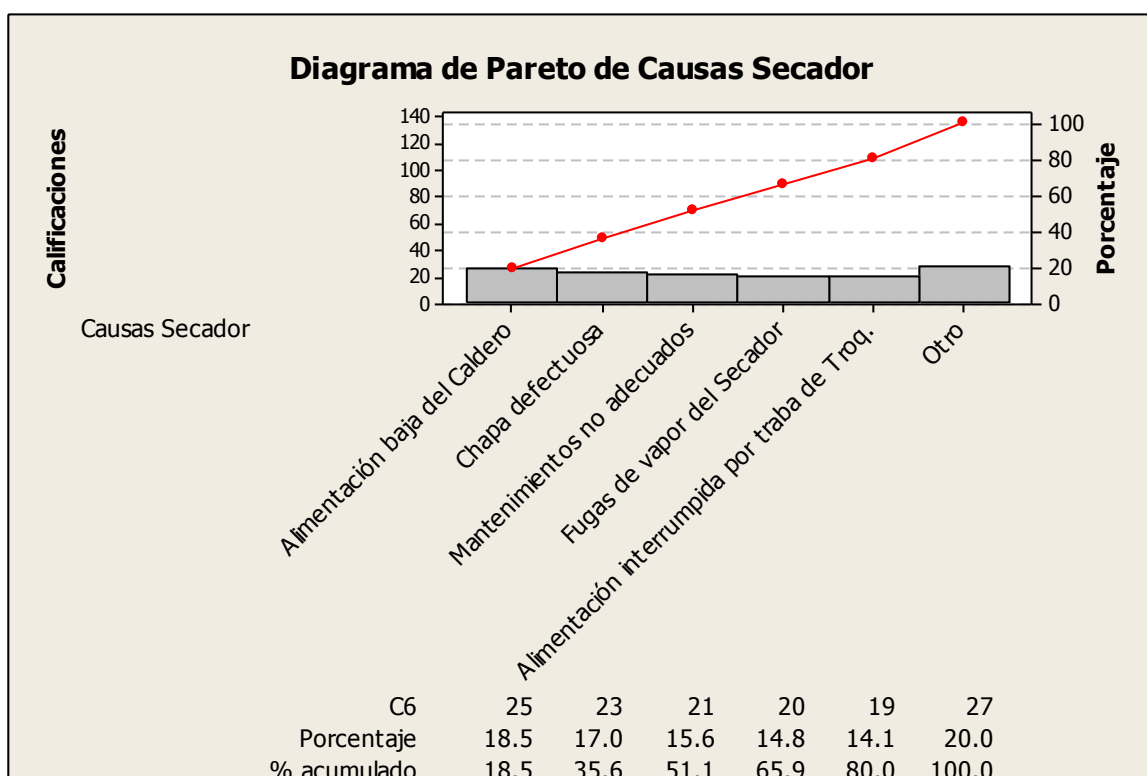


Figura 5.6: Diagrama de Pareto de causas en secador.

Fuente: Elaboración propia.

El 80% agrupa a cinco causas de las siete, por ello se empezará por “Alimentación baja del Caldero”, “Chapa defectuosa” y “Mantenimientos no adecuados”. Las calificaciones para los Pulidores fueron:

Tabla 5.3: Calificación de posibles causas en pulidores.

Posibles Causas	Calificación
Material con humedad distinta.	22
Exceso de pulido.	18

Fuente: Elaboración propia.

En este caso, al haber pocas causas no es necesario realizar un Diagrama de Pareto, y se podrían investigar las dos.

5.2.1 Análisis de Causas en Tornos.

5.2.1.1 Torno Mal Calibrado.

Analizando la causa, se determinó que no se permite el trabajo de un torno mal calibrado. La calibración debe siempre realizarse en su totalidad con inspección de un asistente de calidad antes de empezar a operar. En caso de que se descalibrara, se para la operación instantáneamente al momento en que se lo detecta debido al grave efecto que puede tener. Sin embargo, los nuevos operadores no tienen un entrenamiento claro sobre cómo calibrar un torno y cómo reaccionar ante diferentes situaciones, por lo que muchos han aprendido experimentando, sin saber si lo están haciendo de manera correcta.

5.2.1.2 Madera Roja, Seca o con Nudos.

La madera con estas características llega de este modo desde los proveedores. Es por esto que los defectos que de ella derivan son considerados como no controlables. Para demostrar la importancia de la influencia de la madera se tomarán, como ejemplo, los mismos registros de calidad históricos correspondientes a los primeros seis meses del 2011 que se utilizaron en el Capítulo 3.

Tabla 5.4: Porcentaje de defectos ocasionados por madera en tornos.

	Ondulada	Torcida
Torno 1	97.82%	41.67%
Torno 2	95.1%	80.28%
Torno 3	99.16%	89.83%
Torno 4	96.83%	67.65%
Torno 5	96.47%	74.14%
Torno 7	97.08%	80.1%
Promedio	97.08%	72.28%

Fuente: Elaboración propia.

Se puede comprobar que la madera es claramente un factor decisivo en la generación de defectos en la chapa. 97.08% de la chapa ondulada se debió a la madera, mientras que lo mismo ocurrió en un 72.28% de chapas torcidas. El porcentaje restante es atribuido a causas controlables, es decir, exceso de presión, entre la cuchilla y la barra por las que atraviesa la chapa, en ambos casos.

5.2.1.3 Cuchilla Mal Rectificada.

Es un hecho que las cuchillas no se encuentran rectificadas de una manera adecuada al momento en que llegan a los tornos, sin embargo, esto no tiene un impacto directo sobre el producto. En primer lugar, mal rectificada se refiere a que el filo de la cuchilla no sea recto, de modo que al colocarlo sobre una superficie plana, se puede ver irregularidades. Después de investigar y conversar con gente relacionada al proceso sobre el tema, se llegó a la conclusión de que una cuchilla en malas condiciones debe intentar ser nivelada al momento de calibrar los tornos. Para esto, las pequeñas, pero importantes, irregularidades del filo son niveladas con unos tornillos que se encuentran en los tornos que presionan a la cuchilla. Se corrobora el estado mediante pruebas con madera, hasta que la chapa no salga defectuosa. Si, en el peor de los casos, no se puede evitar la chapa defectuosa, la cuchilla se cambia y es enviada a una nueva rectificación.

Otro de los efectos que puede tener una cuchilla mal rectificada es que se desportille en un tiempo de operación menor al usual, lo que ocasionará que la chapa que se procesaba mientras ocurrió el desportillamiento salga defectuosa y se deba parar el torno para un cambio.

En base a lo descrito, el problema tiene efectos sobre el tiempo de calibración del torno, gasto de madera (a pesar de que la madera no se desperdicia pues será utilizada de todas formas gracias a la política de “no desperdicio de madera”) y tiempo de los afiladores de cuchillas. Por lo tanto, acciones sobre este problema generarán mejoras pero no relacionadas con el objetivo de este proyecto. Aún así se utilizó la técnica de los 5 Por qué, para determinar la causa raíz.

Aplicando los 5 Por qué:

1. ¿Por qué las cuchillas están mal rectificadas?

Porque no hay un método exacto para rectificarlas.

2. ¿Por qué no hay un método exacto para rectificarlas?

Porque la rectificadora automática no funciona de manera óptima y cada operador rectifica a su propio modo.

3. ¿Por qué?

Porque la rectificadora es antigua (más de 30 años), las reparaciones que se le han hecho no han dado el resultado esperado y cada operador intenta sacarle el mejor provecho a su modo dependiendo también del tiempo que tiene para invertirlo. Además, no hay un método formal de rectificado, incluyendo una Instrucción de Trabajo (que debe estar en cada lugar de trabajo) actualizada, pues la que se encuentra en el área de rectificado corresponde a una máquina rectificadora que se usaba meses atrás y dejó de operar debido a un daño.

Esta información muestra que la rectificadora vieja no da las mejores garantías para obtener cuchillas bien rectificadas. Indagando en el tema se encontró que la barra o mesa donde se apoya la cuchilla no se encuentra bien nivelada y las guías del motor que mueve a la piedra de afilar, a pesar de que son lubricadas periódicamente, no está en el mejor estado. Asimismo, el movimiento del carro que transporta la piedra de afilar tiene un rebote cuando llega a los extremos, lo que afecta a la cuchilla en esas áreas.

Por otra parte, la falta de estandarización es clara, pues es común escuchar comentarios como “yo rectifico diferente” o “yo tengo distintas mañas” en el lenguaje coloquial de los operadores.

De igual forma, el obtener una cuchilla de buenas condiciones toma tiempo, en parte debido a la máquina. Los afiladores tienen otras actividades que realizar, además del afilado, como la calibración de las Troqueladoras, lo cual es indispensable realizar para evitar paras en el proceso. Por esta razón, muchas veces se ven obligados a no completar un buen trabajo en la rectificación.

Finalmente, otro de los problemas encontrados es que las cuchillas provienen torcidas desde el proveedor, y a pesar de que se hacen intentos por rectificarlas no siempre se consigue el resultado deseado.

5.2.2 Análisis de Causas en Secador.

5.2.2.1 Alimentación Baja del Caldero.

Se analizaron y empataron los datos de las bitácoras que llena el personal de producción tanto en el Caldero como en el Secador correspondientes a los meses de enero y febrero de 2012, consiguiéndose 596 datos. Para el primero se tomaron los valores de la presión, que son los que demuestran la alimentación que se provee. Para el segundo se tomaron las temperaturas de entrada y de salida que son las que dependen de la alimentación del Caldero. Así, se realizó un análisis de correlación entre las variables, obteniéndose las siguientes gráficas:

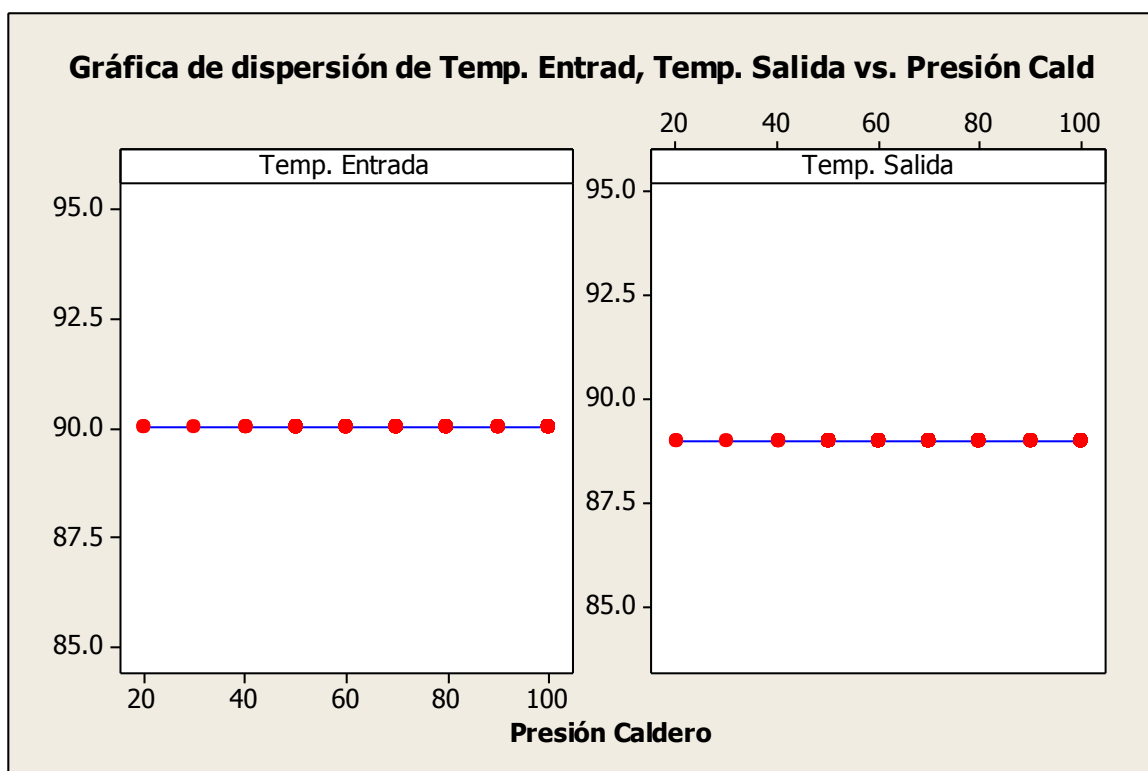


Figura 5.7: Gráfica de dispersión entre temperaturas de entrada y salida y presión del caldero.
Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia que tanto la temperatura de entrada como la de salida no varían a ninguna presión del Caldero, inclusive cuando ésta presenta valores inferiores a 50 Psi, situación en la cual, en teoría, debería obligar a disminuir las temperaturas del Secador.

Un problema que se encontró es que en las bitácoras del Caldero se presentaron algunos valores debajo de 50 Psi, sin embargo, no se determinaba la causa de este comportamiento. Por otra parte, en las bitácoras del Secador, no se registran los valores de las temperaturas de la mayoría de momentos en que se presenta una baja de alimentación y, a pesar de que hay una sección para establecer problemas y causas, no se la llena. Por lo tanto, no se puede determinar si las bajas fueron debido a falta de alimentación de parte del calderista o por una falla en el funcionamiento. Sin embargo, de acuerdo al personal de Mantenimiento, no han tenido que realizar arreglos al caldero desde hace mucho tiempo. Aún así se realizó los 5 Por qué con personal de Producción y se obtuvo lo siguiente:

Utilizando los 5 Por qué se tiene:

1. ¿Por qué la alimentación del Caldero es baja?

Porque el caldero no funciona de manera correcta.

2. ¿Por qué no funciona de manera correcta?

Porque no se encuentra en buenas condiciones. Por ejemplo, no hay buena captación de aire desde el exterior, las parrillas se encuentran tapadas y no hay una buena circulación de aire, fundamental para una buena combustión, o la llama se escapa por la puerta de alimentación en lugar de quedarse dentro del caldero porque no hay una buena succión (llamada Tiro Inducido).

3. ¿Por qué no se encuentra en buenas condiciones?

Porque el personal de mantenimiento no está completamente calificado para ocuparse del caldero. Muchas veces, las reparaciones que se realizan no son las

óptimas, sino arreglos temporales o adaptaciones que a la larga no son las más convenientes.

4. ¿Por qué el personal no está completamente calificado?

Mantenimiento no tiene un conocimiento profundo de las máquinas porque ya son muy antiguas y el personal que manejaba esta información dejó de trabajar en la empresa hace varios años. Actualmente, se enseña en base a la experiencia del Jefe de Mantenimiento, gracias al tiempo que lleva, y cuando esto no es suficiente se pide asesoría externa. Asimismo, dada la antigüedad de la maquinaria, de muchas de ellas ya no se elaboran repuestos, por lo que deben hacerse adecuaciones que no siempre son las más apropiadas para que el funcionamiento se mantenga en óptimas condiciones.

5.2.2.2 Chapa Defectuosa.

La chapa defectuosa proviene de la madera roja, seca o con nudos procesada en los tornos, por lo tanto es un problema que antecede al Secador. Durante los últimos meses (últimos días de Octubre de 2011) se ha estado separando, en los controles de calidad, los productos convexos de acuerdo a si son causados por madera o por el proceso. Cabe recalcar que los controles se los realiza en los Pulidores (no hay control de calidad en el Secador), sin embargo, en la sección 5.2.3 se determina que los defectos de los Pulidores se originan en el Secador, además los defectuosos por madera siguen siendo los mismos.

Se tomaron los datos a partir de Noviembre de 2011 hasta Febrero de 2012, obteniéndose 99 de Paleta Larga y 134 de Paleta Corta. La proporción entre defectos por madera y por proceso es la siguiente:

Tabla 5.5: Porcentaje de defectos ocasionados por madera.

	Madera	Proceso
Paleta Larga	83.06%	16.93%
Paleta Corta	85.67%	14.33%

Fuente: Elaboración propia.

Es clara la supremacía de los defectos por madera. Por lo tanto, la madera afecta a la convexidad.

5.2.2.3 *Mantenimientos no Adecuados.*

Aplicando los 5 Por qué se tiene:

1. ¿Por qué los mantenimientos no son adecuados?

Porque no hay una buena comunicación entre los operadores de las máquinas y el personal de Mantenimiento. Además, en el área de Mantenimiento no se tiene un conocimiento amplio sobre el funcionamiento preciso de cada máquina.

2. ¿Por qué?

No hay buena comunicación porque los operadores no tienen un entrenamiento completo sobre manejo de las máquinas, lo que no garantiza su correcto uso. Mucho menos poseen un conocimiento técnico sobre la maquinaria que operan, por ello, no pueden dar retroalimentación útil a la gente de Mantenimiento al momento en que una reparación es necesaria.

Al igual que en la Sección 5.2.2.1: Mantenimiento no tiene un conocimiento profundo de las máquinas porque ya son muy antiguas y el personal que manejaba esta información dejó de trabajar en la empresa hace varios años. Actualmente, se enseña en base a la experiencia del Jefe de Mantenimiento, gracias al tiempo que lleva, y cuando esto no es suficiente se pide asesoría externa. Asimismo, dada la antigüedad de la maquinaria, de muchas de ellas ya

no se elaboran repuestos, por lo que deben hacerse adecuaciones que no siempre son las más apropiadas para que el funcionamiento se mantenga en óptimas condiciones.

5.2.3 Análisis de Causas en Pulidores.

5.2.3.1 Material con Humedad Distinta.

Al aplicar los 5 Por qué, se tiene:

1. ¿Por qué el material tiene humedad distinta?

Porque así proviene del Secador.

2. ¿Por qué proviene así del Secador?

Porque el secado no es uniforme.

3. ¿Por qué el secado no es uniforme?

Porque no hay una atmósfera o ambiente saturado de humedad.

4. ¿Por qué no hay una ambiente saturado de humedad?

Porque hay fugas en las paredes y puertas laterales.

5. ¿Por qué hay fugas en las paredes y puertas?

Porque hace algunos años las puertas debían retirarse por completo para realizar mantenimientos tanto por personal de Producción como de Mantenimiento. En ese momento sufrían golpes o caídas que las fueron deformando. Para evitar un mayor maltrato se adaptaron bisagras, sin embargo, nunca se repararon los daños. También, dado que el Secador es alto, la gente se paraba sobre los filos de las puertas para llegar a las partes altas, lo que ocasionaba que se doblen ya que no están hechas para soportar ese peso. Además, se necesita un recubrimiento en los filos de las puertas para que el calor no escape por allí.

6. ¿Por qué no se repararon los daños?

Se contactó con el proveedor para las reparaciones, sin embargo, han pasado varios meses y no se ha recibido respuesta, siempre se reciben aplazamientos. Por otra parte, el encargado de esta situación es el Jefe de Mantenimiento, quién muchas veces no dispone de tiempo suficiente como para presionar y concretar el trabajo.

7. ¿Por qué no dispone de tiempo?

Porque cada vez se presentan nuevas reparaciones que se vuelven prioridad sobre el tema del Secador. Asimismo, no posee un encargado que se especialice en compras técnicas, por lo que aparte de las múltiples responsabilidades que posee, debe ocuparse también de este tema. Además, también ocupa el cargo de Representante de la Gerencia respecto al Sistema de Gestión de Calidad, en el cual también tiene varias obligaciones. Por esto, es difícil que pueda enfocarse en la solución de problemas de cada área.

De manera general, hay tres jefaturas que manejan otros departamentos, incluyendo la de Calidad y Producción.

Cabe recalcar que el secado tampoco es uniforme debido a la diferencia de humedad que los palitos tienen al entrar. Esto se da por la madera, ya que la seca y la roja son menos húmedas. Sin embargo, controlar la madera es complicado pero el problema en el Secador lo empeora.

En base a la información reunida, que apunta el origen del problema al Secador, se tomaron los datos que lleva el personal de Producción en sus bitácoras para observar la variabilidad que se presenta en la humedad del material a la salida del Secador. Se tomaron

los registros correspondientes a Enero, Febrero y mediados de Marzo de 2012, obteniéndose la siguiente gráfica:

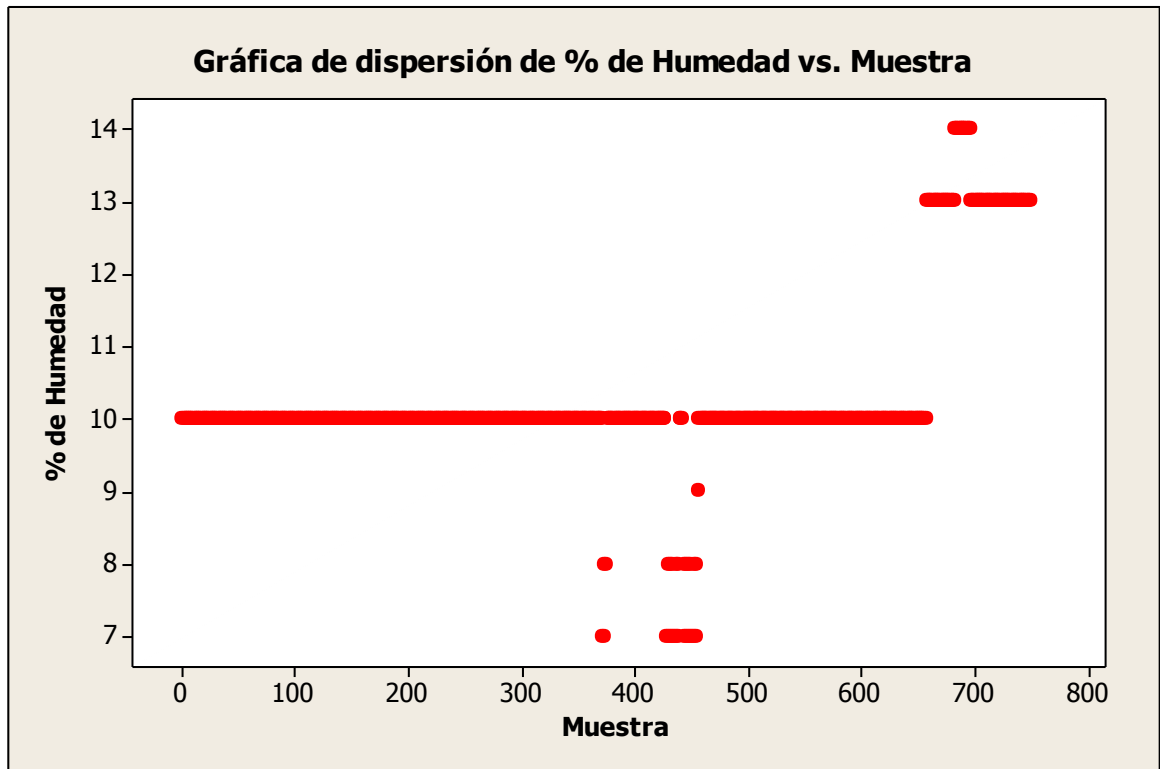


Figura 5.8: Gráfica de dispersión del porcentaje de humedad en el tiempo.
Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia que en la mayoría de las muestras, la humedad se mantiene constante en un 10%, pocos valores se encuentran entre 7%, 8% o 9%, y a partir del 9 de marzo dada una requisición de Gerencia, se incrementó la humedad al 13%.

Para determinar si este aumento en la humedad tiene un efecto sobre la cantidad de producto defectuoso se realizaron pruebas de hipótesis para comparar los promedios de cada defecto, antes y después del 9 de marzo en base a los registros de calidad. En primer lugar se tomó la Paleta Larga, iniciando con la comparación de la Convexidad, obteniéndose el siguiente resultado:

Prueba T e IC de dos muestras: Convexidad 1, Convexidad 2

T de dos muestras para Convexidad 1 vs. Convexidad 2

	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Convexidad 1	10	0.1613	0.0378	0.012
Convexidad 2	10	0.163	0.108	0.034

Diferencia = μ (Convexidad 1) - μ (Convexidad 2)

Estimado de la diferencia: -0.0016

IC de 90% para la diferencia: (-0.0643, 0.0610)

Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = -0.04 Valor P = 0.965 GL = 18

Ambos utilizan Desv.Est. agrupada = 0.0808

Dado que el valor T es menor (en valor absoluto) a 1.734 (valor en la tabla T correspondiente a un $\alpha/2$ de 0.05 y 18 grados de libertad) y el Valor P es mayor al α de 0.1, no hay evidencia para rechazar la hipótesis nula. Así, no hay diferencia después del cambio en la humedad. Se tomó un α de 0.1 debido a la poca cantidad de datos (10).

Prueba T e IC de dos muestras: Bajo Cont. 1, Bajo Cont. 2

T de dos muestras para Bajo Cont. 1 vs. Bajo Cont. 2

	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Bajo Cont. 1	10	0.0220	0.0107	0.0034
Bajo Cont. 2	10	0.0225	0.0234	0.0074

Diferencia = μ (Bajo Cont. 1) - μ (Bajo Cont. 2)

Estimado de la diferencia: -0.00055

IC de 90% para la diferencia: (-0.01464, 0.01355)

Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = -0.07 Valor P = 0.947 GL = 18

Ambos utilizan Desv.Est. agrupada = 0.0182

En vista que el Valor T es menor (en valor absoluto) a 1.734 (valor en la tabla T correspondiente a un $\alpha/2$ de 0.05 y 18 grados de libertad) y el Valor P es mayor al α de 0.1, no hay evidencia para determinar que la muestra después del cambio en la humedad sea diferente.

Prueba T e IC de dos muestras: Desp. Vert. 1, Desp. Vert. 2

T de dos muestras para Desp. Vert. 1 vs. Desp. Vert. 2

	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Desp. Vert. 1	10	0.01484	0.00894	0.0028
Desp. Vert. 2	10	0.0221	0.0142	0.0045

Diferencia = μ (Desp. Vert. 1) - μ (Desp. Vert. 2)

Estimado de la diferencia: -0.00728

IC de 90% para la diferencia: (-0.01649, 0.00194)

Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = -1.37 Valor P = 0.188 GL = 18

Ambos utilizan Desv.Est. agrupada = 0.0119

Dado que el valor T es menor (en valor absoluto) a 1.734 (valor en la tabla T correspondiente a un $\alpha/2$ de 0.05 y 18 grados de libertad) y el Valor P es mayor al α de 0.1, no hay evidencia para rechazar la hipótesis nula, por lo que las muestras antes y después del incremento de humedad no son distintas.

Posteriormente, se llevaron a cabo las mismas pruebas para Paleta Corta. La de Convexidad fue la siguiente:

Prueba T e IC de dos muestras: Convexidad 1, Convexidad 2

T de dos muestras para Convexidad 1 vs. Convexidad 2

	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Convexidad 1	17	0.0411	0.0175	0.0042
Convexidad 2	17	0.0418	0.0184	0.0045

Diferencia = μ (Convexidad 1) - μ (Convexidad 2)

Estimado de la diferencia: -0.00071

IC de 90% para la diferencia: (-0.01115, 0.00973)

Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = -0.12 Valor P = 0.909 GL = 32

Ambos utilizan Desv.Est. agrupada = 0.0180

Dado que el valor T es menor a 1.69 (valor en la tabla T correspondiente a un $\alpha/2$ de 0.05 y 32 grados de libertad) y el Valor P es mayor al α de 0.1, no hay evidencia para rechazar la hipótesis nula. Es decir, la convexidad, en promedio, no es distinta antes y después del incremento de la humedad. A continuación el análisis de Bajo Contorno:

Prueba T e IC de dos muestras: Bajo Cont. 1, Bajo Cont. 2

T de dos muestras para Bajo Cont. 1 vs. Bajo Cont. 2

	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Bajo Cont. 1	17	0.0394	0.0103	0.0025
Bajo Cont. 2	17	0.03512	0.00865	0.0021

Diferencia = μ (Bajo Cont. 1) - μ (Bajo Cont. 2)

Estimado de la diferencia: 0.00431

IC de 90% para la diferencia: (-0.00121, 0.00984)

Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = 1.32 Valor P = 0.195 GL = 32

Ambos utilizan Desv.Est. agrupada = 0.0095

Dado que el valor T es menor a 1.69 (valor en la tabla T correspondiente a un $\alpha/2$ de 0.05 y 32 grados de libertad) y el Valor P es mayor al α de 0.1, no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula, por lo que el Bajo Contorno no es distinto antes del incremento en la humedad. El análisis de Desportillado Vertical es:

Prueba T e IC de dos muestras: Desp. Vert 1, Desp. Vert. 2

T de dos muestras para Desp. Vert 1 vs. Desp. Vert. 2

	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Desp. Vert 1	17	0.01098	0.00386	0.00094
Desp. Vert. 2	17	0.01498	0.00724	0.0018

Diferencia = μ (Desp. Vert 1) - μ (Desp. Vert. 2)

Estimado de la diferencia: -0.00400

IC de 90% para la diferencia: (-0.00737, -0.00063)

Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = -2.01 Valor P = 0.053 GL = 32

Ambos utilizan Desv.Est. agrupada = 0.0058

Dado que el valor T (en valor absoluto) es mayor a 1.69 (valor en la tabla T correspondiente a un $\alpha/2$ de 0.05 y 32 grados de libertad) y el Valor P es menor al α de 0.1, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que las dos muestras son diferentes, siendo la correspondiente al incremento de humedad la que mayor cantidad de Desportillado Vertical presenta.

Cabe recalcar que en las pruebas t se aplicó solamente un 90% de confianza debido a que la cantidad de muestras no es muy grande.

En base a los análisis presentados, se aprecia que no hay un incremento en los defectos a partir del incremento en la humedad de los palitos. De acuerdo a la Jefa de Producción, esto sucede solamente cuando la humedad sobrepasa el 17%, por lo que la única explicación restante es que la variabilidad sea alta dentro de las muestras. Esto implicaría que valores superiores a 17% deben compensarse con otros muy bajos para mantener el 10% (antes del 9 de marzo) o el 13% actual tan constante.

Para comprobar si esto es cierto se tomó una muestra de 105 palitos de Paleta Corta, se trató de realizar 145 mediciones (tamaño de muestra calculado en el Capítulo 4) pero el producto empezó a perder humedad después de las primeras 105 mediciones. Se optó por Paleta Corta pues la madera que se utiliza es de mejor calidad y se buscó descontar el efecto de la misma. Además, se anotó los valores de las temperaturas y velocidad de la cinta para verificar la admirable constancia que se presenta en las bitácoras (Sección 5.2.2.1). El resultado fue el siguiente:

Tabla 5.6: Datos de humedad recolectados en secador (muestra 1)

Temperatura de Entrada	94°
Temperatura de Salida	89°
Velocidad de la Cinta	74.4
Promedio de humedad	13.23%
Valor Máximo	21%
Valor Mínimo	8%
Rango (Máx – Mín)	13%

Fuente: Elaboración propia.

Como reflejan los datos, el promedio se encuentra alrededor del 13%, sin embargo, la variabilidad es alta con un rango igual al promedio. Esto demuestra que es muy variable la humedad en el producto. Además, el valor más alto es superior al 17% que hace que se genere la convexidad en los Pulidores. En cuanto a los otros datos, la temperatura de entrada es de 94°, a diferencia de los valores registrados de 90°. La temperatura de salida sí es igual a la de las bitácoras y la velocidad de la cinta, a diferencia del 70, aquí se encuentra en 74.4.

Debe mencionarse que el valor mínimo de humedad es 8 porque es la mínima medición que posee el medidor de humedad, lo que da posibilidad a que los valores sean menores y el rango mayor.

Para descartar la idea de que fue un caso excepcional se tomó otra muestra una hora después, sin embargo, no fue necesario medir todos los palitos para encontrar que hay variabilidad entre muestras. Así, solamente con los 25 primeros, el promedio de humedad se encontraba en 8.96%, pudiendo ser menor si el medidor tuviera medidas más bajas. Para este caso los resultados fueron los siguientes:

Tabla 5.7: Datos de humedad recolectados en secador (muestra 2)

Temperatura de Entrada	89°
Temperatura de Salida	88°
Velocidad de la Cinta	70
Promedio de humedad	8.96%
Valor Máximo	14%
Valor Mínimo	8%
Rango (Máx – Mín)	6%

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.2 Exceso de Pulido.

Al aplicar los 5 Por qué, se tiene:

1. ¿Por qué hay exceso de pulido?

Porque los productos tienen humedades distintas y los más húmedos necesitan más tiempo de pulido y tienden a convexarse al tomar la forma del Pulidor. Mientras tanto, los más secos se pulen en exceso y se produce el Bajo Contorno y el Desportillado Vertical. También, en menor proporción se producen descuidos de los operadores.

Dado que si se preguntara otro “¿por qué?” a la razón principal daría como resultado el mismo análisis de 5.2.3.1, no se seguirán realizando más preguntas. De esta forma se concluye que los problemas de los Pulidores tienen su origen en el Secador.

5.2.4 Causa Raíz.

Después de haber realizado el análisis de las posibles causas más importantes, se llegó a la conclusión de que la que presenta un mayor efecto es sin duda el estado de la

madera, la cual es una causa no controlable pues no se tiene dominio sobre su estado al receiptarla de ese modo de los proveedores y, sobre todo, no es un bien que fácilmente se elabore y sobre el cual se pueda establecer un control.

Sin embargo, hay otras causas que se generan dentro de la empresa y pueden ser controlables, por ejemplo, el estado de las máquinas. En primer lugar, las fugas de vapor que se presentan en el Secador que impiden que haya una atmósfera saturada de humedad, lo cual repercute en un secado no uniforme que a la larga afecta el proceso de pulido. Por otra parte, de manera general, el tiempo de operación de la mayoría de maquinaria ha superado su ciclo de vida o tiempo de vida útil, causando cierto malestar en los operadores pues sienten que no se les brinda las herramientas necesarias para realizar un buen trabajo. A pesar de que el personal de mantenimiento las mantiene en funcionamiento, se considera que muchas veces las reparaciones son adaptaciones, ya sea por falta de un conocimiento profundo dada la antigüedad o por el hecho de que ya no se producen refacciones.

También, hay problemas con el factor humano. Para empezar, en muchos de los casos el conocimiento no es de propiedad de la empresa, sino de los operadores más experimentados o antiguos, siendo estos los que deben capacitar a los nuevos y mantener el conocimiento existente a través del tiempo. Por ejemplo, en los tornos son los operadores con más experiencia los que capacitan con los conocimientos básicos a los nuevos para que puedan realizar el trabajo, de igual forma sucede en el afilado de troqueles o en el rectificado. Sin embargo, no hay un método formal que garantice que el operador aprenda todo lo necesario, o que los antiguos han dado todo el conocimiento. Además, esto no se puede cuantificar debido a que no existe una evaluación inmediata que lo demuestre, sino que se lo realiza en base al desempeño futuro de cada persona. Esto genera una falta de estandarización en la operación de las máquinas.

Asimismo, esto a la vez repercute sobre el personal de mantenimiento pues tampoco se da a los operadores un entrenamiento profundo sobre el funcionamiento de cada máquina. En primer lugar lleva a que, en algunos casos, tengan que experimentar por sus propios medios respuestas a adversidades, lo que puede ocasionar un mal manejo e inicio de una descompostura. Y segundo, no pueden dar una guía con información exacta a mantenimiento para que puedan atacar directamente a la causa del problema, generándose problemas de comunicación.

5.3 Propuestas de Mejora

5.3.1 A Nivel Gerencial.

En cuanto a los temas de madera y edad de las máquinas, la decisión es a nivel gerencial. La madera puede ser criada y cuidada durante su período de crecimiento de modo que los defectos sean eliminados o reducidos. Por ejemplo, la revista Northern Woodlands en su artículo, “¿Cuál es la diferencia entre nudos rojos y nudos negros?” refiere que la aparición de nudos puede minimizarse podando las ramas a lo largo de su desarrollo (Snyder, 2008). Por lo tanto, la solución más factible sería la adquisición de un bosque propio, donde se controle desde la adquisición de semillas, plantación, crecimiento y entrega a la fábrica, es decir, ser proveedores propios. Es la única manera de conseguir materia prima de acuerdo a las necesidades del producto dado la cada vez más difícil obtención de la misma en el mercado. Como se menciona en el libro *Operations Management* de Stevenson (2007), refiriéndose a los lugares donde se debería establecer controles de calidad, no hay sentido en gastar tiempo y esfuerzo en material que es malo desde el principio y pagar por él para comprarlo (p. 450).

Esto concuerda con el benchmarking realizado con dos de las empresas más importantes de la industria: Novopan y Aglomerados Cotopaxi, ellas tienen sus propias

plantaciones con las cuales consiguen madera de primera calidad y, sobre todo la primera, vende ocasionalmente a Festa materia prima, la cual ha sido muy útil en el proceso (Alvear, 2012).

En caso de no poder desarrollarse esta propuesta, podría coordinarse con los dueños de bosques reforestados, potenciales proveedores de Festa, para trabajar en conjunto con capacitaciones y apoyo con el fin de obtener la materia prima con calidad necesaria.

En cuanto a las máquinas, es necesario hacer una renovación de varias de ellas, principalmente, las que ya han cumplido con su tiempo de vida útil. Desde el punto de vista de la Confiabilidad, éstas ya no cumplen de manera correcta con su función pues las condiciones de trabajo han cambiado y ya no lo hacen como antes. No se puede olvidar la curva de la tina de baño, que, según el libro *Sistemas de Mantenimiento, Planeación y Control*, muestra que “la tasa de fallas de una pieza o equipo o de sus componentes varía estadísticamente durante su ciclo de vida” (Duffuaa, Raouf, Campbell, 2009, p. 246) y se ve de la siguiente manera:

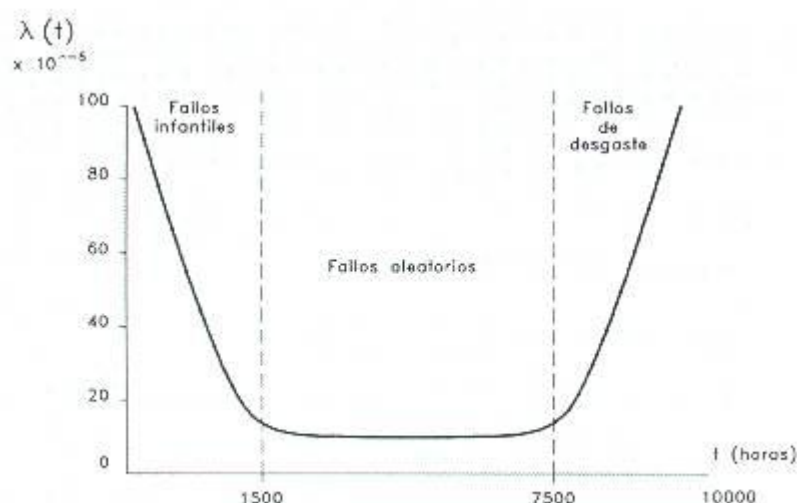


Figura 5.9: Curva de la tina de baño.
Fuente: Tamborero, J.

Probablemente, este comportamiento puede reflejarse en la cantidad de reparaciones que debe realizar actualmente el personal de mantenimiento, a tal punto que se vuelven prioridades para evitar la interrupción de producción y, por ejemplo, han hecho que se posponga la reparación de las fugas de vapor del Secador.

Por otra parte, el impacto de la adquisición de maquinaria nueva se expande a varias áreas. Así, una actualizada y mejor tecnología permite la utilización de un mejor método de elaboración y control del producto, los operadores se sienten más a gusto y motivados e incluso las máquinas están elaboradas de modo que sean más seguras a nivel industrial, regulando vibraciones, ruido, etc.

Si bien es cierto, estas decisiones implican costos elevados, mas deben considerarse como una inversión a largo plazo que busca favorecer los intereses y la perpetuidad de la empresa.

5.3.2 Factor Humano.

5.3.2.1 Entrenamiento.

En cuanto al tema de entrenamiento, es necesario establecer tanto un procedimiento de entrenamiento de personal de la planta como un sistema de evaluación del mismo. El primero debe ser distinto para cada subproceso e incluso para cada máquina, pudiendo ser un SOP (Procedimiento de Operación Estándar) o una mejora de las Instrucciones de Trabajo ya existentes en cada estación de trabajo.

De acuerdo a Niebel y Freivalds (2004), uno de los efectos de una mala capacitación es la mala calidad, además no permite a los trabajadores alcanzar el tiempo estándar establecido para realizar su trabajo (p. 640). Actualmente, sólo se da una explicación sobre el modo de operar y a continuación se deja que el operador muestre su desempeño en los siguientes días para demostrar si adquirió el conocimiento y si es apto

para desempeñarse en el puesto. De igual forma, los autores mencionados listan varias formas de realizar una capacitación y entre ellas se encuentra el aprendizaje en el trabajo. Sin embargo, no la consideran positiva sino que la califican como un enfoque de “nadar o ahogarse”, citando textualmente:

“Algunos operarios harán las cosas mal y con el tiempo se adaptarán a la nueva técnica, en teoría “aprendiendo”. Pero es posible que aprendan el método incorrecto y nunca logren el estándar deseado. O pueden tomar un tiempo mayor para alcanzar este estándar. Esto significa una curva de aprendizaje más larga. Otros operarios quizá observen y hagan preguntas a sus compañeros y aprendan el nuevo método; sin embargo, durante este período, habrán causado lentitud en otros operarios y en toda la producción. Peor aún, quizá sus compañeros usen un método incorrecto que se transmitiría al nuevo operario. Además, el nuevo operario tal vez experimente ansiedad durante todo el proceso de aprendizaje, lo que puede deteriorar el proceso.” (p. 640)

Lo que aquí se menciona es claro que sucede en la empresa, operadores entrevistados han reconocido que les ha tomado tiempo aprender y adaptarse completamente pues no todo les ha sido explicado, demostrando la curva de aprendizaje más larga, es decir se vería de esta manera:

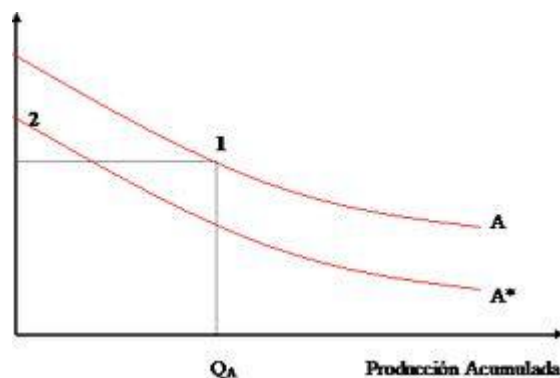


Figura 5.10: Curva de aprendizaje.
Fuente: Curvas de aprendizaje.

La curva de aprendizaje representa la cantidad de tiempo que le toma a una persona dominar la realización de una actividad, en este caso, cuando la curva se alarga se vería como la A en la figura, cuando en realidad debería ser como la A*, ya que tomará más tiempo llegar a los mismo niveles.

De igual forma, se cumple la interrupción a otros operadores pues cuando se presenta algún problema se pide ayuda a los trabajadores más antiguos para que realicen una verificación.

Por otra parte, las formas de capacitación que sí demuestran resultados son cuando se presentan instrucciones escritas y/o gráficas, videos y, mejor aún, capacitación física. Aunque las instrucciones escritas, de acuerdo a Niebel y Freivalds (2004) son útiles solamente para operaciones simples, por ello deben acompañarse de instrucciones gráficas que pueden ser dibujos o fotografías que permitan dar una idea más clara y real de la situación. Si la operación se vuelve más compleja todavía, los videos son más útiles en cuanto a mostrar una relación entre movimientos y partes o herramientas y puede ser revisado cuantas veces sea necesario (p. 641).

Si bien es cierto, se podría decir que el método actual es el físico pues la explicación se la hace en el lugar de trabajo, ya se demostró que muchos efectos provienen del “aprendizaje en el trabajo”, además, la capacitación física involucra más aspectos. Por ejemplo, debe exponerse al operario a condiciones de emergencia de manera controlada y segura, y debe tener la presencia de un supervisor que le brinde retroalimentación (p. 641).

Así, en el procedimiento que se instaure debería incluirse, al menos, los siguientes temas: objetivo y descripción del trabajo (por escrito), partes de la máquina (gráficamente), inspección previa al uso (por escrito), modo de operación (por escrito y con gráficas de ser posible), reacción a posibles problemas (por escrito) y llenado de bitácoras (gráficamente). Además, de acuerdo a la norma ISO 9001:2008 que rige el Sistema de Gestión de Calidad

de la empresa, en la sección 6.2.2 menciona que el personal debe estar consciente de de la “pertinencia e importancia de sus actividades y de cómo contribuyen al logro de los objetivos de calidad” (Norma ISO). Una vez que se tenga el documento escrito, la instrucción se deberá acompañar por una capacitación física donde, de manera controlada, se muestre el trabajo y las condiciones a las cuales estará expuesto.

Es importante hacer énfasis en la enseñanza de cómo llenar las bitácoras, pues como se vio en la Sección 5.2.2.1 no se llenan todos los campos, y algunos operadores señalan que no siempre se toman el tiempo o tienen el tiempo para llenar a conciencia o en su plenitud. Además, en la Sección 5.2.3.1 se mostró la variabilidad que existe en la humedad del producto a la salida del Secador, al igual que las temperaturas y la velocidad de la cinta, hecho que no se refleja en el papel. Debe tenerse cuidado pues las bitácoras se utilizan, inclusive, como instrumento de trazabilidad y al no tener datos válidos o confiables no están cumpliendo su función y su presencia se justificaría como meramente cumplimiento de requisitos de la norma ISO.

Finalmente, para confirmar si los conocimientos fueron captados en su totalidad y saber si el instruido es apto para empezar a operar en su lugar de trabajo, es necesario que sea evaluado. Una prueba escrita (para que haya registro), de opción múltiple para facilidad de calificación y objetividad, y/o práctica sería adecuada. Una vez aprobada, el nuevo operario estará en condiciones de realizar su labor.

Es importante que los operarios tengan una capacitación adecuada, especialmente cuando se maneja un sistema “multitask”, es decir, que hay rotación en distintos puestos de trabajo. No se puede tener a la gente operando en diferentes lugares sin que maneje correctamente alguno o ninguno de ellos, pues, al contrario de lo planeado, puede terminar siendo perjudicial para el proceso.

5.3.2.2 Carga de Trabajo.

En otro tema, relacionado al factor humano, se encontró que es difícil tener un rendimiento apropiado si los jefes de ciertos departamentos manejan varias áreas a la vez (Mantenimiento por ejemplo), pues no disponen del tiempo necesario que deberían invertir en el crecimiento y desarrollo de su sección y de sus dirigidos. Es imposible pensar que puedan instaurar y mantener metas para el día a día y que se encuentren enfocados en las necesidades presentadas, cuando tienen que estar atendiendo otros temas.

5.3.3 Arreglo del Secador.

La variabilidad de la humedad en los palitos a la salida del Secador es evidente, y si las fugas de vapor hacen que se incremente, es necesario concretar su reparación.

Aparentemente, la falta de tiempo del Jefe de Mantenimiento y la falta de respuesta del proveedor del sellante hermético producen retrasos. Es recomendable tener un encargado de estas compras o gestiones para que se encargue de cerrar el trabajo lo más rápidamente posible; y pensando a futuro, para que lo haga con probables nuevas situaciones similares.

La reparación, como recomienda el personal de Mantenimiento, debería realizarse empezando por la construcción de nuevas puertas, las cuales tengan bisagras de modo que durante las reparaciones o mantenimientos no deban ser retiradas completamente. Una vez que éstas estén listas y colocadas, el último paso es colocar el sellante en los bordes, de modo que el vapor no tenga lugar para escapar y la atmósfera se mantenga completamente saturada.

Finalmente, es importante la creación de un procedimiento para el personal de mantenimiento, pues las fugas en el Secador fueron originadas por malas prácticas al momento de realizar reparaciones o mantenimientos. Y del mismo modo que en el caso de

Producción, debe acompañarse por una capacitación. Conseguir esto es menos complicado pues es un tema más de forma que de fondo.

CAPÍTULO 6: FASE MEJORAR

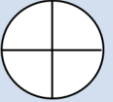
3.1 Introducción: Objetivos y Entregables

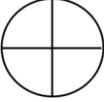
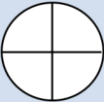
El único entregable correspondiente a esta fase será el Plan de Implementación de las soluciones planteadas en el Capítulo 5.

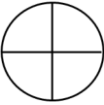
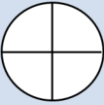
3.2 Plan de Implementación

En base a las Propuestas de Mejora planteadas en la Sección 5.3, se prosiguió a desarrollar un Plan de Implementación, donde se detalla las acciones que deben desarrollarse, sus responsables y el tiempo requerido para que se cumplan.

Tabla 6.1: Plan de implementación.

No.	Área de Oportunidad	Acción de Mejora	Quién	Cuándo	Estado
1	Falta de estandarización en métodos de operación.	Determinar mediante entrevistas a operadores el método óptimo de operación de cada máquina. Elaborar los procedimientos o mejoras a las Instrucciones de Trabajo con la información recolectada. Elaborar el nuevo método de capacitación física y la	Personal de Producción (Jefe o Asistente)	16/04/2012 a 16/05/2012	

		evaluación de entrenamiento.			
2	Exceso de carga de trabajo de ciertas jefaturas.	Análisis de carga de trabajo para repartir cargos o contratar nuevo personal.	Gerente General y Asistente de Recursos Humanos	16/04/2012 a 23/04/2012	
3	Fugas de vapor en Secador.	Elaborar puertas nuevas con bisagras que permitan un mantenimiento más fácil. Concretar trámites con proveedor de colocación de sellante hermético. Elaborar un procedimiento y capacitación para el personal de Mantenimiento que muestre el efecto del método utilizado en el Secador, de modo que se evite que la situación se repita.	Jefe de Mantenimiento y Gerente General	16/04/2012 a 16/05/2012	

4	Máquinas viejas y fuera de tiempo de vida útil.	<p>Buscar proveedores y realizar cotizaciones.</p> <p>Realizar un análisis financiero de la cantidad de dinero necesaria, el endeudamiento que se requiere y la recuperación del mismo en el tiempo.</p> <p>Concretar compras e instalación de las nuevas máquinas.</p>	Jefe de Mantenimiento y Gerente General	16/04/2012 a 16/04/2013	
5	Madera fuera de condiciones requeridas por el producto.	<p>Analizar compra de plantaciones o terrenos de modo que se vuelvan propios de la empresa.</p> <p>Desarrollo de una política de cuidado de plantaciones con futuros proveedores de madera.</p>	Gerente General	16/04/2012 a 16/04/2013	

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- Festa es una empresa que produce troquelados de madera, cuyos principales productos por mayor demanda y necesidad de una mayor exactitud dimensional son la Paleta Larga, la Paleta Corta y el Palito Corbatín.
- La empresa presenta una cantidad alta de productos defectuosos, las cuales llegan y afectan al último cliente interno: el Área de Selección. Sus mayores afecciones son la Convexidad y Banana en la Paleta Larga; Convexidad, Bajo Contorno y Desportillado Vertical en la Paleta Corta; y Convexidad, Alabeado y Encocado en el Palito Corbatín. De acuerdo a los registros de los controles realizados por el departamento de calidad, a lo largo del tiempo, en los tres productos considerados, la Convexidad es el que se presenta en mayor cantidad.
- El análisis realizado tanto a la salida de las Seleccionadoras como a la salida del subproceso previo a las mismas (Pulido) muestra que hay defectos que se presentan en alta cantidad en el uno, pero no en el otro. Por ejemplo, Convexo y Banana son los que se repiten en los tres primeros lugares en los dos subprocesos, pero el defecto Vibrado que es alto en los Pulidores es mínimo a la salida de las Seleccionadoras. Esto significaría que las Seleccionadoras separan el Vibrado, pero no consideran en gran medida a defectos como el Desportillado Vertical que es el de tercer mayor ocurrencia, mas no aparece entre los más significativos en los Pulidores.
- El principal requerimiento del Cliente Interno (Área de Selección) es que los productos cumplan con las especificaciones establecidas por los Clientes Externos, de modo que la cantidad de producto defectuoso sea mínima.

- Los subprocesos donde se generan los defectos más frecuentes son los Tornos, el Secador y los Pulidores.
- El producto defectuoso representa un 42.02% de la producción de Paleta Larga, 26.23% de Paleta Corta y 28.95% de Palito Corbatín, lo que traducido a ventas representa la pérdida de aproximadamente \$68000 anuales. Además, implica costos de mano de obra, tiempo y reprocesos.
- Un proyecto de esta magnitud necesita el apoyo de un equipo de trabajo, el cual debe comunicarse correctamente. Asimismo, es importante analizar los riesgos que pueden presentarse en el camino, de modo que en caso de que se presenten puedan ser mitigados o evitados.
- Cuando se van a tomar muestras y realizar mediciones, es importante establecer un Plan de Recolección de Datos, donde se especifique con claridad todos los factores que se tomarán en cuenta, de modo que no haya posibilidad de confusiones o errores.
- La variabilidad presentada en los Tornos fue mayor para el defecto que origina la Convexidad, la Chapa Ondulada sobre la Chapa Torcida.
- La variabilidad en el Secador es muy alta, dando como resultado que el proceso, en ninguno de los defectos analizados, se encontraba bajo control.
- En los Pulidores, la variabilidad disminuye notablemente en comparación con el Secador, sin embargo defectos como la Convexidad, Banana y Bajo Contorno no se encuentran bajo control estadístico.
- El análisis de capacidad del proceso para cumplir con las especificaciones refleja que los Tornos son los que menos capacidad tienen, especialmente para cumplir con el límite de Chapa Ondulada con valores de C_{pu} negativos. La Chapa Torcida presenta

valores de este índice más aceptables pues rodean el 0.6 y el 0.8. A continuación se encuentran los Pulidores con valores entre el 0.25 y el 0.75. Finalmente, con mayor capacidad, el Secador que está alrededor de 0.47 y hasta el 1.06.

- Congruentemente con el resultado del análisis de capacidad, el Nivel Sigma de los Tornos es el más bajo encontrándose por debajo de 2. Por otro lado, el nivel de los Pulidores se encuentra entre 2 y 3, mientras que el del Secador es superior a 3.
- Un proceso en óptimas condiciones debe presentar baja variabilidad y una alta capacidad y Nivel Sigma. En base a las tres últimas conclusiones se puede deducir que los Tornos ya se encuentran con baja variabilidad por lo que deben ser centrados dentro de las especificaciones. El Secador se encuentra en el extremo opuesto, pues se presenta en mayor porcentaje dentro de las especificaciones pero su variabilidad es alta. En cuanto a los Pulidores, éstos presentan un comportamiento intermedio, pues su variabilidad es ligeramente alta, y es capaz de cumplir en término medio con las especificaciones respecto al 1.25 o 1.33 recomendados.
- Por otra parte, de manera general, los índices correspondientes a la Paleta Corta son mejores que los que corresponden a la Paleta Larga.
- En base al análisis de Causa y Efecto y al de Causa Raíz se logró determinar que las principales causas que ocasionan defectos en los productos son la calidad de la madera, el estado de las máquinas tanto porque algunas ya son muy antiguas y porque el Secador presenta fugas de humedad; además, la falta de estandarización en la operación de las máquinas e, indirectamente, la carga excesiva de trabajo de ciertos jefes de área que no permite que se enfoquen directa y completamente en todas las actividades que deben desarrollar.

- Como mejoras se propone la toma de decisiones gerenciales para la compra de plantaciones o terrenos de modo que se maneje la madera del modo más conveniente para la realización de los productos. Asimismo, en la adquisición de maquinaria nueva que, con mayor tecnología, facilite y mejore el trabajo, los mantenimientos y reparaciones, y la motivación de los operadores. También, el arreglo del Secador de manera inmediata, pues provoca variabilidad en el porcentaje de humedad de los productos, tema que desencadena en el origen de defectos. Además, la creación de procedimientos completos que involucren todos los conocimientos necesarios para el uso de las máquinas y desempeño en el puesto de trabajo, acompañados de un método más eficiente de entrenamiento y evaluación del mismo. Finalmente, el análisis por parte de la Gerencia y el área de Recursos Humanos que determine la cantidad correcta de trabajo a designar a los jefes de área.

7.2 Recomendaciones

- La empresa debería invertir más en métodos preventivos y de control en el origen antes que en métodos reactivos. Por ejemplo, las Seleccionadoras, si bien es cierto regulan la cantidad de defectos que llegarán al cliente, en el fondo lo que hacen es separar lo bueno de lo malo, cuando controles previos o en el origen evitarían que se deba hacer esta separación. O los propios controles de calidad, que son importantes ya que proporcionan información sobre el desempeño del proceso en cuanto a cantidad de defectuosos obtenidos, podrían mejorarse si se realizan controles adecuados de los factores que originan los defectos, como la humedad de los productos al salir del

Secador, o revisiones periódicas del estado de los elementos y ajustes (ángulos, distancias, etc.) de los Tornos antes de obtener chapas malas.

- Se debe hacer énfasis en el enfoque de las capacitaciones y entrenamiento, pues de nada sirve que todo lo planteado y elaborado (procedimientos) quede en el papel.
- Debería implementarse un método formal para las sugerencias y propuestas de mejoras por parte de los operadores, por ejemplo, un buzón donde depositen sus ideas. Además, designar a un encargado que se encargue de analizar y escoger las viables y, también, de dar a conocer en público cuáles se escogieron y las razones de la decisión. En varias ocasiones los operadores mencionaron que sus ideas no fueron escuchadas o que simplemente quedaron en el aire.
- De acuerdo a Lourdes Orejuela (2012), MS en Ciencias de la Madera y Productos Forestales, un programa de secado es distinto para cada material o producto que se va a secar. Por lo tanto, la mejor manera de determinar el programa ideal es de manera experimental. Así, sería ideal la elaboración de un diseño de experimentos en el Secador, con el objetivo de obtener la combinación de los valores óptimos de los distintos factores variables que presenten la menor cantidad de producto defectuoso. Estos son: la velocidad de la cinta, el número de troqueladoras que alimentan el Secador y la humedad de la madera al ingreso. La velocidad de la cinta, según la Jefe de Producción varía entre 70 y 72, sin embargo, de acuerdo a la muestra utilizada en la Fase Analizar (Sección 5.2.3.1), la velocidad fue de 74.4 por lo que se podría considerar una variación entre 70 y 75. La humedad de ingreso debe determinarse pues no se realizan controles o mediciones sobre la misma, a grosso modo se conoce que se encuentra alrededor de un 35% o 37%. El único medidor de humedad que se tiene no

alcanza estos niveles, por lo que se debería adquirir uno para realizar el experimento.

No obstante, su importancia radica en que el Secador retira, en teoría, la misma cantidad de humedad de todos los palitos. Por lo tanto, una alta variabilidad de la humedad en la entrada da como resultado una alta variabilidad en la salida.

Finalmente, el número de troqueladoras puede ser 1 o 2. Así, para cada factor sus niveles a considerarse son:

	Valor Máximo	Valor Mínimo
Velocidad de la Cinta	75	70
Número de Troqueladoras	2	1
Humedad al Ingreso	Por determinar	Por determinar

De esta forma, el modelo del experimento será un diseño factorial 2^3 pues se tiene tres factores con dos niveles cada uno. Además, es importante conocer los efectos de la interacción entre los factores. Asimismo, aparte de los dos niveles debe tomarse puntos centrales que ayuden a detectar si hay una curvatura y no linealidad. Finalmente, realizar dos réplicas considerando el error experimental y que este experimento tomará tiempo y consumirá recursos.

- Se recomienda establecer métodos que involucren más a la gente con su trabajo, de modo que no lo vean solamente como una obligación o una necesidad. Debe ponerse mayor atención en el factor humano, considerando que es el más importante en la empresa. De acuerdo a Maslow, las necesidades humanas se jerarquizan de la siguiente forma: en primer lugar, las necesidades fisiológicas, que a nivel de trabajo se traducen

en remuneraciones y recompensas, así en vez de estar ejerciendo presión o amenazas, es más conveniente establecer incentivos, siendo los más importantes los salariales.

Segundo, las necesidades de seguridad, tanto físicas como psicológicas.

Tercero, las necesidades sociales, donde se busca un ambiente de trabajo agradable, comunicación con la administración y pertenencia a grupos de seguridad, por ejemplo (actualmente, existe un Comité Paritario que cubre esta parte).

Cuarto, la autoestima, que se puede lograr mediante retos, como una ampliación del trabajo (más actividades dentro del mismo trabajo), enriquecimiento del trabajo (tareas completas, delegación de trabajo, diversificación de tareas) o rotación del trabajo.

Finalmente, el quinto nivel es la autosatisfacción (Niebel et al., 2004, p. 650).

De acuerdo a Herzberg, los factores de satisfacción o insatisfacción se pueden clasificar en extrínsecos (administración, supervisión, condiciones de trabajo, salarios y relaciones interpersonales) e intrínsecos (logro, reconocimiento, responsabilidad y avance). Así, los factores extrínsecos tienen un efecto positivo pequeño pero pueden tener efectos negativos grandes, mientras que los intrínsecos motivan a que el trabajador sea más productivo. Por lo tanto, se debe maximizar los factores intrínsecos y minimizar los efectos negativos de los extrínsecos (Niebel et al., 2004, p. 653).

Con esto se busca que los trabajadores participen y se involucren más, que tengan la capacidad de examinar y analizar el trabajo que van a realizar, formen grupos de trabajo o distribuyan ellos mismo de manera justa el trabajo.

REFERENCIAS

- Alvear, E. (2012, marzo 19). Directora de Comercio Exterior [Entrevista Personal]. Quito
- Anderson, D. & Sweeney, D. (2008). *Estadística para administración y economía* (10ma. Ed.) [Versión Google Books]. México D. F.: Cengage Learning. Recuperado de http://books.google.com.ec/books?id=ehmBzuuZdzUC&pg=PA321&dq=tama%C3%B1o+muestra&hl=es&ei=8dqmTpG-BcuugQfv-8wV&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=8&ved=0CFUQ6AEwBw#v=onepage&q=tama%C3%B1o%20muestra&f=false
- Bañuelas, R., Antony, J. & Brace, M. (2005). An application of Six Sigma to reduce waste. *Wiley InterScience*. doi: 10.1002/qre.669
- Brojt, D (2005). *Project Management* [Versión Google books]. Buenos Aires: Ediciones Garnica S.A. Recuperado de http://books.google.com.ec/books?id=wXacjX6afTEC&pg=PA108&dq=plan+de+comunicacion+proyecto&hl=es&ei=B-eNTpTDEuTw0gH0icA5&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=3&sqi=2&ved=0CDcQ6AEwAg#v=onepage&q&f=false
- Cisneros, P. (2008). *Notas y Slides de Clase de Ingeniería Industrial*. Quito: USFQ.
- Curvas de Aprendizaje* (s. f.). Recuperado de <http://www.eumed.net/courseon/libreria/2004/fs/aprendizaje.htm>
- Diagrama de causa y efecto (Espina de Pescado/Diagrama de Ishikawa)* (s. f.). Recuperado de: http://www.infomipyme.com/Docs/GENERAL/Offline/GDE_03.htm
- DMAIC (s. f.). Recuperado de <http://www.tech-faq.com/dmaic.html>
- Duffuaa, S., Raouf, A. & Campbell J. D. (2009). *Sistemas de mantenimiento: Planeación y control*. México D.F.: Limusa Wiley.
- Elizondo Cardona, A (2007). *Reducción de defectos en lotes de producto terminado mediante la aplicación de la metodología Seis Sigma*. Recuperada de la base de datos Tesis Digitales UDLAP. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmnf/elizondo_c_a/capitulo2.pdf
- Fox, W. & van der Walddt, G (2007). *A guide to project management* [Versión Google Books]. Cape Town: Juta & Co. Ltd. Recuperado de http://books.google.com.ec/books?id=Kc0ZdrWnMcoC&pg=PA96&dq=risk+matrix&hl=es&ei=7RCOTpyOMoPu0gGpyPAe&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=7&ved=0CE0Q6AEwBg#v=onepage&q=risk%20matrix&f=false

- Gonçalves, M. et al (2008). MiniDMAIC: An approach to causal analysis and resolution in software development projects. *Advances in Computer and Information Sciences and Engineering* [Versión Google Books]. 166-171. Recuperado de http://books.google.com.ec/books?id=XYgdrA1CIhgC&pg=PA166&lpg=PA166&dq=dmaic+disadvantage&source=bl&ots=gL9Cknef4Y&sig=-N-ZrM1jDjmuLcMM1HdZhsJ32TA&hl=es&ei=aAfITP_PDSP58AaT3L3IDw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=5&ved=0CCoQ6AEwBA#v=onepage&q=dmaic&f=false
- Merchán, D. (2010). *Apuntes de Clase, Proyectos*. Quito: USFQ.
- Metodología DMAIC* (s. f.). Recuperado de: <http://www.advice-business.com/es/consejos-2003902.htm>
- Montgomery, D (2007). *Control Estadístico de la Calidad* (3ra. Ed.). México D.F.: Limusa Wiley.
- Montgomery, D. & Runger, D. (2007). *Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería* (2da. Ed.). México D.F.: Limusa Wiley.
- Navarrete, D. (2010). *Notas y Slides de Clase de Calidad Total*. Quito: USFQ.
- Niebel, B. & Freivalds, A. (2004). *Ingeniería industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo* (11ra. Ed.). México D.F.: Alfaomega.
- Orejuela, L (2012, abril 23). [Entrevista Personal]. Quito
- Paddle stick for ice cream* (s. f.). Recuperado de http://www.qrbiz.com/buy_ice-cream-paddle
- Perez-Wilson, M (1997). *Six Sigma Strategies: Creating Excellence in the Workplace*. Recuperado de <http://www.qualitydigest.com/dec97/html/sixsigma.html>
- Peterka, P. (s. f.). *El método DMAIC en Six Sigma*. Recuperado de <http://sixsigmaespanol.com/six-sigma-article-DMAIC.php>
- Peterka, P. (s. f.). *Six Sigma resuelve problemas con una solución desconocida*. Recuperado de <http://www.sixsigmaespanol.com/six-sigma-article-solve-problem.php>
- Project Management Institute (PMI) Standards Committee (1996). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*. Charlotte: Automated Graphic Systems.

- Przekop, P. (2006). *Six Sigma for Business Excellence* [Versión Google Books]. Estados Unidos: McGraw Hill. Recuperado de:
http://books.google.com.ec/books?id=T7hylbyAaCQC&pg=PA88&dq=dmaic+collection+data&hl=es&ei=AdixTuytJo7ogQe_hoy9AQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=6&ved=0CFAQ6AEwBQ#v=onepage&q=dmaic%20collection%20data&f=false
- Roman, K. (2007). *Developing Your Project Communication Plan*. Recuperado de
<http://www.collegiateproject.com/articles/Developing%20Your%20Project%20Communication%20Plan.pdf>
- Saderra i Jorba, L. (1993). *El secreto de la calidad japonesa*. Barcelona: Marcombo.
- Simon, K. (s. f.). *SIPOC Diagram*. Recuperado de
http://www.isixsigma.com/index.php?option=com_k2&view=item&id=1013:sipoc-diagram&Itemid=155
- Snyder, M. (2008). *What is the Difference Between Red Knots and Black Knots?*. Recuperado de
http://northernwoodlands.org/articles/article/what_is_the_difference_between_red_knots_and_black_knots
- Stevenson, W. (2007). *Operations management* (9na. Ed.). New York: McGraw-Hill.
- Tamborero, J. (s. f.). *NTP 316: Fiabilidad de componentes: La distribución exponencial*. Recuperado de http://www.jmcprl.net/ntps/@datos/ntp_316.htm
- The DMAIC Methodology* (s. f.). Recuperado de <http://asq.org/learn-about-quality/six-sigma/overview/dmaic.html>
- The ZDM Group (2011). *Manual del Programa Internacional Entrenamiento Six Sigma Green Belt*. Portland State University.
- Vergara, H. (2009). *Notas y Slides de Clase de Control Estadístico de la Calidad*. Quito: USFQ.
- Villarreal, D. (2010). *Pruebas relativas a la convexidad de la madera vs diámetro*. Quito
- What is DMAIC?* (s. f.). Recuperado de
<http://www.dmaictools.com/+dmaic&cd=11&hl=es&ct=clnk&gl=ec>

ANEXOS