

Universidad de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil Industrial



**Desarrollo del Modelo DMAIC para una propuesta de mejora
continua en el proceso productivo de láminas de corte en máquinas
podadoras de césped eléctricas en la empresa Tramontina Multi
Brasil.**

Por

Carlos Bastián Martínez Pérez

Angelo Luciano Soto Fontana

Trabajo de Título para optar al Grado de
Licenciado en Ciencias de la Ingeniería y Título de
Ingeniero Civil Industrial.

Profesor guía: Hugo Zuloaga

Abril, 2015

Agradecimientos

Carlos Bastián Martínez Pérez

Quiero agradecer a todos los que contribuyeron para lograr la realización de este trabajo:

A mis padres, Fanny y Juan Carlos por su incondicional apoyo, preocupación, confianza y el gran amor durante toda mi vida.

A mis hermanas Fanny y Javiera por su gran amor, compañía y compartir los mejores y peores momentos de mi vida.

A Angelo, mi compañero y amigo, por su amistad, apoyo y constante motivación durante el desarrollo de la investigación.

A mis familiares por su constante apoyo y motivación en la vida.

A mis amigos, por su amistad y constante motivación a lo largo de mi vida.

Al Sr. Hugo Zuloaga, profesor Guía, por sus consejos, disposición y constante apoyo en la investigación.

A la Empresa Tramontina Multi S.A por la confianza y la oportunidad de poder desarrollar este trabajo de investigación.

Agradecimientos

Angelo Luciano Soto Fontana

Agradezco a todos los que contribuyeron y apoyaron la realización de este trabajo de investigación:

A mis padres, Marita y Luis por su absoluto amor, apoyo, paciencia, preocupación, comprensión y los valores que me entregaron para ser lo que soy ahora.

A mis hermanos Renata y Franco por su compañía, apoyo y motivación, y a mi sobrino Vicente por llenar de felicidad nuestra familia.

A Constanza, por ser mi principal motivación, y acompañarme en toda la etapa universitaria con su amor, apoyo, lealtad y comprensión.

A Carlos, compañero y amigo, por su compromiso, responsabilidad, paciencia y motivación para realizar este trabajo.

Al Sr. Hugo Zuloaga, profesor guía, por sus consejos, orientación y apoyo para la realización de esta tesis.

Al Sr. Nestor Giordani, Director General de la Empresa Tramontina Multi S.A. por permitir y entregar la confianza necesaria para la realización de este trabajo.

Al Sr. Jair Miguel Schafer, Coordinador de recursos humanos de la fábrica, por las gestiones realizadas para el desarrollo de esta tesis, y por su preocupación y confianza depositada en mi durante mi práctica profesional en Brasil.

Al Sr. Rodrigo Weschenfelder, colega, guía y amigo personal, durante mi práctica profesional en Brasil, por su dedicación, preocupación, consejos, tiempo, ayuda en la investigación y apoyo entregados durante mi estadía en la fábrica.

A la Sra. Fernanda Denicol Costa, Supervisora de Calidad de la empresa, por la confianza depositada, constante apoyo, oportunidades de desarrollo, preocupación, y por ser la principal sostenedora de este trabajo.

Al Sr. Charles Eduardo Menzen, Supervisor de Ingeniería de la empresa, por sus consejos, integración y apoyo durante la práctica y desarrollo de la investigación.

Al Sr. Odair Borsoi, Director Industrial de la fábrica, por su preocupación, apoyo, y por la confianza entregada para la realización de la investigación.

Al Sr. Renan Cipriani, del departamento de Calidad, por su vital ayuda en la investigación.

A los trabajadores del Departamento de Ingeniería, por su fraternidad, integración y apoyo, durante mi estadía en la fábrica.

TABLA DE CONTENIDO

Agradecimientos	III
TABLA DE CONTENIDO	VI
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABLAS	XI
LISTA DE GRAFICOS	XII
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.	2
2.1 Identificación de la empresa.	2
2.2 Historia de la empresa.	3
2.3 Sobre Tramontina Multi.	4
2.3.1 Instalaciones de la Empresa.	4
2.3.2 Diagrama organizacional de la empresa.	6
CAPÍTULO 3: DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO .	8
3.1 Descripción del Problema.....	8
3.2 Objetivos del Estudio	9
3.2.1 Objetivo General	9
3.2.2 Objetivos Específicos	9
CAPÍTULO 4: MARCO TEORICO Y METODOLOGIA	10
4.1 Concepto de la calidad	10
4.1.1 Implicaciones de la calidad.....	11
4.1.2 Coste de la Calidad	12
4.1.3 Calidad y Seis Sigma	12
4.2 Metodología Seis Sigma.....	12
4.2.1 Origen y definición de Seis Sigma.....	12
4.2.2 Principios y Características del Seis Sigma	16

4.2.3 Implementación de la metodología Seis Sigma.....	17
4.2.4 Actores, funciones y responsabilidades en Seis Sigma	18
4.2.5 Calculo del nivel Sigma	19
4.3 Metodología DMAIC	21
4.3.1 Fases del DMAIC	22
4.3.1.1 Fase Definir.....	22
4.3.1.2 Fase Medir	24
4.3.1.3 Fase Analizar	24
4.3.1.4 Fase Mejorar	25
4.3.1.5 Fase Controlar	25
4.4 Principales herramientas de la metodología DMAIC	27
4.4.1 Histograma	29
4.4.2 Boxplot	32
4.4.3 Diagrama de flujo del Proceso	32
4.4.4 Control Estadístico de Procesos	33
4.4.5 Índice de capacidad.....	35
4.4.6 Test de normalidad.....	39
4.4.7 Diagrama de Ishikawa	40
4.4.8 Diagrama de Pareto	41
4.4.9 Test de hipótesis	42
4.4.10 Prueba t-Student para dos muestras independientes y varianzas diferentes.....	43
4.4.11 Matriz AMEF.....	44
4.4.12 Calculo Tamaño de muestra recomendada.....	45
4.4.13 Los 5 por qué	46
4.4.14 Matriz de Priorización de Mejoras	46
CAPÍTULO 5: DESARROLLO DE LA METODOLOGIA DMAIC	50
5.1 FASE DEFINIR (D)	50
5.1.1 Planteamiento del Problema	50

5.1.2 Alcance del Proyecto.....	52
5.1.3 Meta del Proyecto	54
5.1.4 Clientes y consumidores afectados por el problema.....	54
5.1.4.1 Requerimientos del cliente	55
5.1.5 Proceso relacionado al Problema.....	56
5.1.6 Análisis SIPOC.....	59
5.1.7 Impacto económico	60
5.2 FASE MEDIR (M)	62
5.2.1 Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF)	63
5.2.2 Determinación del Tipo de Información.....	68
5.2.3 Plan de Recolección de Datos	69
5.2.3.1 Mediciones Dimensionales.....	69
5.2.3.2 Medición de los parámetros del proceso.....	74
5.2.4 Test de normalidad de los datos	74
5.3 FASE DE ANALISIS (A)	76
5.3.1 Análisis de Capacidad del Proceso	76
5.3.1.1 Análisis de Capacidad del Proceso Corte	77
5.3.1.2 Análisis de Capacidad del Proceso Estampado.....	79
5.3.1.3 Análisis de Capacidad del Proceso Pintura y Cura.....	81
5.3.2 Control Estadístico de Proceso	82
5.3.2.1 Control estadístico de proceso, Etapa Corte.....	82
5.3.2.2 Control estadístico de proceso, Etapa Estampado	84
5.3.2.3 Control estadístico de proceso, Etapa Pintura y Cura.....	85
5.3.3 Calculo del nivel sigma del proceso	86
5.3.4 Estudio de la relación entre la etapa de estampado y Pintura.....	88
5.3.5 Conclusiones y Acciones de Mejora.....	91
5.4 FASE DE MEJORA (I).....	95
5.4.1 Priorización de mejoras potenciales	95
5.4.2 Análisis de la propuesta de mejora seleccionada.....	97

5.4.3 Aplicación de la mejora	98
5.4.3.1 Mejora en etapa de Estampado	98
5.4.3.2 Mejora en etapa de Pintura y Cura	101
5.4.4 Validación de la Mejora	104
5.5 Fase Controlar	106
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES	110
CAPÍTULO 7: GLOSARIO	112
CAPÍTULO 8: BIBLIOGRAFÍA	113
CAPÍTULO 9: ANEXOS	116
ANEXO 1	116
ANEXO 2	120
ANEXO 3	125
ANEXO 4	126

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Instalaciones de la Empresa.....	5
Figura 2: Diagrama Organizacional	6
Figura 3: Nivel Seis Sigma.....	14
Figura 4: Esquema metodología DMAIC	22
Figura 5: Ejemplo de mapa de raciocinio con interacción a las fases del DMAIC	28
Figura 6: Simbología de diagrama de flujo	33
Figura 7: Estructura del grafico de control	34
Figura 8: Proceso +/- 6 Sigma	36
Figura 9: Proceso +/- 3 Sigma	36
Figura 10: Proceso no capaz y desplazado a la derecha	38
Figura 11: Proceso capaz y centrado	38
Figura 12: Representación diagrama Ishikawa.....	40
Figura 13: Cortador de Césped.....	50
Figura 14: Lámina de Corte	51
Figura 15: Diagrama de Ishikawa del problema.....	53
Figura 16: Diseño de la lámina de corte	53
Figura 17: Diagrama de Árbol, Características Criticas de la Calidad	56
Figura 18: Desbobinadora STAM.....	57
Figura 19: Cortadora Laser.....	57
Figura 20: Diagrama de flujo del Proceso Productivo.....	58
Figura 21: Hexagon Metrology Dea Global Silver	69
Figura 22: Puntos medición etapa Corte.....	70
Figura 23: Puntos de medición etapa Estampado y Cura.....	71
Figura 24: Diagrama Causa-Efecto Proceso Estampado	92
Figura 25: Diagrama Causa-Efecto Proceso Pintura y Cura.....	93

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Datos generales de Tramontina S.A.	2
Tabla 2: Datos generales de Tramontina Multi S.A.....	2
Tabla 3: Definiciones del concepto de Calidad.	10
Tabla 4: DPO y DPMO.....	20
Tabla 5: Correlación entre Cp, DPO, DPMO y el nivel sigma	21
Tabla 6: Criterios para la selección y definición de proyectos	23
Tabla 7: Niveles de Control.....	26
Tabla 8: Representación matriz AMEF	45
Tabla 9: Fases del DMAIC y las principales herramientas.....	48
Tabla 10: Análisis SIPOC del Proceso Productivo Láminas de Corte.....	59
Tabla 11: Costos de las operaciones.....	61
Tabla 12: Ingresos Cortadoras.....	62
Tabla 13: Matriz AMEF	64
Tabla 14: Procesos con mayor NPR.....	68
Tabla 15: Puntos de medición etapa corte.....	71
Tabla 16: Puntos de medición etapa Estampado y Cura	72
Tabla 17: Test de Normalidad etapa Corte	75
Tabla 18: Test de Normalidad etapa Estampado y Pintura.....	75
Tabla 19: Resumen Análisis de Capacidad del Proceso de Corte.....	78
Tabla 20: Resumen Análisis de Capacidad del Proceso de Estampado	80
Tabla 21: Resumen Análisis de Capacidad del Proceso de Pintura y Cura.....	82
Tabla 22: Calculo del nivel Sigma de los procesos Corte, Estampado, Pintura y Cura.	88
Tabla 23 t-test Estampado v/s Pintura y Cura.....	89
Tabla 24: Comparación Proceso de Estampado y Pintura	92
Tabla 25: Análisis “5 Por qué” Proceso de Estampado.....	94
Tabla 26: Análisis “5 Por qué” Proceso de Pintura y Cura.....	94
Tabla 27: Puntuación asignada para la Matriz de priorización de mejoras	95
Tabla 28: Puntajes Obtenidos para la priorización de mejoras en el proceso productivo de láminas de corte	96
Tabla 29: Test de Normalidad etapa Estampado y Pintura con matriz reparada	98
Tabla 30: Comparativa Nivel sigma del Proceso con la Mejora.....	104
Tabla 31: Plan de Control para el proceso productivo de láminas de corte	107

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1: Histograma simétrico o normal	29
Gráfico 2: Histograma asimétrico y con un pico	30
Gráfico 3: Histograma con más de un pico	30
Gráfico 4: Histograma del tipo “Plato”:	31
Gráfico 5: Histograma con aislamientos	31
Gráfico 6: Boxplot o Grafico de Caja.....	32
Gráfico 7 : Representación diagrama de Pareto	42
Gráfico 8: Ejemplo Matriz de Priorización de Mejoras	47
Gráfico 9: Grafico de Pareto de la Matriz AMEF	67
Gráfico 10: Histograma de datos no normales.....	76
Gráfico 11: Capacidad del Proceso etapa Corte.....	77
Gráfico 12: Capacidad del Proceso etapa Estampado	79
Gráfico 13: Capacidad del Proceso etapa Pintura y Cura.....	81
Gráfico 14: Control Estadístico del Proceso etapa Corte.....	83
Gráfico 15: Control Estadístico del Proceso etapa Estampado	85
Gráfico 16: Control Estadístico del Proceso etapa Pintura y Cura.....	86
Gráfico 17: Boxplot Comparativos Estampado y Pintura	90
Gráfico 18: Matriz de Priorización de mejoras para eliminación de causas potenciales en el incumplimiento de especificación de láminas de corte.....	97
Gráfico 19: Capacidad del Proceso Estampado Mejorado	99
Gráfico 20: Cartas de Control Proceso Estampado mejorado	100
Gráfico 21: Capacidad del Proceso Pintura y Cura mejorado.....	101
Gráfico 22: Carta de control del Proceso Pintura y Revenido Mejorado	103
Gráfico 23: Boxplot Comparativo Proceso de Estampado, proceso inicial y mejorado, en los puntos críticos	105

RESUMEN

Las actuales normas de seguridad que están siendo aplicadas en países desarrollados en productos de uso doméstico que pueden afectar la integridad física de los usuarios, han generado desafíos para las empresas productoras, esto debido, a las estrictas especificaciones técnicas y normas a los cuales son sometidos. Estas normas fueron recientemente adoptadas por el Gobierno Federal de Brasil como parte de su legislación.

Actualmente la empresa Tramontina Multi S.A. manifiesta problemas con respecto a esta nueva normativa, al ser notificada por el organismo regulador Brasileño INMETRO que uno de sus cortadores de césped no estaba cumpliendo con las especificaciones de diseño, concretamente en la diferencia de altura entre la base de la cortadora y la lámina de corte, que debe ser a lo menos de tres milímetros y está actualmente en un promedio de 1,2 mm.

Se utilizó la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar) para analizar el proceso productivo de las podadoras de césped y así detectar las posibles causas del problema y proponer alternativas de solución.

Siguiendo la metodología DMAIC y recomendaciones de la empresa se acoto la investigación a la producción de la lámina de corte de la podadora, luego se establecieron las etapas del proceso productivo que conducen a potenciales fallas (corte, estampado, pintura y cura), para luego identificar los atributos críticos del producto que generan un impacto directo en el cumplimiento de la especificación. La capacidad del proceso se midió mediante el uso de herramientas estadísticas obteniendo un Sigma inicial de 2,79 y 2,83 en estampado y pintura/cura respectivamente, además mediante estas mismas herramientas se descartó la incidencia del proceso de corte en el problema descrito.

Mediante la metodología DMAIC se logró revelar los problemas existentes en los procesos investigados y se generó una propuesta de mejora, la cual fue aplicada para llegar a una sigma final mejorado de 3,10 en estampado y 3,06 en pintura/cura.

ABSTRACT

The current safety standards are being applied in developed countries for domestic use products that can affect the physical integrity of the users, this has created challenges for the producers, due to the strict specifications and standards to which they are subjected. These guidelines were recently adopted by the Federal Government of Brazil as part of its legislation.

Currently the company Tramontina Multi SA manifest problems regarding to this new regulation, at being notified by the Brazilian regulatory agency INMETRO one of its lawnmowers was not complying with design specifications, basically the difference in height between the base of the cutting and sheet cut, which must be at least three millimeters and it is currently in an average of 1.2 mm.

DMAIC (Define, Measure, Analyze, Implement and Control) methodology was used to analyze the production process of lawn mowers and thus detect the possible causes of the problem and propose solutions.

Following the DMAIC methodology and recommendations of the company, it decided to narrow the investigation to producing the cutting blade mower , then the stages of the production process leading to potential failures (cutting, stamping, painting and curing) were recognized, for then identify critical product attributes that generate a direct impact on the implementation of the specification. Process capability was measured by using statistical tools obtaining an initial Sigma 2.79 and 2.83 in print and paint and cure respectively, and using the same tools the guilt of the cutting process on the issue described was discarded.

Through the DMAIC methodology has been able to reveal the problems in the processes investigated and it was generated an improvement proposal, which was applied to arrive to an improved end sigma stamped 3.10 and 3.06 in painting and cure.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

La intensa competencia del mercado mundial ejerce presión continua sobre las organizaciones, las cuales deben y necesitan presentar progresivamente productos y/o servicios de mejor calidad, con precios competitivos y ajustándose a las normas internacionales establecidas por cada país. Es por esto que se hace imprescindible la Mejora Continua dentro de las empresas, ya que es la base para asegurar la estabilización del proceso a lo largo del tiempo y además genera la posibilidad de mejorar continuamente, tratándose de la forma más efectiva de mejora de la calidad y la eficiencia en las empresas.

A continuación se presentara un caso de propuesta de Mejora continua, mediante el desarrollo de la metodología DMAIC, en el proceso productivo de láminas de corte en máquinas podadoras de césped eléctricas en la empresa Tramontina Multi. El lector podrá visualizar un problema de calidad relacionado a un proceso productivo, dentro de una empresa de gran prestigio mundial (Tramontina, Brasil), donde mediante múltiples análisis estadísticos y técnicos se indagara en una posible solución a la problemática en cuestión.

El sustento de este trabajo de investigación se debe a la necesidad imperiosa de la empresa Tramontina Multi de buscar una mejora en la calidad dentro de su proceso productivo de láminas de corte, ya que está presentando problemas para cumplir con las normas del organismo regulador Brasileño (INMETRO), lo cual le podría traer consigo repercusiones económicas elevadísimas y consecuencias incalculables hacia su prestigiosa imagen.

Es por lo anterior que mediante el desarrollo de la metodología DMAIC se realizara una propuesta de mejora continua, la cual dará cuenta a la empresa del estado actual en que se encuentra el proceso productivo en cuestión, definiendo, midiendo y analizando la problemática; para posteriormente, mediante la implementación y control, se generen posibles vías de mejora de la calidad.

CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.

2.1 Identificación de la empresa.

A continuación se entregan los datos generales de la Empresa Tramontina desde una perspectiva corporativa en la Tabla 1 y de la filial Tramontina Multi S.A. en la Tabla 2

Tabla 1: Datos generales de Tramontina S.A.

Nombre	Tramontina S.A
Origen	Brasil
Fundación	1911
Fundador	Valentín Tramontina
Casa Matriz	Carlos Barbosa, Rio Grande do Sul, Brasil
CEO y Presidente	Clóvis Tramontina
Facturación	R\$ 2.8 billones (estimado)
Fabricas	10
Presencia Global	120 Países
Funcionarios	6.000

Fuente: Sitio web de la empresa

Tabla 2: Datos generales de Tramontina Multi S.A.

Nombre	Tramontina Multi S.A.
Fundación	23 de Septiembre de 1981
País	Brasil
Estado	Rio Grande do Sul
Ciudad	Carlos Barbosa
Dirección	Rodovia RSC 470, Km 230
Área	83.108 m2
Empleados	800 personas
Productos Generales	Cortadores de césped, orilladoras, sopladores de hojas, podadoras, trituradores, carretillas, palas, cavadoras, azadas, picotas, hachas, cucharas de albañil, llanas, espátulas, baldes de albañil, rastrillos, bioldos, raspadores, hoces, kits para jardín, escobas metálicas y plásticas, cercas para jardín, composteras, tijeras podadoras, serruchos, mangueras e accesorios para riego .

Fuente: Elaboración Propia.

2.2 Historia de la empresa.

Tramontina es una empresa metalúrgica brasileña, ubicada en la ciudad Gaucha (Rio Grande do Sul) de Carlos Barbosa, que fue fundada en el año 1911 por Valentín Tramontina.

La historia de la empresa comienza cuando Valentín Tramontina llega a la ciudad de Carlos Barbosa con el ideal de montar su propio negocio. De la mano de este hijo de inmigrantes italianos, natural de Santa Bárbara (RS), nace la ferretería Tramontina: un pequeño negocio establecido en un terreno alquilado.

Tras cumplir con el servicio militar obligatorio, Valentín retoma sus actividades e invierte pensando en el futuro, transfiriendo la empresa a un galpón mayor.

Más adelante conoce a su esposa Elisa De Cecco y unen sus fuerzas para trazar juntos la historia de una de las mayores empresas de Brasil.

En la actualidad Tramontina es una de las empresas más importantes del sur de Brasil, posee 10 unidades fabriles descentralizadas, ocho ubicadas en Rio Grande do Sul, en las ciudades de Carlos Barbosa, Farroupilha y Garibaldi, una en Belém en el estado de Pará, y otra en Recife en el estado de Pernambuco. En su conjunto estas diez fabricas producen actualmente más de 17 mil ítems destinados a los más diferentes segmentos - Ollas, utensilios de cocina, vajilla, cubiertos, cuchillos, utensilios domésticos de acero inoxidable, herramientas para la agricultura, la construcción civil y la jardinería, y herramientas altamente especializadas de mano, así como mesas y sillas en madera y plástico, fregaderos, bañeras, placa de cocina, área vitro, capuchas y hornos eléctricos. La empresa también actúa en el mercado de materiales eléctricos para instalación domestica e aun produce materiales forjados por pedido. Con esta gran variedad de productos tiene una presencia fuerte también en el mercado internacional, exportando para más de 120 países.

En el mercado interno, Tramontina cuenta con seis centros de distribución en Carlos Barbosa, São Paulo, Goiânia, Bahía, Recife e Belém, e cuatro oficinas regionales de ventas en Porto Alegre, Curitiba, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, estratégicamente situados de modo de asegurar al máximo la agilidad en la entrega de los productos, para estar siempre al alcance de los consumidores.

Fuera de Brasil la empresa posee diez centros de distribución, en Estados Unidos, Alemania, México, Colombia y Chile, y tres oficinas de ventas, en Perú, Francia y los Emiratos Árabes Unidos, formando así un eficiente sistema de distribución en sus principales mercados.

2.3 Sobre Tramontina Multi.

Tramontina Multi S.A. fue fundada en 1981, cuenta con 85.000 mts² de área construida y está ubicada en la ciudad de Carlos Barbosa en el estado de Rio Grande do Sul en Brasil, sus 800 empleados producen las más variadas herramientas para el segmento de la construcción civil, agricultura, jardinería y paisajismo. Dentro de estos segmentos, la división Multi es cada vez más competitiva y es capaz de adaptarse fácilmente a las necesidades del mercado, buscando siempre la mejora continua en la calidad de sus productos, con el menor costo posible, y así lograr satisfacer las necesidades de sus clientes y consumidores.

Actualmente la empresa está certificada con la norma ISO en dos aspectos:

- Gestión de la calidad ISO 9001.
- Gestión Ambiental ISO 14001

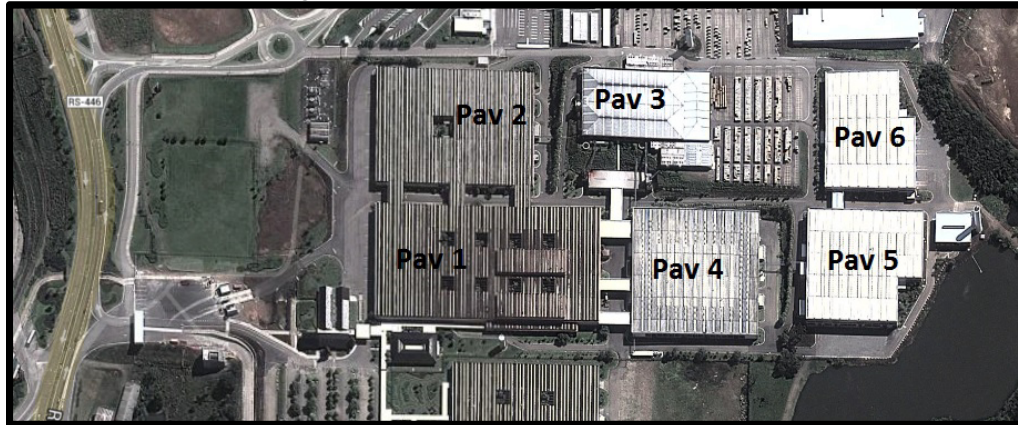
2.3.1 Instalaciones de la Empresa.

La empresa en la actualidad posee 6 pabellones diferentes, denominados por los mismos trabajadores como “mini fabricas”, como se puede ver en la Figura 1.

Donde en cada pabellón se ubican las siguientes líneas de producción y los siguientes departamentos:

- Pabellón N°1:
 - Líneas de Producción: Forjaría, azas, picotas, hachas, biellos, hoces, podadoras y palas.
 - Departamentos: Matriceria, Electricidad, Seguridad laboral, Mecánica, Ingeniería, PCP (Producción), Calidad y Laboratorios de ensayo.
 - Almacén de Productos listos.

Figura 1: Instalaciones de la Empresa



Fuente: Google Maps

- Pabellón N°2:
 - Líneas de Producción: Todos los artículos de Plásticos y mangueras.
 - Bodega de Materias primas
- Pabellón N°3:
 - Línea de producción: todos los artículos de madera (mangos)
 - Estufas de secado de madera
- Pabellón N°4
 - Líneas de Producción: Artículos para jardín, tijeras podadoras, cavadoras articuladas, cucharas de albañil, rastrillos, entre otros.
 - Cortadoras Laser (2D y 3D)
 - Almacén y des bobinador de Acero
 - Línea de Pintura
- Pabellón N°5
 - Línea de Producción de Carretillas
 - Inyectoras de Plástico para piezas de gran tamaño
- Pabellón N°6
 - Líneas de Producción de equipamientos para Jardín, podadoras eléctricas y a combustión de césped.
 - Almacén de Kanban.

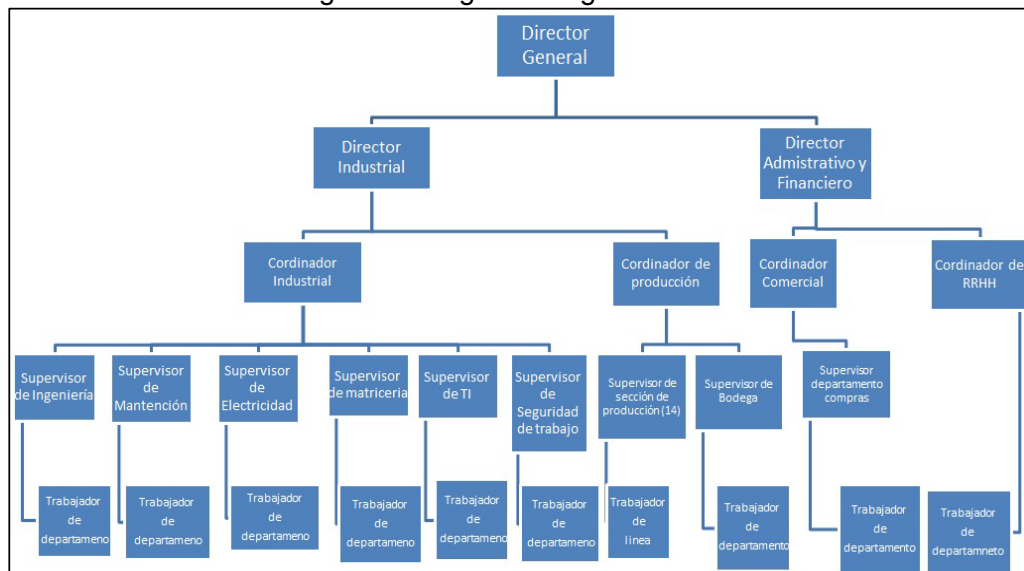
Además la empresa posee un “Escritorio industrial”, que son las oficinas administrativas, Un deposito exterior de madera para mangos (entre el pabellón

3 y 6), un almacén de materiales inflamables y un “*Refeitório*”, que es el casino de los trabajadores.

2.3.2 Diagrama organizacional de la empresa.

Esta empresa posee una estructura organizacional de un formato muy común dentro de las empresas brasileñas, con nombres de cargos bastantes diferentes a los que estamos acostumbrados en nuestro país (Chile), pero que tienen una lógica bastante similar. Hay que considerar que esta empresa posee más de 800 trabajadores en la actualidad, por lo que tiene varios niveles jerárquicos y una gran cantidad de supervisores. La estructura organizacional será presentada de forma más general en la Figura 2:

Figura 2: Diagrama Organizacional



Fuente: Elaboración Propia

Donde el director general es similar al gerente general de la empresa, los directores son los gerentes de área, los coordinadores los sub-gerentes, los supervisores (misma función) y luego los empleados comunes. Todos los directores tienen estudios superiores en universidades Federales (del estado), MBA y manejan al menos dos o tres lenguas (portugués, español e inglés), la mayoría de los coordinadores también provienen de universidades federales y poseen MBA. Los supervisores provienen de diversas universidades, las

principales son Universidad Unisinos, Universidad de Caxias do Sul y la Universidad Federal do Rio Grande, algunos poseen MBA o están estudiándolo, algunos magister y otros no poseen estudios superiores y llegaron al cargo por su experiencia y sus grandes habilidades. Dentro de los empleados comunes, una parte esta aun estudiando en la Universidad, otros tienen estudios técnicos, y por último en la parte más baja de la jerarquía, se encuentran los operarios de línea, que son entrenados y capacitados por la misma Tramontina.

Cabe destacar que el área administrativa engloba el departamento de contabilidad, finanzas, compras y marketing.

CAPÍTULO 3: DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

3.1 Descripción del Problema

Las actuales normas de seguridad que están siendo aplicadas en países desarrollados en productos de uso doméstico que pueden afectar la integridad física de los usuarios, han generado desafíos para las empresas productoras, esto debido, a las estrictas especificaciones técnicas y normas a los cuales son sometidos.

Estas normas fueron recientemente adoptadas por el Gobierno Federal de Brasil como parte de su legislación, específicamente la norma "*International Standard CEI IEC 60335-2-77*" (descrita en el Anexo A), de la International Electrotechnical Commission (IEC). La IEC es una organización internacional de normalización en los campos eléctricos, electrónico y las tecnologías relacionadas, con sede en Suiza y 82 miembros, cada uno de ellos representando a un país.

Actualmente la empresa Tramontina Multi S.A. manifiesta problemas con respecto a esta nueva normativa, al ser notificada por el organismo regulador Brasileño INMETRO que una línea de sus cortadores de césped no estaba cumpliendo con las especificaciones de diseño, concretamente en la diferencia de altura entre la base de la cortadora y la lámina de corte, que debe ser a lo menos de tres milímetros y está actualmente en un promedio de 1,2 mm. Lo que implica que la empresa debe corregir esta situación, ya que si el producto es nuevamente testeado y no cumple con las especificaciones de la norma, puede traducir en una posible extracción de los productos del mercado. Esta hipotética situación traería un perjuicio desde el punto de vista financiero, ya que la línea de podadoras genera ingresos por R\$ 793.516 (\$198.379.000.- clp) mensuales promedio, pero más allá del punto financiero, dañaría profundamente la imagen de la empresa Tramontina, que es reconocida por la calidad de sus productos.

Es por este motivo que la empresa ha solicitado estudiar y diagnosticar el proceso productivo del producto afectado, para poder determinar el origen del problema y así poder actuar de forma efectiva.

3.2 Objetivos del Estudio

3.2.1 Objetivo General

“Analizar mediante la metodología DMAIC el proceso productivo de las podadoras de césped para detectar las posibles causas del problema y proponer alternativas de solución”

3.2.2 Objetivos Específicos

1. Establecer las etapas del proceso productivo que conducen a potenciales fallas.
2. Identificar los atributos críticos del producto que generan impacto directo en el cumplimiento de las especificaciones.
3. Realizar mediciones de proceso y calcular la capacidad actual del proceso.
4. Analizar mediante herramientas estadísticas y de TQM los datos recolectados para definir la/s posibles causa/s raíz del problema.
5. Proponer posibles soluciones que mejoren la/s causas que generan el problema

CAPÍTULO 4: MARCO TEORICO Y METODOLOGIA

4.1 Concepto de la calidad

Desde una visión general, se habla que un producto o servicio es de calidad cuando cumple las expectativas del cliente, pero la calidad es mucho más que eso, el nivel de calidad de una empresa se sitúa sobre o por debajo de sus competidores, y es lo que hace que a mediano o largo plazo la empresa se desarrolle y progrese o se quede atrás y obsoleta.

En la Tabla 3 se expresaran las diferentes visiones que se tienen las personalidades más reconocidas y prestigiosas de la materia, sobre el concepto de la calidad:

Tabla 3: Definiciones del concepto de Calidad.

Sociedad Americana de la Calidad:	“La totalidad de prestaciones y características de un producto o servicio que son la base de su capacidad para satisfacer necesidades explícitas o implícitas”
Joseph Juran:	“Calidad es adecuación al uso del cliente”. Es el reconocimiento de los atributos del producto por el usuario
W E. Deming:	“Calidad es satisfacción del cliente”. Es el grado predecible de uniformidad y fiabilidad a bajo coste, y adecuado a las necesidades del mercado
G Taguchi:	“Calidad es la pérdida (monetaria) que el producto o servicio ocasiona a la sociedad desde que es expedido”.
Ishikawa:	“La calidad de un producto es concebir, desarrollar o producir artículos que sean para el cliente los más baratos, los más útiles y los que más le satisfagan”.
Philip Crosby:	”Calidad es cumplimiento de unas especificaciones o la conformidad con los requisitos del producto o servicio”
W A. Shewhart:	”La calidad como resultado de la interacción de dos dimensiones: dimensión subjetiva (lo que el cliente quiere) y dimensión objetiva (lo que se ofrece)”.
Definición ISO 9000:	“Calidad: grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos”
La RAE:	“Propiedad o conjunto de propiedades inherentes a una cosa que permiten apreciarla como igual, mejor o peor que las restantes de su especie”

Fuente: Elaboración Propia

Según Heizer y Render (2007), algunos creen que las definiciones de calidad se dividen en distintas categorías. Algunas definiciones se basan en el usuario. Éstas defienden que la calidad “reside en los ojos del usuario”. A los que trabajan en marketing les gusta esta definición, y a los clientes también. Para ellos, una mejor calidad implica un mayor rendimiento, prestaciones más valoradas y otras mejoras (a veces costosas). Para los directivos de producción, la calidad se basa en la fabricación. Creen que la calidad significa conformidad con las especificaciones, y “hacer las cosas bien a la primera”. Un tercer enfoque es el que se basa en el producto, y considera la calidad como una variable precisa y mensurable.

4.1.1 Implicaciones de la calidad.

Según Heizer y Render (2007), la calidad además de ser un elemento crítico en las operaciones, tiene otras implicaciones, a continuación se presentan tres razones de la importancia de la calidad:

1. La reputación de la empresa: las organizaciones deben contar con que la reputación que tenga su calidad (sea buena o mala) las acompañara siempre.
2. Responsabilidad sobre el producto: cada vez es más frecuente que los tribunales responsabilicen a las organizaciones de los daños y perjuicios derivados del empleo de productos o servicios defectuosos que diseñen, produzcan o distribuyan. Las leyes de seguridad de productos para el consumidor define e impone normas sobre productos al prohibir los productos que no cumplen dichas normas. Alimentos contaminados que provocan enfermedades, camiones que se pueden incendiar, neumáticos que revientan, o depósitos de gasolina del automóvil que explotan en un accidente pueden todos ellos obligar a pagar enormes gastos legales, importantes indemnizaciones o pérdidas de ventas, y una publicidad muy negativa.
3. Implicaciones globales. En esta era tecnológica, la calidad así como la dirección de producción constituyen una preocupación internacional. Para que tanto una empresa como un país puedan competir con eficacia en el marco de una economía global, los productos deben cumplir las expectativas de calidad, diseño y precio. Los productos de baja calidad dañan no sólo la rentabilidad de una empresa, sino también la balanza de pagos de un país.

4.1.2 Coste de la Calidad

Según Heizer y Render (2007), Hay cuatro importantes categorías de costes asociados con la calidad, denominados costes de la calidad; son las siguientes:

- Costes de prevención. Costes relacionados con la reducción de las causas potenciales de producción de piezas o servicios defectuosos (por ejemplo, formación, programas de mejora de la calidad).
- Costes de inspección o control. Costes relacionados con la evaluación de productos, procesos, componentes o servicios (por ejemplo, pruebas, laboratorios, inspectores).
- Fallos internos. Costes resultantes de la producción de componentes o servicios defectuosos antes de su entrega al cliente (por ejemplo, reelaboración, desechos, tiempo perdido).
- Costes externos. Costes que surgen después de entregar componentes o servicios defectuosos (por ejemplo, reelaboración, artículos devueltos, responsabilidades, pérdida de clientela o costes para la sociedad).

4.1.3 Calidad y Seis Sigma

El concepto de calidad en Seis Sigma según Lowenthal (2002) tiene relación con reducir las variaciones en los procesos, reducir la tasa de defectos y desarrollar más fiabilidad en las especificaciones que satisfagan al cliente.

4.2 Metodología Seis Sigma

4.2.1 Origen y definición de Seis Sigma

Sigma (σ) es la letra griega que se usa para denotar la desviación estándar poblacional (proceso), la cual proporciona una forma de cuantificar la variación que tiene una variable de dicha población o proceso. El nivel sigma que tiene un proceso es una forma de describir que tan bien la variación del proceso cumple con las especificaciones o requerimientos del cliente. En ese sentido, la meta ideal es que el proceso tenga un nivel de calidad Seis Sigma (Gutiérrez y de la Vara, 2009).

El término “seis sigma” fue desarrollado para describir una filosofía de negocio, un proceso de mejora y una métrica para benchmarking. La espina

dorsal para cada fase del “Seis Sigma” es basada en un sistema de medida de fallas (Chahade, 2009), los cuales serán explicados más adelante.

De forma aclaratoria, el Benchmarking es el proceso mediante el cual se recopila información y se obtienen nuevas ideas, mediante la comparación de aspectos entre su empresa con los líderes o los competidores más fuertes del mercado.

Motorola desarrolló el programa Seis Sigma en la década de 1980 en respuesta a las quejas de los clientes sobre sus productos y a la dura competencia. La empresa se fijó primero el objetivo de reducir los defectos un 90%. En un año había logrado tan impresionantes resultados, mediante benchmarking con los competidores, solicitando nuevas ideas a los empleados, cambiando los planes de incentivos, aumentando la formación, remodelando los procesos críticos, documentando todos estos procedimientos en lo que denominó Seis Sigma. Aunque el concepto estaba arraigado en las manufacturas, GE lo amplió posteriormente a los servicios, incluyendo recursos humanos, ventas, servicios de atención al cliente y servicios financieros/de crédito. El concepto de eliminar por completo los defectos sirve igual para las manufacturas como para los servicios (Heizer y Render 2007).

Según Hutchins (1994), la metodología Seis Sigma refuerza el control estadístico de la calidad en el ámbito de la definición de padrones de excelencia operacional debiendo estos sobrepasar los 3,4 defectos en un millón de oportunidades, lo cual se explica de forma gráfica en la Figura 3. Se trata de una metodología con carácter preventivo y con enfoque para la mejora continua, fijando niveles de referencia competitivos en todo el mundo.

Según Pande; Neuman; Cavanagh (2001), Seis Sigma es un sistema robusto que tiene por objetivo maximizar los resultados de las empresas. Es una unidad estadística utilizada para medir la capacidad de un proceso para funcionar sin fallas. Un producto o servicio con 99,9997% sin fallas, significa ser un proceso Seis Sigma.

Figura 3: Nivel Seis Sigma



Fuente: Adaptada de Campos, 2007

Según Gutiérrez y de la Vara (2009), Seis Sigma es una estrategia de mejora continua del negocio que busca mejorar el desempeño de los procesos de una organización y reducir su variación; con ello, es posible encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio. En todo momento se toma como punto de referencia a los clientes y sus necesidades. La estrategia Seis Sigma se apoya en una metodología fundamentada en las herramientas y pensamiento estadístico. Asimismo, tiene tres áreas prioritarias de acción: satisfacción del cliente, reducción del tiempo de ciclo y disminución de los defectos.

Según Campos (2005), Seis Sigma es una metodología de mejoramiento continuo que busca la reducción de las variabilidades. Como una metodología de mejora continua de la calidad, el Seis Sigma no presenta grandes saltos cualitativos, siendo aprovechados los conceptos ya desarrollados y utilizados por otras técnicas de mejora de la calidad, como análisis y control estadístico de procesos, análisis del flujo de proceso, simulación, entre otros; se muestra innovador en cuanto al:

- Foco estratégico adoptado para definir el proceso a ser mejorado.
- Criterio para la definición de las metas de mejora.

Para Marshall (2004), Seis Sigma significa reducir el número de defectos, la variabilidad de los procesos, la mejora de los productos, la disminución del tiempo de ciclo, la mejora del inventario, la obtención de costos más bajos, la satisfacción de los clientes, el aumento de la calidad y la lucratividad, resultando en importantes impactos financieros para la empresa.

Seis Sigma tiene un enfoque que en los días de hoy atrae la atención de muchas empresas por su sistemática en alcanzar la disminución de la variabilidad y de los desperdicios en los procesos, por medio de métodos estadísticos y de los conceptos de calidad. Utiliza métodos estadísticos integrados y una secuencia lógica con un enfoque de gestión, con el objetivo de alcanzar elevados niveles de desempeño. Los resultados en el Seis Sigma típicamente pueden ser medidos y expresados por medio de la variación de sus procesos y sugiere que empresas busquen tal desempeño en términos estadísticos, alcanzando en lo máximo 3,4 defectos por cada millón de oportunidades, cuya condición es alcanzada por pocas empresas hasta el día de hoy. Cuanto más alto fuera el Sigma del proceso, menor será la cantidad de fallas. A diferencia de otras formas de gestión de procesos, el Seis Sigma tiene como prioridad la obtención de resultados rápidos de forma planeada y clara, teniendo como objetivo principalmente los resultados financieros. (Chahade, 2009).

Según Corrêa e Corrêa (2006), los procesos siempre estarán sujetos a variaciones, y, por lo tanto, disponibles para el continuo mejoramiento.

La meta de la metodología, es lograr un proceso con una calidad Seis Sigma, es decir, que como máximo se generen 3,4 defectos por millón de oportunidades. Esta meta se pretende alcanzar mediante un programa vigoroso de mejora, diseñado e impulsado por la alta dirección de una organización, en el que se desarrollan proyectos 6σ a lo largo y ancho de la organización con el objetivo de lograr mejoras, así como eliminar defectos y retrasos de productos, procesos y transacciones (Gutiérrez y de la Vara, 2009).

Métodos tradicionales de control de procesos consideran como normales variaciones que mantengan el 99,73% de los resultados dentro de los límites de control (límites aceptables). Las variaciones de un proceso de atendimento en un área *Help Desk* (soporte y resolución de problemas técnicos en informática) resultan, por ejemplo, en el tiempo que transcurre hasta que el cliente sea atendido. Supóngase que el tiempo máximo considerado por el cliente hasta el

atendimiento sea 20 segundos, el proceso de atendimento estará bajo control se 99,73% de las llamadas realizadas por los mismos fuesen atendidas en lo máximo 20 segundos. Esto representa que somete a 3 de cada 1000 clientes tendrían atendimientos encima de 20 segundos. La metodología Seis Sigma propone una tasa de 3,4 defectos en un millón de oportunidades, por lo tanto, la tasa presentada anteriormente es considerada excesiva, pues representa 3000 defectos en un millón de oportunidades (Chahade, 2009).

4.2.2 Principios y Características del Seis Sigma

Según Gutiérrez y de la Vara (2009), el Seis Sigma tiene los siguientes principios:

1. Liderazgo Comprometido de arriba hacia abajo: Seis Sigma es ante todo un programa gerencial que implica un cambio en la forma de operar y tomar decisiones. Por ello, la estrategia debe ser comprendida y apoyada desde los niveles altos de la dirección de la organización, empezando por el máximo líder de la organización.
2. Seis Sigma se apoya en una estructura directiva que incluye gente de tiempo completo: La forma de manifestar el compromiso por seis sigma es creando una estructura directiva que integre líderes del negocio, líderes de proyectos, expertos y facilitadores. Donde cada uno tiene roles y responsabilidades específicas para lograr proyectos de mejora exitosos.
3. Entrenamiento y acreditación: Los participantes deben ser orientados de forma correcta y acreditados para realizar sus tareas respectivas.
4. Orientado al cliente y con enfoque a los procesos: Una de las características claves del Seis Sigma es buscar que todos los procesos cumplan con los requerimientos del cliente (en cantidad o volumen, calidad, tiempo y servicio) y que los niveles de desempeño a lo largo y ancho de la organización tiendan al nivel de calidad Seis Sigma.
5. Seis Sigma se dirige con datos: Los datos y pensamiento estadístico orientan los esfuerzos de la estrategia 6σ , ya que los datos son necesarios para identificar las variables críticas de calidad y los procesos o áreas a ser mejorados. Las mejoras en la calidad no se pueden implementar al azar, por el contrario, el

apoyo a los proyectos se asigna cuando a través de datos es posible demostrar que, con la ejecución del proyecto, la diferencia será percibida y sentida por el cliente.

6. Seis Sigma se apoya en una metodología robusta: los datos por si solos no resuelven los problemas del cliente y del negocio, por ello es necesaria una metodología. En 6σ los proyectos se desarrollan en forma rigurosa con la metodología de cinco fases: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (DMAIC).
7. Seis Sigma se apoya en entrenamiento para todos: El programa 6σ se apoya en entrenamiento para todos sobre la metodología DMAIC y sus herramientas relacionadas. Por lo general, la capacitación se da sobre la base de un proyecto que se desarrolla de manera paralela al entrenamiento, lo cual proporciona un soporte práctico.
8. Los proyectos realmente generan ahorros o aumento de ventas: un aspecto que caracteriza a los programas 6σ exitosos es que los proyectos DMAIC realmente logran ahorros y/o incremento en la ventas. Esto implica varias cosas: se seleccionan proyectos clave que en realidad atienden sus verdaderas causas, se generan soluciones de fondo y duraderas, y se tiene un buen sistema para evaluar los logros de los proyectos.
9. El trabajo por Seis Sigma se reconoce: Seis Sigma se sostiene a lo largo del tiempo reforzando y reconociendo a los líderes en los que se apoya el programa, así como a los equipos que logran proyectos DMAIC exitosos.
10. Seis Sigma es una iniciativa con horizonte de varios años, por lo que no desplaza otras iniciativas estratégicas, por el contrario, se integra y se refuerza
11. Seis Sigma se comunica: Los programas 6σ se fundamentan en un programa intenso de comunicación que genera comprensión, apoyo y compromiso, tanto en el interior de la organización como en el exterior (proveedores, clientes clave). Esto permitirá afianzar esta nueva filosofía en toda la organización, partiendo de explicar que es Seis Sigma y por qué es necesario trabajar con ella.

4.2.3 Implementación de la metodología Seis Sigma

Según Campos (2005), existen tres niveles para implementar el Seis Sigma

- Seis Sigma para transformación del negocio: Es implantado en toda la empresa y exige un fuerte cambio cultural en relación a la forma de hacer los negocios, tiene una actitud enfocada en el cliente y engloba todos los procesos.
- Seis Sigma para mejoramiento estratégico: se enfoca en estrategias claves o deficiencias operacionales, es aplicada en productos o procesos del negocio, procesos de desarrollo de productos y aumento de la eficiencia operacional.
- Seis Sigma para la resolución de problemas: se enfoca en cuestiones específicas y necesidades urgentes, mejoramientos de los resultados y reducción de los reclamos de los clientes.

Además Campos (2005) señala, que en el proceso de implementación del seis sigma, deberá seguir rigurosamente las fases del DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar). Ninguna de las fases se deberá dejar de ser considerada, pues siguen una lógica de resolución de problemas. No cumplir o cumplir alguna de las fases de forma irregular, significara obtener un atraso en el proyecto y un resultado no real para la elaboración de las próximas acciones.

4.2.4 Actores, funciones y responsabilidades en Seis Sigma

Según Brusse (2004) las empresas en general adoptan los siguientes niveles de responsabilidad:

- *Green Belts* – Son los líderes del proyecto seis sigma, y son los encargados de formar los equipos y gerenciar los proyecto hasta su finalización. Generalmente los entrenamientos de los *Green Belts* consisten en una clase semanal, conduciendo paralelamente el proyecto Seis Sigma. En este entrenamiento se abordan teorías de gerenciamiento de proyecto, herramientas para gerenciamiento de la calidad, capacidad de resolución de problemas, herramientas de control de la calidad y análisis descriptiva de los datos.
- *Black Belts* – Técnicamente preparados, están activamente en el proceso de cambios y desarrollo organizacional. Normalmente son provistos de áreas multidisciplinarias, no siendo necesariamente formados en ingeniería o estadística. Todavía, debido a la alta aplicación de una gran

variedad y herramientas en un periodo de tiempo relativamente corto, cerca de 160 horas, generalmente poseen facilidades en la interpretación de datos estadísticos, siendo en la mayoría formados en educación superior. Los *black belts* auxilian a los *green belts* en la definición de los proyectos para el entrenamiento, participan y dan soporte a los proyectos después de los entrenamientos.

- *Master Black Belts* – poseen el mayor nivel jerárquico en términos de conocimientos estadísticos en Seis Sigma. Los *master black belts* proveen de todo el soporte técnico para el programa de implementación del Seis Sigma, y por tanto, poseen conocimiento para responder las dudas existentes de los *black belts*. Generalmente los entrenamientos son conducidos por los *master black belts*. Didáctica y buena comunicación también complementan el perfil del *master black belts*.

Además existen otras posiciones importantes dentro de la metodología Seis Sigma que ofrecen soporte, como:

- *Leadership* – Líder que recibe las informaciones relativas a los resultados obtenidos en los proyectos, e paralelamente es responsable por el proceso de concientización en todas las capas en relación a la implementación del Seis Sigma.
- *Champion* – Líder que posee profundos conocimientos en el flujo del proceso, generalmente es el cliente del proyecto. Con él son definidas las métricas del proyecto a ser medidas y las metas que quieren ser alcanzadas.
- *Sponsor* – Líder facilitador de los proyectos en desarrollo que conoce la metodología Seis Sigma a fin de orientar a los dueños de los equipos en relación a la organización y demostración de las ganancias, presentación de los proyectos y formación de nuevos equipos a ser entrenados en la metodología Seis Sigma, junto a la lideranza inmediata y recursos humanos

4.2.5 Calculo del nivel Sigma

Para determinar Nivel Sigma en un determinado proceso, se necesita primeramente definir cuáles son las características críticas para la calidad a fin

de definir el alcance a ser medido, se refiere al concepto “*Voice of the customer*” (voz del cliente), es utilizada para describir las necesidades y expectativas de los clientes y consumidores, y sus percepciones en cuanto a los productos de la empresa (Werkema, 2002).

Secuencialmente las características en cuestión deberán ser verificadas en relación a su clasificación como datos cuantitativos continuos o cuantitativos discretos.

Datos continuos son datos que pueden ser medidos, como peso, altura, velocidad, volumen, etc.

Datos discretos son datos que son recuentos de frecuencia, como número de defectos, cantidad de personas en la sala, número de latas aplastadas, número de automóviles rojos, número de lotes rechazados, etc.

Tabla 4: DPO y DPMO

Defectos por oportunidad o DPO	Defectos por millón de Oportunidades o DPMO
<p>Formula: Numero de defectos $\frac{\text{n}^\circ \text{ de unidades} \times \text{n}^\circ \text{ de oportunidades}}{\text{DPO}}$</p>	<p>Formula: $\text{DPO} \times 1.000.000$</p>
<p>Ejemplo de vehículo: 990 defectos en 750 carros, 1500 oportunidades para defectos</p>	<p>Ejemplo de vehículo: $\text{DPMO} = 0,00088 \times 10^6 = 880$</p>
<p>DPO = $\frac{990 \text{ defectos}}{750 \text{ unid.} \times 1500 \text{ oportun. Por carro}} = 0,00088$</p>	

Fuente: Adaptada de Eckes, 2001

- Defectos por oportunidad o DPO: Expresa la proporción de defectos en relación al número total de oportunidades en una categoría de producto y servicio.
- Defectos por millón de oportunidades o DPMO: la medida DPO puede ser traducida para defectos en un millón de oportunidades, o partes por millón, y significa multiplicar DPO por un millón
- La capacidad del proceso Cp, se refiere a la capacidad de un proceso en producir algo sin defectos. (será explicado más adelante)

Se calcula el número de defectos encontrados (conforme a la Tabla 4), siendo DPMO (defectos por millón de oportunidades) y DPO (defecto por oportunidad). Para el cálculo de DPO, se tiene la razón entre el número de defectos encontrados sobre la multiplicación del número de unidades observadas y respectivas oportunidades de defectos asociadas a ellas, verificándose el nivel Seis Sigma a partir de la Tabla 5, que entrega la correlación entre el nivel DPMO y DPO en relación al Nivel Sigma del proceso.

Tabla 5: Correlación entre Cp, DPO, DPMO y el nivel sigma

Cp	DPMO	DPO	Nivel Sigma
0,33	697.672	0,697672	1 Sigma
0,67	308.770	0,30877	2 Sigmas
1,00	68.811	0,066811	3 Sigmas
1,33	6.210	0,00621	4 Sigmas
1,67	233	0,000233	5 Sigmas
2,00	3,4	0,0000034	6 Sigmas

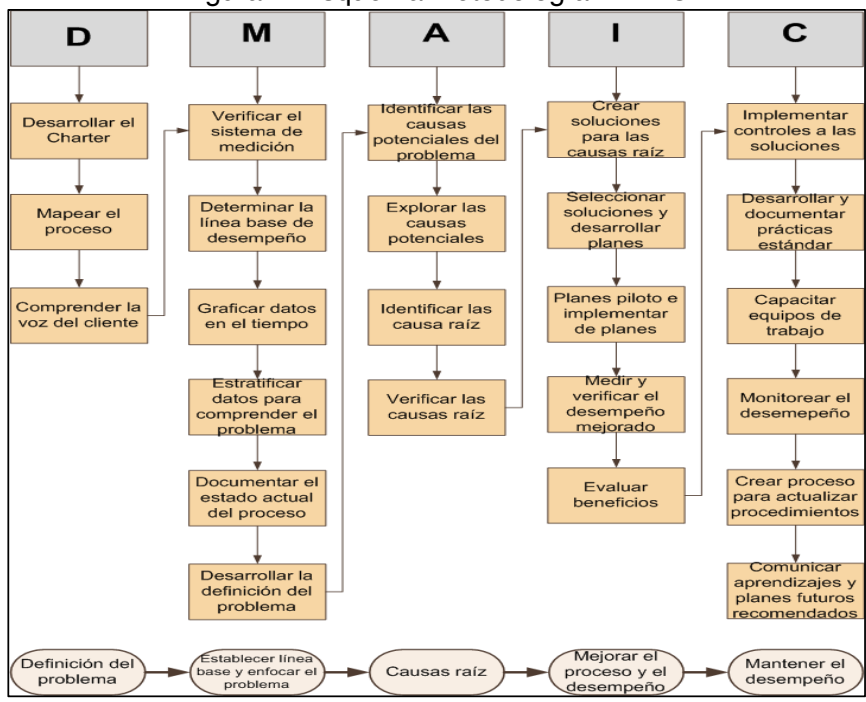
Fuente: Adaptada de Eckes, 2001.

4.3 Metodología DMAIC

Cada proyecto seis sigma sigue un método estandarizado y sistemático conocido como DMAIC (*Define-Measure-Analyze-Improve-Control*), un proceso de resolución de problemas formalizado. El proceso DMAIC puede mejorar cualquier tipo de proceso en cualquier organización es mejorar la eficiencia y la eficacia (Gygi, DeCarlo y Williams, 2005)

La metodología Seis Sigma necesita alta disciplina en su aplicación, para esto adopta las fases del DMAIC que significan la DEFINICION, MEDICION, ANALISIS, MEJORA Y CONTROL de las acciones, por medio de una sistemática disciplinada e herramientas estadísticas de baja y alta complejidad. Otro factor importante en la aplicación del Seis Sigma es la disciplina de los miembros del equipo que, si no es desarrollada correctamente podrá comprometer el proyecto. El esquema de la metodología y las tareas relacionadas a cada fase se puede observar en la Figura 4.

Figura 4: Esquema metodología DMAIC



Fuente: Material Profesor Zuloaga

4.3.1 Fases del DMAIC

4.3.1.1 Fase Definir

En la etapa de definición según se enfoca el proyecto, se delimita y se sienten las bases para su éxito. Por ello, al finalizar esta fase se debe tener claro el objetivo del proyecto, la forma de medir su éxito, su alcance, los beneficios potenciales y las personas que intervienen en este (Gutiérrez y de la Vara, 2009)

En esta fase se debe determinar el problema, definir el alcance y límite del proyecto, las metas de mejora y determinar lo que es un desempeño inaceptable o un defecto, además de definir los equipos de trabajo e estimar los impactos financieros. También es necesario mapear el proceso al cual el proyecto está vinculado (Chahade, 2009)

El primer paso para lograr un proyecto exitoso será su selección adecuada, que por lo general es responsabilidad *Champions* y/o de los *black belts* (Gutiérrez y de la Vara, 2009). En la Tabla 4 se da una lista de los aspectos a considerar en la selección y definición de un proyecto.

Tabla 6: Criterios para la selección y definición de proyectos

<p>Aborda áreas de mejora de alto impacto:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Reducir defectos o desperdicios en la etapas más críticas de un proceso -Ligada directamente a la satisfacción del cliente (quejas, reclamos, tiempos largos de atención, burocracia). -Mejorar la capacidad de los procesos -Incrementar el flujo del trabajo en los procesos (organización del proceso, reducción del tiempo de ciclo, eliminar actividades que no agregan valor).
<p>Apoyo y comprensión de la alta dirección:</p> <ul style="list-style-type: none"> -La importancia del proyecto es clara para la organización y se percibe como algo importante. -El proyecto tiene el apoyo y la aprobación de la dirección (o gerencia) de la empresa.
<p>Efectos fundamentales:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Se espera que el proyecto tenga beneficios monetarios importantes (medibles), que se reflejen en un tiempo menor a un año. -Factibles de realizarse en 3 a 6 meses. -Para medir el éxito del proyecto se tienen métricas cuantitativas claras, por lo que es fácil medir el punto de partida y los resultados.
<p>Aspectos a evitar en el proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Objetivos vagos e imprecisos. -Pobres métricas para medir el impacto. -No ligado a lo financiero. -Alcance demasiado amplio -No ligado a los planes estratégicos anuales. -Soluciones indefinidas -Demasiados objetivos.

Fuente: Adaptada de Snee 2001

En esta etapa, deberán ser respondidas las siguientes preguntas (Chahade, 2009):

- ¿Cuál es el problema – resultado indeseable u oportunidad detectada a ser abordada en el proyecto?
- ¿Cuál es la meta a ser alcanzada?
- ¿Cuáles son los clientes y consumidores afectados por el problema?
- ¿Cuál es el proceso relacionado al problema?
- ¿Cuál es el impacto económico del proyecto?

4.3.1.2 Fase Medir

En esta fase se recolectan los datos para la verificación del estado actual del proceso, garantizando que la sistemática de la medición sea adecuada. Es también el momento donde se establece la capacidad corriente del proceso, no debiendo haber falla, pues todas las demás fases se basaran en estas informaciones. Un estudio preciso de como los datos serán recolectados y almacenados es vital antes de ir en terreno a la obtención de datos (Chahade, 2009).

El objetivo general de esta segunda fase es entender y cuantificar mejor la magnitud del problema o situación que se aborda con el proyecto. Por ello, el proceso se define a un nivel más detallado para entender el flujo del trabajo, los puntos de decisión y los detalles de su funcionamiento (Gutiérrez y de la Vara, 2009).

En la fase medir, el problema deberá ser enfocado, donde dos preguntas básicas (Werkema, 2002) deben ser respondidas:

- ¿Qué resultados deben ser medidos para la obtención de datos útiles a la focalización del problema?
- ¿Cuáles son los focos del problema? Estos son indicados para el análisis de los datos generados por la medición de resultados asociados al problema

4.3.1.3 Fase Analizar

La fase analizar posee carácter decisorio en el proceso de mejora del Seis Sigma, pues en él se tienen las respuestas para los problemas. En esta fase se realizan las inferencias sobre el problema y se realizan los respectivos testes de hipótesis para la comprobación de las inferencias. En la mayoría de las veces se trata de la fase que demanda en términos de tiempo, la mayor proporción comparada con las otras fases (Chahade, 2009).

Según Werkema (2002), en esta fase se deberán determinar las causas fundamentales del problema prioritario asociado a cada una de las metas definidas en la fase anterior, o sea, para cada meta debe ser respondida la pregunta: ¿Por qué el problema prioritario existe?

El objetivo de esta esta fase es identificar las causas raíz del problema, entender cómo es que se genera el problema y confirmar las causas con datos. Entonces, se trata de entender cómo y por qué se genera el problema, buscando llegar a las causas más profundas y confirmarlas con datos. Obviamente para las causas vitales primero es necesario identificar todas las variables de entrada y/o posibles causas del problema. Las herramientas de utilidad en esta fase son muy variadas, por ejemplo lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa, Pareto de segundo nivel, estratificación, cartas de control, mapeo de los procesos, los cinco por qué, despliegue de la función de calidad para relacionar variables de entrada con variables de salida, diseño de experimentos, prueba de hipótesis, diagrama de dispersión, entre otros (Gutiérrez y de la Vara, 2009).

4.3.1.4 Fase Mejorar

En esta fase, se colocan en práctica las soluciones potenciales escogidas para ser testeadas. Se trata de la fase donde se planean las soluciones, y también la de mayor expectativa, tanto por parte de los *Green* o *Blacks Belts*, como también de los dueños del proceso y demás integrantes, explorando en la practica la verificación de la eficacia de buena parte del experimento ejecutado (Chahade, 2009).

El objetivo de esta etapa es proponer e implementar soluciones que atiendan las causas raíz; es decir, asegurarse de que se corrige o reduce el problema. Es recomendable generar diferentes alternativas de solución que atiendan las diversas causas, apoyándose en algunas de las siguientes herramientas: lluvia de ideas, técnicas de creatividad, hojas de verificación, diseño de experimentos, poka-yoke, etc. La clave es pensar en soluciones que ataquen la fuente de problema (causas) y no el efecto. Una vez que se generan diferentes alternativas de solución es importante evaluarlas mediante una matriz que refleje los diferentes criterios o prioridades sobre los que se debe tomar la solución (Gutiérrez y de la Vara, 2009).

4.3.1.5 Fase Controlar

La fase controlar posee como finalidad garantizar que el proceso ira a operar dentro de los límites de especificación con una mínima variación, minimizando la necesidad de nuevos ajustes del proceso. La quinta fase consiste en la evaluación del alcance de la meta en larga escala. Con este objetivo, los resultados después de la implementación generalizada de las

soluciones deben ser monitoreados para la confirmación del alcance del éxito (Chahade, 2009).

Una vez que las mejoras deseadas han sido alcanzadas, en esta etapa se diseña un sistema que mantenga las mejoras logradas y se cierra el proyecto. Muchas veces esta etapa es la más dolorosa o difícil, puesto que se trata de que los cambios realizados para evaluar las acciones de mejora se vuelvan permanentes, se institucionalicen y generalicen. Esto implica la participación y adaptación a los cambios de toda la gente involucrada en el proceso, por lo que se pueden presentar resistencias y complicaciones. Al final de cuentas el reto de la etapa de control es que las mejoras soporten la prueba del tiempo. En este sentido es necesario establecer un sistema de control para (Gutiérrez y de la Vara, 2009):

- Prevenir que los problemas que tenía el proceso no se vuelvan a repetir (mantener las ganancias).
- Impedir que las mejoras y conocimiento obtenido se olviden.
- Mantener el desempeño del proceso.
- Alentar la mejora continua.

Para lograr mantener el control se deben acordar acciones de control en tres niveles diferentes: proceso, documentación y monitoreo, como se detalla con mayor profundidad en la Tabla 7.

Tabla 7: Niveles de Control

<p><u>Nivel 1</u> Estandarizar el proceso</p>	<p>En este nivel se deciden acciones para asegurar las mejoras a través de cambios en los sistemas y estructuras que forman el proceso, tratando de no depender de controles manuales y de vigilancia sobre el desempeño. En otras palabras, se deben buscar cambios permanentes en los procesos y sus métodos de operación.</p>
<p><u>Nivel 2</u> Documentar el plan de control</p>	<p>Se busca trabajar para mejorar o desarrollar nuevos documentos que faciliten el apego a los procedimientos estándar de operación del proceso. La estandarización vía documentación contempla procedimientos bien escritos, videos y hojas de trabajo ilustradas. Otras alternativas para lograr la estandarización de los métodos son: capacitación, tanto para nuevos trabajadores como para los actuales, así como los sistemas a prueba de errores.</p>

<p style="text-align: center;"><u>Nivel 3</u> Monitorear el proceso</p>	<p>Se deciden las mejoras al monitoreo del proceso para que mediante este se tenga evidencia de que el nivel de mejoras logrado se siga manteniendo. Los monitoreos pueden realizarse sobre entradas claves del proceso, así como variables de salida crítica. Recordemos que por excelencia, las herramientas para analizar y monitorear el desempeño de un proceso son las cartas de control, pero debe asegurarse una elección y operación adecuada. Se debe tener cuidado especial de no confundir los conceptos de capacidad y estabilidad.</p>
<p style="text-align: center;"><u>Nivel 4</u> Cerrar y difundir el proyecto</p>	<p>El objetivo de esta última actividad es asegurarse de que el proyecto seis sigma sea fuente de evidencia de logros, de aprendizaje y que sirva como herramienta de difusión para fortalecer la estrategia 6σ. Esta difusión ayudara a elevar el nivel de compromiso de los involucrados para mantener el éxito del proyecto, así como fortalecer el aprendizaje y la mejora continua en la organización.</p>

Fuente: Adaptada de Gutiérrez y de la Vara, 2009

La implementación correcta de la metodología Seis Sigma por medio de las cinco fases hace que la empresa alcance importantes resultados, además de crear una identidad común entre los procesos en el que dice respecto a la metodología utilizada para proveer mejoras. Cada fase debe ser seguida en su totalidad para que los resultados aparezcan de forma rápida y consistente (Chahade, 2009).

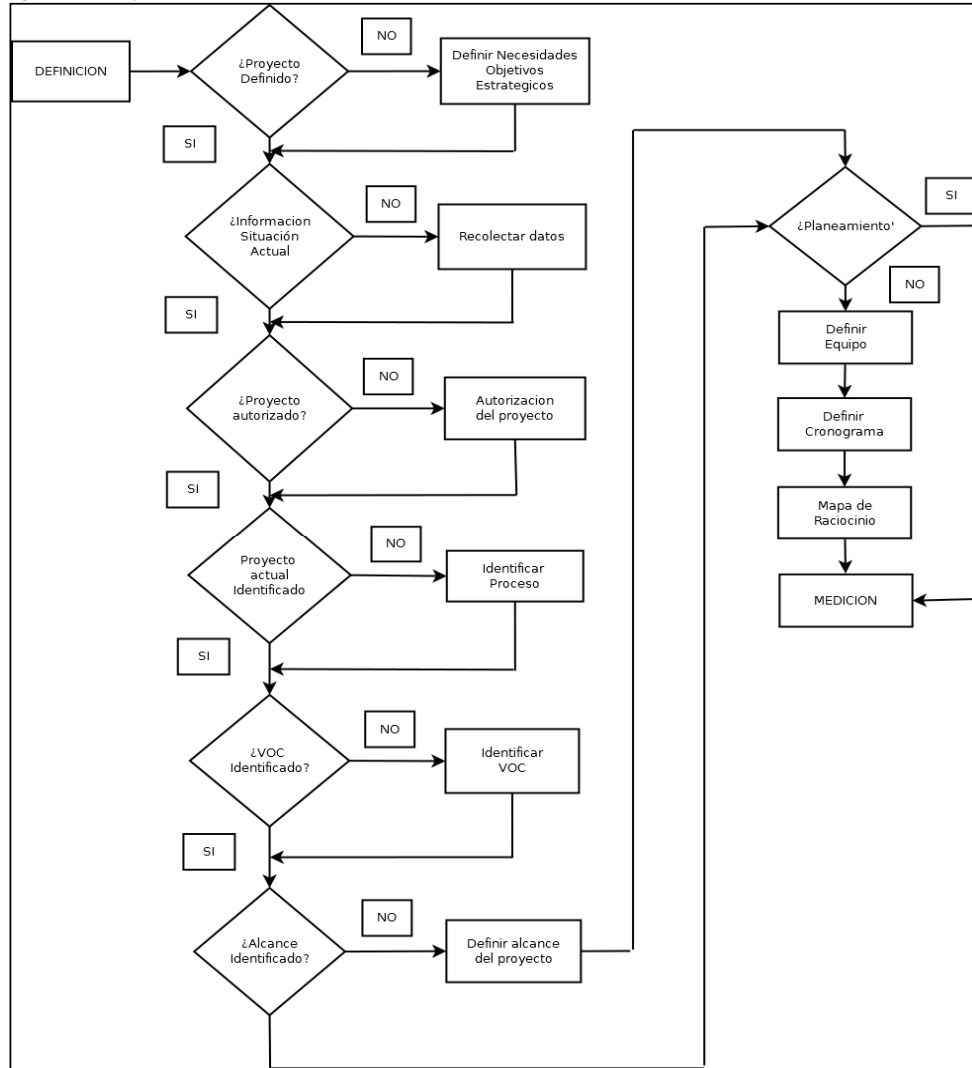
4.4 Principales herramientas de la metodología DMAIC

Las herramientas estadísticas citadas a continuación, se refieren a las principales utilizadas en los procesos que se dedica a la reducción de las respectivas variabilidades. Estas serán exploradas de tal forma que se tornen su utilización más fácilmente comprensibles y aplicables.

Las herramientas estadísticas utilizadas para el desarrollo del Seis Sigma comprenden una serie de opciones para el tratamiento de datos, desde las más simples, como un plano de control hasta las más complejas como el delineamiento de experimentos. En lugar de la existencia de innumerables herramientas, utilizar la más apropiada para cada fase, promoverá el adecuado andamio del proyecto, inclusive con reducciones importantes en el tiempo de ejecución de las fases del DMAIC. Por lo tanto, conocer profundamente las

herramientas usuales para la resolución de los problemas es una condición fundamental para la mejora continua de la calidad (Chahade, 2009).

Figura 5: Ejemplo de mapa de raciocinio con interacción a las fases del DMAIC



FUENTE: Adaptación Werkema 2002

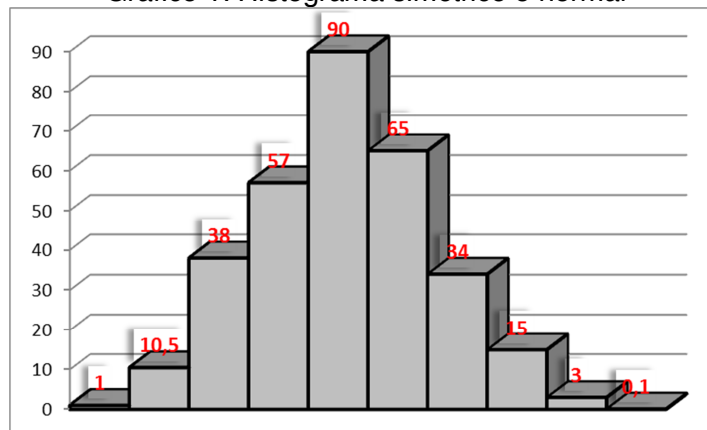
4.4.1 Histograma

El histograma es un gráfico de barras que dispone las informaciones de modo que sea posible la visualización de la distribución de un conjunto de datos de un fenómeno analizado y la percepción de la localización del valor central y de la dispersión de los datos en torno de este. La comparación de histogramas con los límites de especificación permite evaluar si un proceso está centrado en el valor nominal y si es necesario adoptar alguna medida para reducir la variabilidad de ese proceso (Werkema, 2002).

- Histograma Simétrico o normal: a mayor ocurrencia se localiza al medio y disminuye gradualmente en las laterales en forma de campana. La media y la mediana son aproximadamente iguales y se localizan en el centro del histograma.

La mayor ocurrencia se da en procesos estables con características de datos continuos.

Gráfico 1: Histograma simétrico o normal

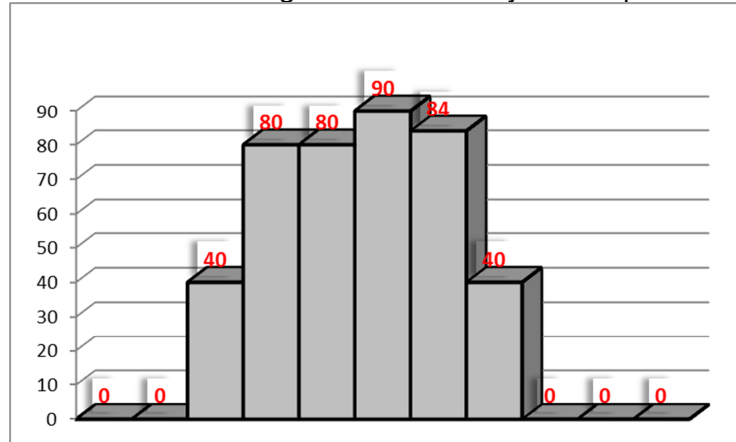


Fuente: Adaptada de Werkema, 2002.

- Histograma asimétrico y con un pico: el histograma termina repentinamente en un, o de los dos lados, causando la impresión de falta de uno de sus lados.

La ocurrencia se da donde posiblemente fueron eliminados datos por una inspección 100%, en ese caso el "corte" coincide con los límites de especificación.

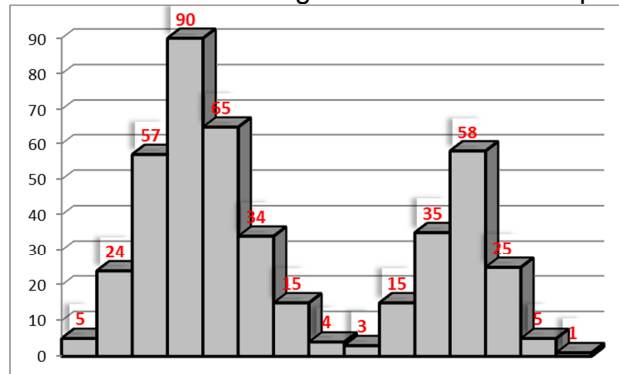
Gráfico 2: Histograma asimétrico y con un pico



Fuente: Adaptada de Werkema, 2002.

- Histograma con más de un pico: ocurren dos picos y la frecuencia es baja entre ellas. Ocurre en situaciones donde hay una mezcla de datos, con medias diferentes, obtenidas en dos condiciones distintas. Por ejemplo, dos tipos de materias primas, dos máquinas o dos operadores. La estratificación según esos factores podrá confirmar o no la resolución gráfica.

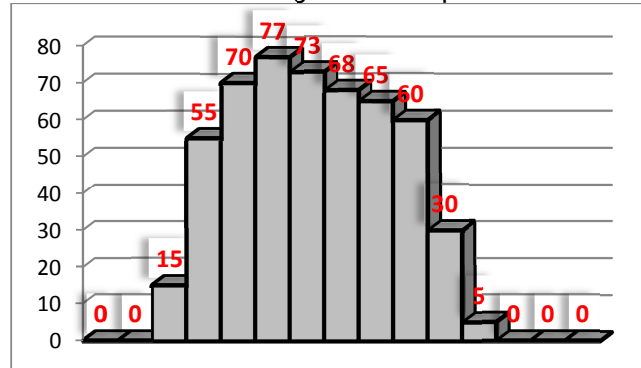
Gráfico 3: Histograma con más de un pico



Fuente: Adaptada de Werkema, 2002.

- Histograma del tipo “Plato”: clases centrales poseen aproximadamente la misma frecuencia. Ocurre posiblemente cuando hay una mezcla de varias distribuciones diferentes.

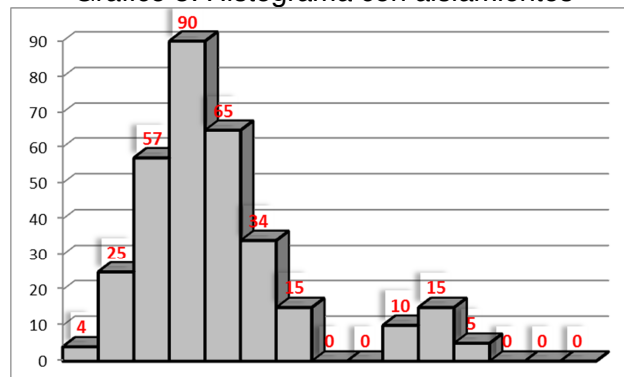
Gráfico 4: Histograma del tipo "Plato":



Fuente: Adaptada de Werkema, 2002.

- Histograma con aislamientos: algunos rangos de valores de la característica de calidad observada quedan aisladas de la gran mayoría de los datos, generando barras o pequeños grupos separados. Ocurren posiblemente por medio de anomalías temporales en el proceso, errores de medición, errores de registro o transición de datos, produciendo resultados muy diferentes de los demás. También puede ser clasificado como outliers¹.

Gráfico 5: Histograma con aislamientos



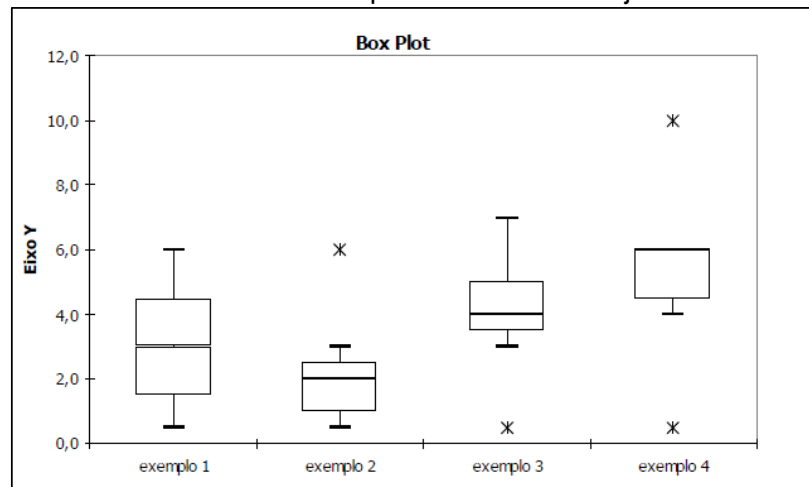
Fuente: Adaptada de Werkema, 2002.

¹ Outliers: presencia de observaciones discrepantes en el conjunto de datos, generalmente causados por falla en el proceso, anotaciones equivocadas, desviaciones puntuales de materias primas. En la estadística son indeseados, pues interfieren significativamente en el análisis de los datos.

4.4.2 Boxplot

El Boxplot o Grafico de Caja, es una herramienta exploratoria de datos que permite tener idea sobre la localización e dispersión del conjunto de datos. La localización es presentada por la mediana (línea que corta la caja) e la dispersión puede ser visualizada por el valor mínimo, primer cuartil, tercer cuartil y el valor máximo, conforme la figura x, por medio de los 4 ejemplos. Se puede insertar el valor de la media en el Boxplot, por medio de un símbolo. La existencia de valores discrepantes llamados de outliers es representada por asteriscos (Campos, 2003)

Gráfico 6: Boxplot o Grafico de Caja



Fuente: Chahade, 2009

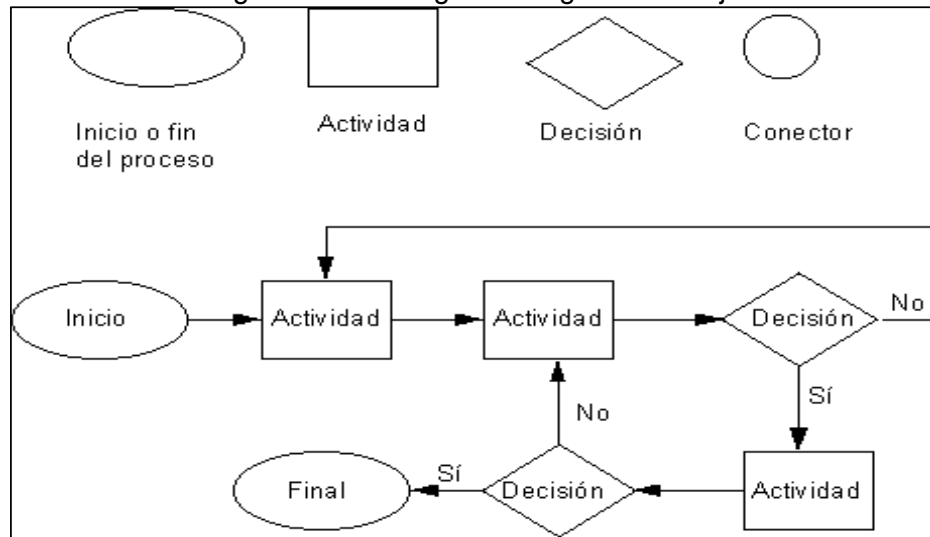
4.4.3 Diagrama de flujo del Proceso

El diagrama de flujo según Campos (2005) es una descripción grafica del proceso, se demuestra la secuencia de las actividades desarrolladas para la realización de un propósito específico, identificando los pasos del proceso. El diagrama de flujo describe de forma lógica e interconectada, los pasos (actividades) necesarias para la finalización de una operación. También permite un análisis crítico de los procesos existentes, por ejemplo:

- ¿la complejidad es necesaria?
- ¿simplificaciones son posibles?
- ¿el proceso es eficaz?

- El trabajo ejecutado es eficiente?
- ¿los costos están adecuados?
- ¿existe exceso de transferencia interdepartamental?

Figura 6: Simbología de diagrama de flujo



Fuente: Planeación de Proyecto Benchmarking

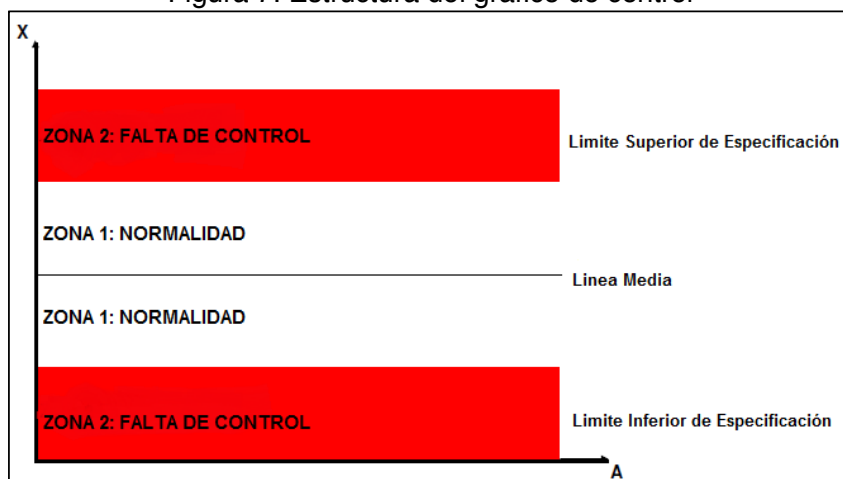
4.4.4 Control Estadístico de Procesos

Para verificar si un proceso está o no bajo control, se pueden utilizar los Gráficos de Control, instrumentos que entregan informaciones de la real situación del proceso, con alto grado de eficiencia. En síntesis los gráficos de control utilizan de un lado los datos en una dada secuencia cronológica de colecta, e de otro, una determinada característica conocida, como especificación. Los gráficos de control se basan en la distribución adecuada a cada caso (variables o atributos) y son un instrumentos de diagnóstico de existencia o de control (Paladini, 1990).

La Figura 7 es un ejemplo de gráfico de control, donde:

X: valor observado de la característica;
A: número de orden cronológico de la muestra o secuencia de extracciones (escala uniforme relativa al tiempo);
LSC: límite superior de control;
LIC: límite inferior de control
LM: línea media

Figura 7: Estructura del grafico de control



Fuente: Adaptada de Paladini, 1990.

Para el mejor entendimiento del Grafico de Control es importante destacar algunos conceptos (Chahade, 2009).

- Medidas de tendencia central:
 - Media aritmética: es la suma de todos los valores (o medidas) divididos por el número total de valores. Las formulas pueden variar de acuerdo como son presentados, o de acuerdo como los datos están organizados.
 - Moda: es el valor que ocurre con más frecuencia.
 - Mediana: es el valor que esta equidistante entre el mayor y el menor valor.
- Medidas de dispersión: La dispersión se refiere al principio que causa la variación de los valores en torno del valor central. Es la variabilidad de la distribución o la tendencia a ser diferentes. Los tres tipos principales de las medidas de variabilidad son:

- Amplitud (rango): es la diferencia entre el menor y el mayor valor medido.
- Desviación estándar: es la medida de dispersión más útil y más utilizada en estadística.
- Varianza: es el valor de la desviación estándar al cuadrado.

4.4.5 Índice de capacidad

Según Paladini (1990) la expresión “Capacidad del Proceso” se refiere a un comportamiento específico del proceso, identificado por las siguientes características:

- a) Operación del proceso no sufre influencias externas, o sea, no hay interferencias extrañas actuando sobre él.
- b) El proceso está bajo control estadístico, o sea, una distribución de frecuencias bien definida o descrita adecuadamente
- c) El proceso es determinado por sus efectos, que son perfectamente predecibles y esperados.
- d) El proceso presenta habilidad o condición para producir ítems similares.

Los estudios de Capacidad de procesos utilizan una estrategia bien definida, basada en la colecta e análisis de informaciones relativas al desempeño del proceso. A partir de una organización específica de estas informaciones son obtenidas conclusiones que permiten la determinación de Capacidad del Proceso, análisis de su valor y las opciones disponibles para mantenerlo o alterarlo.

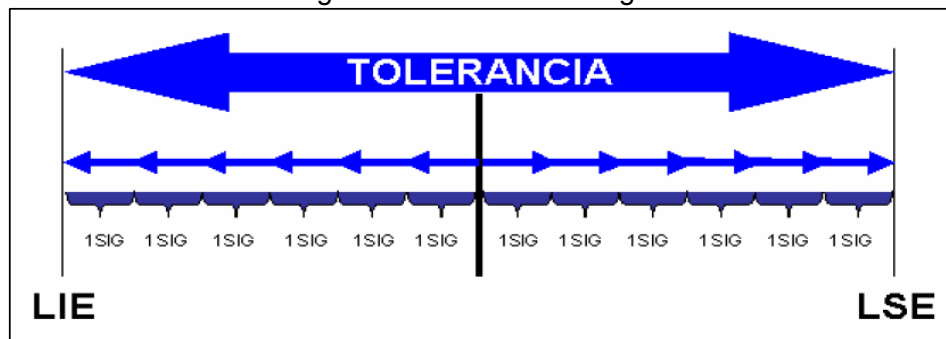
Un estudio de Capacidad revela:

- Si el proceso es uniforme o no.
- Si posee condiciones de atender a un conjunto de especificaciones
- Como varia las tendencias naturales.

Los Índices de Capacidad procesan las informaciones de modo que sea posible evaluar si un proceso es capaz de generar que atiendan las especificaciones provenientes de los clientes internos o externos.

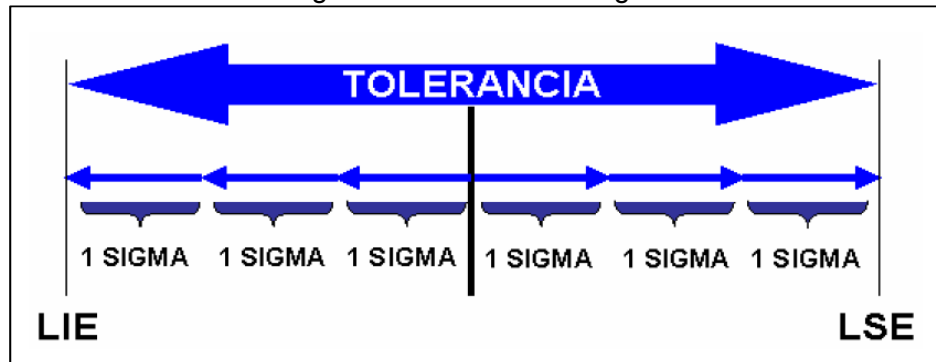
Un proceso Seis Sigma como muestra la Figura 8, significa afirmar que “caen” dentro de la especificación seis desviaciones estándar, o sea, para la variación que el proceso presenta sería necesario que el mismo variase seis veces más para que algo diese errado. En la Figura 9 se presenta un proceso 3 Sigma, o sea, para que algo sea errado es necesario que la variación existente aumente tres veces. Luego, un proceso Seis Sigma presenta solo 3,4 defectos en un millón de oportunidades, o 3,4 DPMO, al tiempo que el proceso +/- 3 Sigma (calidad tradicional) presenta 66.807 defectos en un millón de oportunidades, o 66.807 DPMO. Para ambos casos se tiene en consideración un proceso desplazado de 1,5 Sigma, que refleje las variaciones normales de un proceso (Taghizadegan, 2006).

Figura 8: Proceso +/- 6 Sigma



Fuente: Adaptada de Brusse, 2004.

Figura 9: Proceso +/- 3 Sigma



Fuente: Adaptada de Brusse, 2004.

Capacidad del proceso: es la habilidad del proceso en producir productos dentro de los límites de especificación. Un proceso es capaz cuando atiende

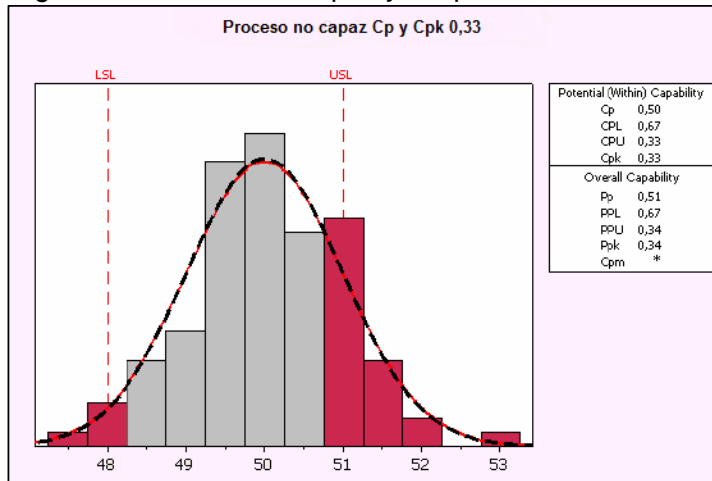
estadísticamente las especificaciones, por medio de los índices de Cp y Cpk, donde:

- **Cp:** Calcula lo que el proceso sería capaz de producir si el proceso estuviera centrado. Presupone que el resultado del proceso sigue una distribución normal.
- **Cpk:** Calcula si el proceso es capaz de producir si el objetivo del proceso está centrado entre los límites de especificación. En caso que la media del proceso no este centrada, el Cp sobreestima la capacidad del proceso. el $Cpk < 0$ si la media del proceso se sitúa fuera de los límites de especificación. Presupone que el resultado del proceso sigue una distribución normal.
- **Cp_I:** Calcula la capacidad del proceso para especificaciones únicamente con un límite inferior.
- **Cp_u:** Calcula la capacidad del proceso para especificaciones únicamente con un límite superior.
- **LSE:** Límite superior de Especificación.
- **LIE:** Límite Inferior de Especificación.

Un índice de Cp, Cpk, Cp_I y Cp_u aceptable y que demuestra que el proceso está produciendo dentro de los límites de tolerancia tiene que ser mayor o igual a 1,33.

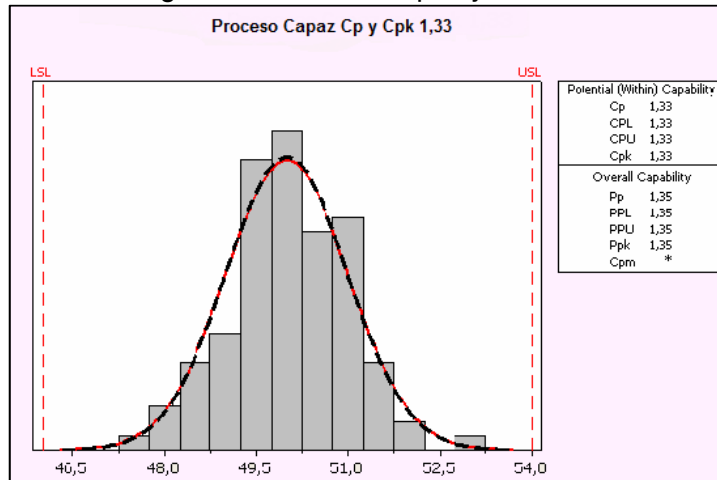
Es posible verificar por medio de las figuras 10 y 11, la evolución de un proceso no capaz para uno capaz. El análisis puede ser realizado analizándose los valores Cp y Cpk o también por el análisis visual, donde se verifica en la figura 10 el proceso desplazado para la derecha y con datos fuera de la especificación, y en la figura 11 el mismo proceso, sin embargo está centrado y dentro de los valores de especificación.

Figura 10: Proceso no capaz y desplazado a la derecha



Fuente: Capacidad del Proceso, 2008.

Figura 11: Proceso capaz y centrado



Fuente: Capacidad del Proceso, 2008.

➤ **Calculo Cp (Índice de capacidad total de un Proceso)**

Conforme la Figura 3, la mayoría de los procesos actuales se localizan entre la Capacidad correspondiente de 3 a 4 Sigma. Abajo las ecuaciones (x) y (y) permiten calcular la Capacidad del Proceso.

$$Cp = \frac{USL - LSL}{6 \times \sigma}$$

Cp= Capacidad del proceso
 USL = Limite superior de especificación
 LSL = Limite inferior de especificación
 6 x σ = Seis desviaciones estándar.

➤ **Calculo Cpk (Índice de Capacidad Nominal de un Proceso)**

$$Cpk = Cp - \frac{|m - \bar{x}|}{3 \times \sigma}$$

Cpk = Capacidad Nominal del Proceso
 Cp = Capacidad del Proceso
 m = LIE o LSE
 x = media de los límites de especificación
 3 x σ = Tres desviaciones estándar.

4.4.6 Test de normalidad

La distribución normal es la más importante distribución continua de probabilidad de la estadística. Se trata de la distribución más comúnmente encontrada en la naturaleza y en el ambiente industrial, describiendo el comportamiento de muchos fenómenos físicos y de ingeniería (Campos, 2007).

Características de una distribución normal:

- La variable aleatoria puede asumir cualquier valor real.
- El grafico de distribución normal es una curva en forma de campana, simétrica en torno de la media.
- El área total bajo la curva posee valor igual a 1.
- La moda y la mediana de X son iguales a la media de X.
- La configuración de la curva es dada por dos parámetros: la media (posición de la distribución) y la desviación estándar (dispersión de la distribución).

Para la realización del test de hipótesis a fin de determinar si los datos obedecen a una distribución normal, se adopta comúnmente un nivel de significancia del 5% para el test de hipótesis (nivel de asertividad), infiriendo las siguientes afirmaciones según el valor de p-value encontrado:

- P-value menor que 0,05: se **rechaza** la hipótesis nula y se acepta la alternativa.
- P-value mayor que 0,05: se **acepta** la hipótesis nula.

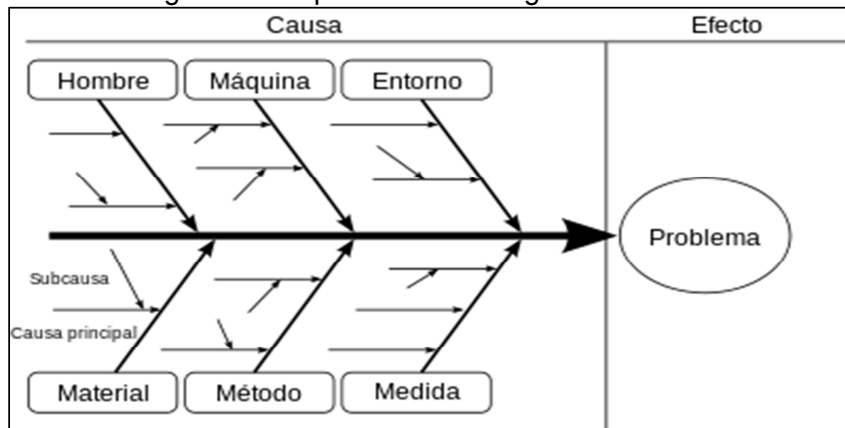
Por convención el test de hipótesis es interpretado así:

- **Hipótesis nula:** H0 (datos siguen una distribución normal)
- **Hipótesis alternativa:** H1 (datos no siguen una distribución normal)
-

4.4.7 Diagrama de Ishikawa

Este diagrama también es conocido como diagrama de causa-efecto, se trata de un diagrama que por su estructura ha venido a llamarse también “Diagrama de espina de pescado”. Está compuesto por un recuadro (cabeza), una línea principal (columna vertebral), y 4 o más líneas que apuntan a la línea principal formando un ángulo aproximado de 70° (espinas principales). Estas últimas poseen a su vez dos o tres líneas inclinadas (espinas), y así sucesivamente (espinas menores), según sea necesario. Este diagrama permite facilitar el análisis de problemas y sus soluciones en esferas como lo son: calidad de los procesos, los productos y servicios.

Figura 12: Representación diagrama Ishikawa



Fuente: Material Curso gestión de la Calidad, Profesor Hugo Zuloaga, UV.

Este diagrama se construye de la siguiente manera:

- **Efecto:** se debe determinar el problema a solucionar, luego dicho problema se debe delimitar correctamente para así expresarlo en una frase corta y precisa, en el recuadro principal de la cabeza de pescado.
- **Causa:** mediante una lluvia de ideas y teniendo en cuenta las diferentes categorías encontradas, se identifican las causas del problema. Posteriormente a este eje se le incorporan líneas oblicuas (espinas de pescado), las cuales representan las causas consideradas como tales por los participantes en el análisis del problema. A su vez, cada una de estas líneas que representa una posible causa, reciben otras líneas perpendiculares; las cuales representan las causas secundarias. Cada grupo formado por una causa primaria y una secundaria se relacionan formando un grupo de causas con naturaleza común.

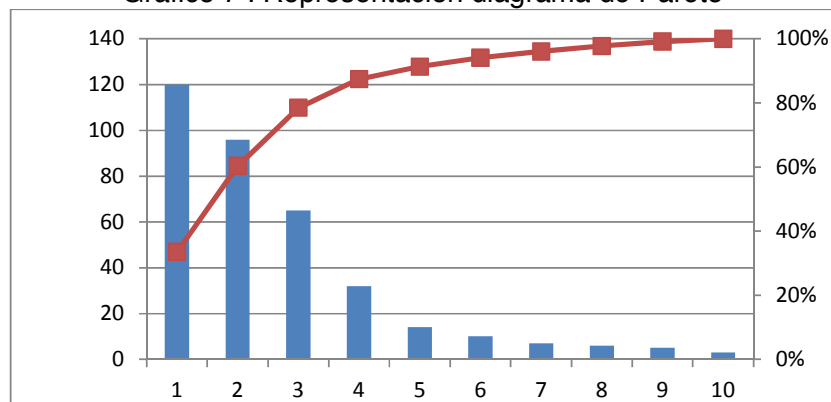
4.4.8 Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto, también llamado curva cerrada o Distribución A-B-C, es una gráfica para organizar datos de forma que estos queden en orden descendente, de izquierda a derecha y separados por barras. Permite asignar un orden de prioridades frente a los diferentes problemas identificados.

El diagrama permite mostrar gráficamente el principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales), es decir, que hay muchos problemas sin importancia frente a unos pocos muy importantes, facilita el estudio de las fallas en las industrias o empresas comerciales. Hay que tener en cuenta que tanto la distribución de los efectos como sus posibles causas no es un proceso lineal sino que el 20% de las causas totales hace que sean originados el 80% de los efectos.

Mediante la gráfica colocamos los que son "vitales" a la izquierda y los "muy triviales" a la derecha. El principal uso que tiene el elaborar este tipo de diagrama es para poder establecer un orden de prioridades en la toma de decisiones dentro de una organización. Evaluar todas las fallas, saber si se pueden resolver o mejor evitarlas.

Gráfico 7 : Representación diagrama de Pareto



Fuente: Elaboración Propia

4.4.9 Test de hipótesis

Según Campos (2003), los test de hipótesis son test realizados sobre las muestras, a fin de poder hacer inferencias sobre los parámetros de la población de donde la muestra fue extraída.

- **Intervalos de confianza:** son intervalos de valores, limitados por un mínimo y un máximo, usados para estimar un parámetro desconocido. Los análisis son basados en datos muestrales, pero las conclusiones pueden ser extendidas para la población.
- **Hipótesis estadística:** es una suposición o una afirmación realizada en relación a un parámetro de la población.
- **Hipótesis nula e hipótesis alternativa:** describe dos posibles estados que no pueden ser aceptados o rechazados al mismo tiempo, pues son igualmente excluyentes, o sea, cuando se rechaza una hipótesis la otra automáticamente es aceptada.
 - **Hipótesis nula:** es la hipótesis sobre la cual se deben tener evidencias para rechazarla. Por convención la igualdad debe quedar en la hipótesis nula
 - **Hipótesis alternativa:** debe contener la hipótesis de investigación, o sea, aquella que el investigador desea aceptar.

Antes de la realización del test de Hipótesis, se necesita saber cuál tipo de parámetro será testeado, representado por los símbolos:

- Media: μ

- Varianza σ^2
- Proporción p

A continuación se tiene la representación de las hipótesis cuando se testean medias, donde μ_0 es el valor hipotético de la media de la población (valor que se quiere testear), pudiendo ser un valor histórico, una especificación, un dato de un cliente, etc.

- Hipótesis nula: $H_0: \mu = \mu_0$
- Hipótesis alternativa: $H_1: \mu > \mu_0$
- Hipótesis alternativa: $H_1: \mu < \mu_0$
- Hipótesis alternativa: $H_1: \mu \neq \mu_0$

4.4.10 Prueba t-Student para dos muestras independientes y varianzas diferentes.

Esta prueba es también conocida como prueba de t de Welch y es utilizada únicamente cuando se puede asumir que las dos varianzas poblacionales son diferentes (los tamaños muestrales pueden o no ser iguales) y por lo tanto deben ser estimadas por separado.

El estadístico t a probar cuando las medias poblacionales son distintas puede ser calculado como sigue:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}}$$

Dónde:

$$S_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}$$

La prueba de dos muestras se puede utilizar para comparar los promedios entre dos grupos y determinar si existe una diferencia significativa entre ellos o si la diferencia observada se debe en cambio a una probabilidad aleatoria

4.4.11 Matriz AMEF

La matriz AMEF es una herramienta efectiva que ayuda a asegurar que se consideren y se traten las causas y repercusiones que los posibles modos de falla del proceso tienen sobre el cliente. Como muchas de las herramientas de Seis Sigma Enfocado al Cliente, la matriz AMEF se puede utilizar en una cantidad de lugares en el proceso DMAIC.

- Identificación de las variables críticas que pueden afectar la calidad de salida de un proceso.
- Evaluación de los riesgos asociados a las fallas.
- Auxilio para la elaboración de suposiciones sobre el tipo de relacionamiento entre las variables de un proceso.
- Evaluación de prioridad para la colecta de datos y la realización de estudios cuantitativos para descubrir las causas fundamentales de un problema.

Se puede utilizar una hoja de cálculo para facilitar el AMEF. Las definiciones claves incluyen:

- Modo de falla: La manera en la cual un artículo pudiera no cumplir la intención del diseño o el requerimiento del proceso
- Efecto: Una repercusión en los requerimientos del cliente – ya sea clientes externos o internos
- Severidad: el peso relativo sobre un efecto. No una clasificación forzada.

Las matrices AMEF a menudo se utilizan para las características relacionadas con la seguridad de un producto para identificar las posibles áreas que pudieran ser problemáticas para los usuarios. Esencialmente, esto es lo suficientemente obvio para el observador casual.

Una vez que se lleva a cabo la multiplicación tomando en cuenta la severidad, incidencia y detección, se obtiene el NPR (Numero de Prioridad de Riesgo)

$$\text{NPR} = \text{SEV} \times \text{OCU} \times \text{DET}$$

➤ Interpretación NPR:

La Severidad, la Ocurrencia y la Detección se vuelven a calcular después de que se toman las medidas correctivas. Los valores del NPR también se vuelven a calcular después de lavas medidas correctivas.

- El Número de Prioridad de Riesgo (NPR) es una medida de riesgo del diseño, sistema o proceso.
- Los valores generados del NPR deben de clasificarse en una gráfica de Pareto.
- Para NPR's mayores, se deben facilitar o tomar medidas correctivas para reducir el riesgo calculado
- Como regla general, se debe de prestar especial atención cuando la severidad es alta sin tomar en cuenta el NPR
- Los valores del NPR se deben de volver a calcular una vez que se hayan tomado las medidas correctivas.

Tabla 8: Representación matriz AMEF

AMEF:		N°:	RESPONSABLE DEL PROCESO							fecha amef:			
			PREPARADO POR:										
Ítem	Descripción de operaciones	Modo potencial de falla	Efectos potenciales de falla	severidad	Causas y Mecanismos potenciales de falla	Ocurrencia	Controles Actuales del Proceso	Detección	NPR	Acciones recomendadas	Responsabl e de las acciones	Acciones tomadas	Resultados de las acciones

Fuente: Elaboración Propia

4.4.12 Calculo Tamaño de muestra recomendada

La determinación del tamaño de muestra en el diseño de una encuesta por muestreo probabilístico es una de las etapas más importantes, por lo que debe afrontarse con estricto apego a las consideraciones de carácter técnico de la teoría estadística, así como a los objetivos de la investigación y a los usos futuros de la información

$$n = \frac{N * Z_a^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) * Z_a^2 * p * q}$$

4.4.13 Los 5 por qué

Los 5 porqués es una técnica de análisis utilizada para la resolución de problemas que consiste en realizar sucesivamente la pregunta "¿por qué?" hasta obtener la causa raíz del problema, con el objeto de poder tomar las acciones necesarias para erradicarla y solucionar el problema.

El número cinco no es fijo y hace referencia al número de preguntas a realizar, de esta manera se trata de ir preguntando sucesivamente "¿por qué?" hasta encontrar la solución, sin importar el número de veces que se realiza la pregunta.

El método de los 5 porqués se emplea en la fase de análisis de la resolución de problemas, y por lo tanto, en situaciones como:

- La resolución de problemas, mediante la pregunta ¿por qué? se tratará de encontrar la causa origen de los mismos.
- Para eliminar el despilfarro.
- Puede utilizarse conjuntamente con el diagrama de flujo de un determinado proceso, ya que así podremos obtener mejoras en por ejemplo:
 - Una disminución de los tiempos de espera.
 - Una reducción del tiempo durante el proceso.

Para aplicar correctamente la técnica de los 5 porqués realizaremos los siguientes pasos:

1. Definir el problema a solucionar o aquel punto que queremos mejorar.
2. Empezar la serie sucesiva de preguntas "¿por qué?", algunas de las preguntas típicas son:
 - ¿Por qué ha surgido este problema?
 - ¿Por qué no funciona este mecanismo?
 - ¿Por qué no se mejora este proceso?
3. Cuando no se puede contestar una de las preguntas significa que se ha llegado a la causa raíz del problema. (www.quees.info 2013 – 2014)

4.4.14 Matriz de Priorización de Mejoras

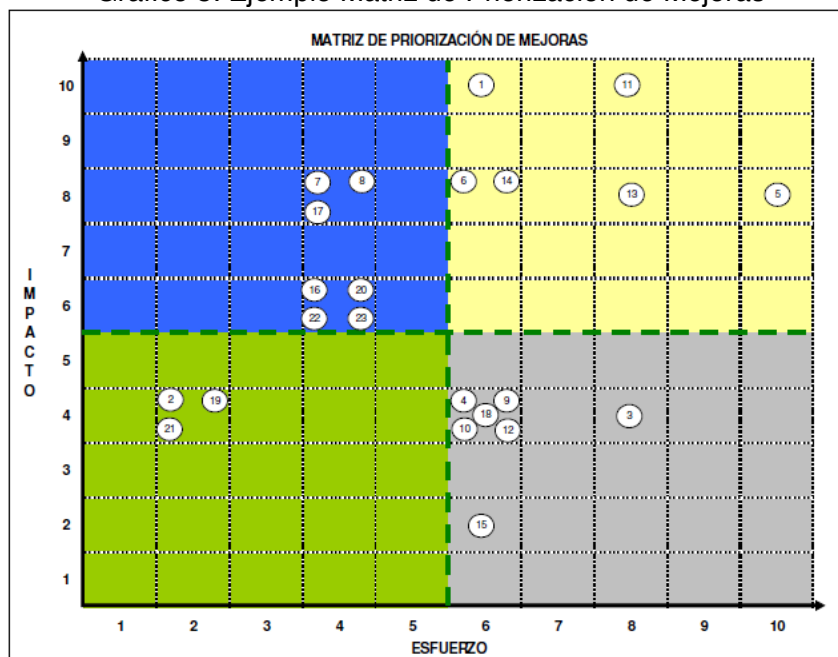
La matriz de priorización de mejoras tiene por finalidad asegurar que el equipo de trabajo opte por la mejor opción de mejora, tomando en cuenta dos criterios a la hora de tomar una decisión.

Por un lado tenemos el factor impacto, el cual representa las consecuencias que generaría dicha mejora al ser implementada, dentro de este factor podemos encontrar criterios como: ¿mejora del proceso?, ¿Calidad del producto?, ¿Seguridad para los trabajadores?, etc.

En segundo lugar tenemos el factor esfuerzo, el cual representa el esfuerzo involucrado para implementar dicha mejora, tanto humana como económica. Algunos de los criterios de evaluación dentro de este factor pueden ser: ¿involucra inversión?, ¿modifica metodología de trabajo?, ¿costo de mantenciones?, etc.

Una vez establecidos los criterios de evaluación de la mejora, se procede a la elaboración de la matriz de priorización, como se muestra en la figura a continuación:

Gráfico 8: Ejemplo Matriz de Priorización de Mejoras



Fuente: Tesis “Aplicación de Metodología DMAIC para la mejora de procesos y Reducción de pérdidas en las etapas de fabricación de chocolate”,2010.

Posteriormente se procede a evaluar cada mejora según la posición en que se ubique dentro de la matriz, donde según la posición de esta se clasifica en:

- Zona A (Alto Impacto/Bajo esfuerzo): son las mejoras las cuales representan el mayor impacto de mejora al momento de ser implementadas, utilizando a la vez un esfuerzo mínimo. Es sobre estas mejoras donde se debe trabajar principalmente.
- Zona B (Alto Impacto/Alto esfuerzo): en esta clasificación recaen las mejoras que presentan un gran impacto positivo al momento de implementarlas, sin embargo también representan un gran esfuerzo. Por lo que se recomienda simplificarlas o dividir las en etapas, estas mejoras deben implementarse en el mediano plazo, ya que necesitan una inversión de tiempo y económica mayor.
- Zona C (Bajo Impacto/Bajo esfuerzo): son mejoras las cuales tienen un bajo impacto de mejora y a la vez un bajo esfuerzo involucrado al momento de implementar la mejora. Se recomienda realizarlas si existen prioridades en el área en la cual está involucrada la mejora.
- Zona D (Bajo Impacto/ Alto esfuerzo): son las mejoras las cuales representan un bajo impacto de mejora dentro de la empresa, y al mismo tiempo presentan un alto esfuerzo para poder ser implementadas. Por lo que se recomienda descartar estas mejoras.

Werkema (2002) propone la utilización de las herramientas estadísticas para el desarrollo de las fases del DMAIC, La tabla 9 muestra la correlación de las herramientas de la calidad con las fases del DMAIC:

Tabla 9: Fases del DMAIC y las principales herramientas

HERRAMIENTA	DEFINIR	MEDIR	ANALIZAR	MEJORAR	CONTROLAR
MAPA DE RACIOCINIO	X				
PROJECT CHARTER	X				
GRAFICO SECUENCIAL	X	X			
CARTA DE CONTROL	X	X	X		X
ANALISIS DE SERIES TEMPORALES	X	X			
VOC - VOZ DEL CLIENTE	X				

SIPOC	X				
MSA- ANALISIS SISTEMA DE MEDICION		X	X		X
PLAN PARA TOMA DE DATOS		X			X
DIAGRAMA DE PARETO		X			X
HISTOGRAMA			X		X
BLOXPLOT		X	X		
INDICE DE CAPACIDAD		X			X
ANALISIS MULTIVARIADO		X			
FLUJOGRAMA			X		
MAPA DEL PROCESO			X		
FMEA			X	X	
DIAGRAMA DE DISPERSION			X		
DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO			X	X	
TEST DE HIPOTESIS			X	X	
ANALISIS DE VARIANZA			X		
DIAGRAMA DE GANTT				X	
DIAGRAMA DEL PROCESO MEJORADO				X	
POKA-YOKE					X

Fuente: Adaptada de Werkema, 2002.

CAPÍTULO 5: DESARROLLO DE LA METODOLOGIA DMAIC

5.1 FASE DEFINIR (D)

5.1.1 Planteamiento del Problema

Como fue descrito en el Capítulo 3 en la descripción del problema, la empresa Tramontina Multi S.A. tiene dificultades para cumplir con la norma “*International Standard CEI IEC 60335-2-77*” (descrita en el Anexo 1), de la International Electrotechnical Commission (IEC) en sus Cortadores de Césped eléctricos (Figura 13). Norma que actualmente fue adoptada por el Gobierno Federal de Brasil en su legislación.

Figura 13: Cortador de Césped



Fuente: Sitio web de la Empresa

El organismo que regula este tipo de productos en Brasil es el *Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia* (INMETRO), que es una agencia federal vinculada al Ministerio de Desarrollo, Industria y Comercio Exterior de Brasil. Una de las facultades de este organismo es la verificación y observación de las normas técnicas y legales, de los productos que se comercializan dentro de Brasil, entre las cuales están las podadoras de césped.

La empresa fue notificada por el INMETRO que la diferencia de altura de la lámina de corte respecto a la base de la podadora estaba fuera de norma. Esta información fue corroborada por la empresa en sus laboratorios.

La norma señala lo siguiente:

“The cutting means enclosure means enclosure shall extend at least 3 mm below the plane of the cutting means tip circle, except as allowed in 20.103.1.2 and at the grass discharge opening” (CEI IEC 60335-2-77).

Lo que quiere decir es que los medios de corte (lámina) del recinto deben ubicarse por lo menos 3 mm por sobre la parte baja de la base del podador, las mediciones realizadas por la empresa reflejaron que el promedio de esta diferencia es 1,2 mm. El diseño de la lámina se observa en la Figura 14.

Figura 14: Lámina de Corte



Fuente: Sitio web de la empresa

En el diseño de la podadora, esta diferencia está planificada teóricamente en 3 mm, pero aquí surge la interrogante: *¿Por qué la lámina no se ubica más arriba para dejar un margen mayor, y así cumplir lo especificado?*, la pregunta tiene dos respuestas:

- La primera radica en que al subir la lámina esta afecta el desempeño y las especificaciones de la máquina, al cortar menos el césped, además de bajar su capacidad de aspiración hacia el recipiente recolector.
- Segundo y aún más importante, es que esta norma aplica otros test de calidad hacia la máquina, como el test de lanzamiento de bolas de acero a presión por la parte baja de la podadora, los cuales son afectados directamente con la altura de la lámina.

La importancia de esta norma radica principalmente en la seguridad del operador, ya que si por algún motivo llegara a insertar su pie debajo de la podadora, este no debería ser alcanzado con facilidad por la lámina de corte.

La situación más compleja respecto al incumplimiento de la norma, son las consecuencias a las que se ve expuesta la empresa, ya que el INMETRO se cobija en la *Ley Federal de Brasil n° 9.933 de 20/12/1999* (Anexo 2). Donde las infracciones van desde una advertencia, multas, inutilización de los productos, hasta el cancelamiento del registro del objeto de forma definitiva.

Al ser la empresa ya advertida, y en el hipotético caso de ser nuevamente fiscalizada, corre el riesgo de ser multada, con sumas que pueden llegar hasta los R\$ 1.500.000 (aproximadamente 375 millones de pesos chilenos), como también puede ser obligada a retirar sus productos infractores del mercado.

El problema está presente en las podadoras que comparten el diseño expuesto en la Figura 13 que poseen un diámetro de corte de 300 mm. Actualmente son 15 modelos disponibles en el mercado con este diámetro de corte, presentando muchas variantes con el mismo diseño, pero con distinta motorización, voltaje o tipo de corriente.

5.1.2 Alcance del Proyecto

De forma de enfocar mejor la investigación del proceso, y en una decisión en conjunto con los supervisores de Control de Calidad, Laboratorios e Ingeniería de la empresa (nota: El cargo de supervisor equivale a subgerente, mirar Figura 2), se determinó que las piezas de la podadora que tienen directa relación con el problema son:

- El chasis y soporte de la lámina: Piezas de plásticos inyectadas en la empresa.
- La lámina de corte de la podadora: Pieza de acero que es fabricada por la empresa.

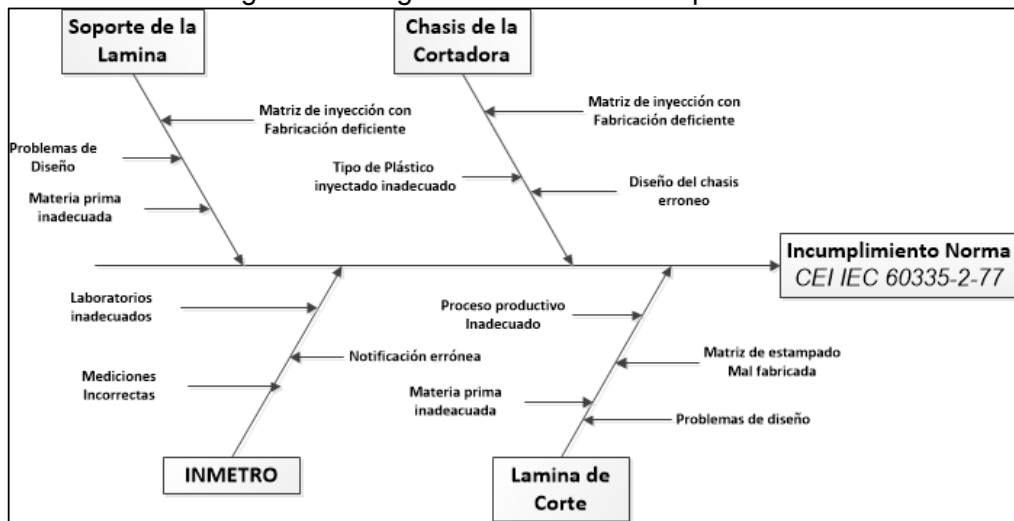
De igual forma se realizó un diagrama de Causa-Efecto (Figura 15) para analizar las posibles causas que originan el problema, de forma de orientar el alcance de una mejor forma.

Respecto a las piezas de plásticos, se consideró despreciable su influencia, ya que la inyección de plástico en las matrices es de una elevada precisión, puesto que si su calidad es deficiente es imposible ensamblar la máquina. Cabe destacar que la empresa fabrica las matrices de inyección de plástico con herramientas y sistemas de última generación, por lo cual se desestimó investigar la fabricación de estas piezas.

Por otra parte tenemos la lámina de corte, una pieza pequeña de acero de gran complejidad (Figura 16), que dentro de sus procesos de fabricación involucra un corte de acero laser, un proceso de estampado en caliente, balanceo y un proceso de pintura y cura. Las láminas producidas por este

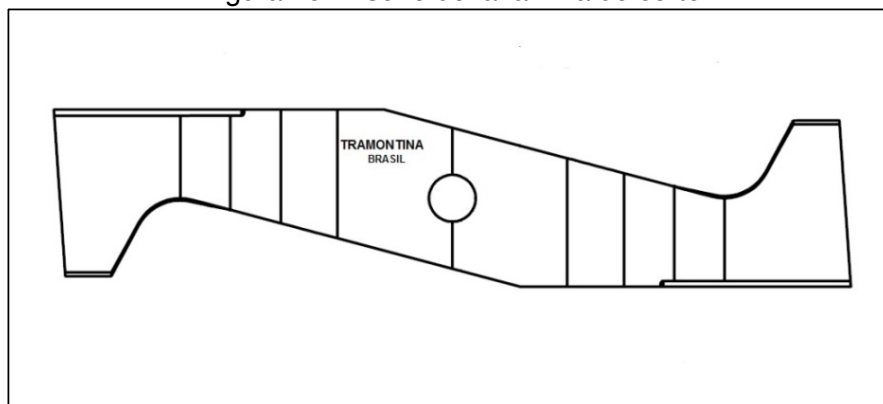
proceso nunca han sido analizadas en profundidad, solo se realiza una inspección visual al momento de la producción por el operario, por lo que se decidió acotar el alcance de la investigación al proceso productivo de las láminas de corte, y así conocer su situación actual.

Figura 15: Diagrama de Ishikawa del problema



Fuente: Elaboración Propia

Figura 16: Diseño de la lámina de corte



Fuente: Entregada por la Empresa

5.1.3 Meta del Proyecto

Tal como se definió en el Capítulo 3, el objetivo del proyecto consiste en “Analizar mediante la metodología DMAIC el proceso productivo de las podadoras de césped para detectar las posibles causas del problema y proponer alternativas de solución”, por lo tanto, como se acoto el alcance del proyecto solo al análisis de la lámina de corte, se analizara si el proceso productivo de esta pieza tiene un impacto en el problema definido, y de esta forma determinar si es la causa del problema, pudiendo así generar propuestas de mejora.

5.1.4 Clientes y consumidores afectados por el problema

Todas las empresas tienen tanto clientes internos como externos; ambos son afectados por las salidas del proceso o el proceso mismo.

Los clientes externos son aquellos afectados por el resultado del producto/servicio, mientras que los clientes internos son aquellos afectados por las operaciones diarias necesarias para producir un producto o servicio. El proyecto debe ser capaz de responder a cada grupo sus respectivas necesidades.

Los clientes involucrados en el proceso productivo de la lámina de corte son:

- **Clientes internos:** como la lámina de corte es parte de un subconjunto de componentes los cuales en su totalidad conforman la maquina podadora de césped, encontramos nuestro cliente interno, el cual es el Departamento de Producción. Este es el encargado de realizar las ordenes de producción de la lámina, de acuerdo a la demanda estimada de las maquinas podadoras. También es la entidad que recibe el resultado final después de una serie de procesos a la cual es sometida la lámina de corte, almacenándola hasta el momento que sea necesaria para el ensamble de la podadora de césped.
- **Clientes externos:** la lámina de corte también es suministrada en sí, como repuestos para los distintos clientes finales que adquirieron la maquina podadora de césped, proporcionando un soporte técnico en caso que el cliente lo requiera.

El proyecto está orientado prioritariamente al cliente interno dentro del proceso productivo de las láminas de corte (División de Producción), ya que este es el cliente que se ve afectado principalmente con el problema, al ser el encargado de la producción y posterior almacenaje de las láminas, las cuales serán utilizadas para el ensamble de las maquinas podadoras de césped. Además de ser el cliente que más demanda tiene sobre las láminas de corte.

5.1.4.1 Requerimientos del cliente

Generalmente la satisfacción del cliente es considerada como uno de los pilares fundamentales para evaluar el proceso, por lo que es necesario investigar hasta obtener lo que el cliente realmente necesita.

Como la calidad se define desde el punto de vista del cliente, se necesita la opinión de este para ayudar a identificar qué características de calidad son en realidad CTQ's.

- **Identificación de las características críticas de la calidad (CTQ's):**

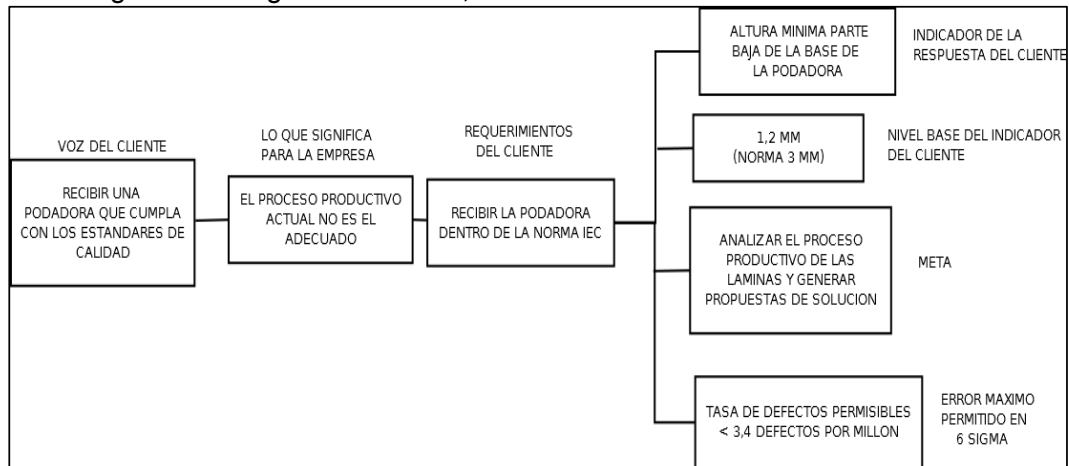
Las características críticas de la calidad (CTQ's) son los requerimientos o necesidades de los clientes ya sean internas o externas, los mismos que son traducidos en potenciales proyectos de mejora dentro de una organización.

Por sus siglas en ingles Critical to Quality (CTQ) es un requerimiento de la calidad del producto o servicio que es de suma importancia para el cliente y que se debe expresar normalmente con un indicador.

Para identificar las características críticas de la calidad (CTQ's) se utilizara como herramienta el diagrama de árbol (Figura 17).

En la Figura 17 se aprecia que la voz del cliente es "cumplir con las especificaciones técnicas de la podadora de césped", lo cual significa para la empresa que el proceso productivo actual de la maquina podadora de césped no es el adecuado. Por lo que traducido a los requerimientos del cliente es "Recibir la podadora dentro de la norma IEC", la cual señala que los medios de corte deben ser por lo menos 3 mm por sobre la parte baja de la base de la podadora, la que actualmente se ubica en promedio a 1,2 mm. La meta de este proyecto es analizar el proceso productivo de las láminas cortadoras de césped y generar propuestas de solución al problema antes planteado.

Figura 17: Diagrama de Árbol, Características Críticas de la Calidad



Fuente: Elaboración Propia

5.1.5 Proceso relacionado al Problema

El proceso productivo de las láminas de corte se presenta en el diagrama de flujo expuesto en la Figura 20. Este proceso productivo consta de once etapas las cuales son:

- Desbobinar lamina de acero: la empresa posee un sistema de corte y desbobinamiento de origen italiano marca STAM, similar al de la Figura 18 que toma las bobinas de acero y las corta en planchas de un tamaño compatible con la maquina cortadora laser.
- Cortar y Perforar: La lamina proveniente de la Desbobinadora ingresa a la maquina cortadora laser de origen Suizo Bystronic (Figura 19) que da la primera forma a la lámina en 2D.
- Desbastar el filo frontal: Con una maquina fabricada por la empresa se da el filo a la lámina.
- Marcar logo de la empresa: Antes de entrar al horno se un operario marca en frio con una prensa excéntrica de origen Brasileño marca Gutmann el logo de la empresa (Tramontina)

- Cargar piezas al horno: Esta operación sin maquina consiste en que el mismo operario de la prensa toma la pieza y la deposita en la correa transportadora del horno.

Figura 18: Desbobinadora STAM



Fuente: Sitio web de STAM

Figura 19: Cortadora Laser

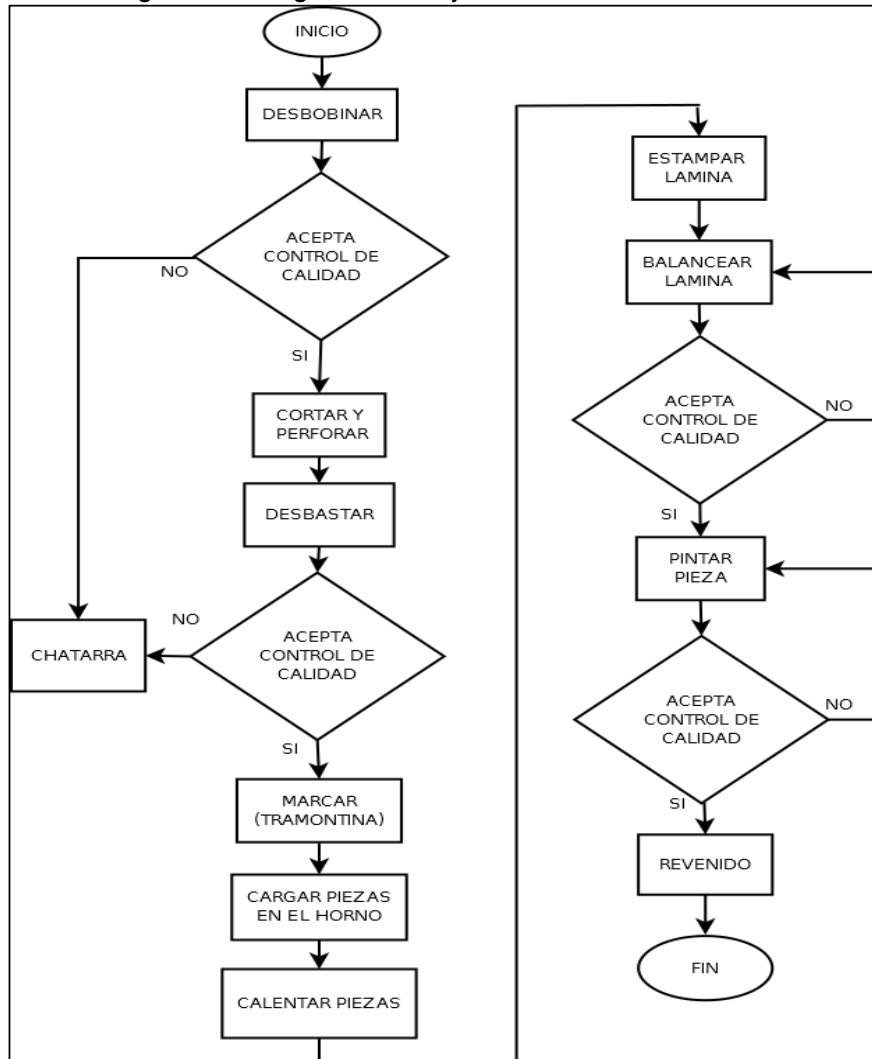


Fuente: Sitio web de bystronic

- Calentar las piezas: las piezas ingresan al horno que está a una temperatura que fluctúa entre los 857°C a 865°C, circulando por la correa a una velocidad de 14,4 Hz. El horno fue fabricado por la misma empresa.
- Temperar y estampar la lámina: la pieza es tomada por un operario con pinzas y es depositada en la matriz de estampado, la cual presiona y da la forma a la pieza, inmediatamente en la misma matriz es inyectada agua a temperatura ambiente (27°C) para el proceso de tempera, luego la máquina de forma automática suelta la pieza a un estanque de agua que en su interior tiene otra correa transportadora, en seguida esa misma correa pasa por un equipo de secado, que funciona con inyección de aire a temperatura ambiente con el objetivo de secar el agua de la lámina, y por último es depositada en una caja metálica para su posterior traslado a la línea de pintura.
- Balancear lamina: Este proceso consiste en que un operario toma la lámina y la inserta en una varilla que calza justo con el orificio del medio de la lámina, para observar si esta se carga para algún lado o se mantiene estable, en caso de que este desbalanceada, pasa el extremo cargado de la lámina por un esmeril y vuelve a verificar el balanceo, esto se repite hasta que la pieza quede balanceada. Y posteriormente y en caso de ser necesario con la misma herramienta retira las imperfecciones y los excesos ocasionados por el proceso en la lámina.

- Colgar pieza en la línea de pintura: Otra operación sin máquina, consiste en que un trabajador toma las láminas y las cuelga en los soportes de la línea de pintura.

Figura 20: Diagrama de flujo del Proceso Productivo



Fuente: Elaboración Propia

- Línea de Pintura: el proceso final de la línea de producción de la lámina tiene cuatro subprocesos:

- o Lavado de la lámina: Antes de entrar al proceso de pintura la lámina es lavada con agua a presión a temperatura ambiente, para lograr un acabado limpio en la pintura.
- o Secado de la lámina: Con aire a presión tibio se seca la lámina para luego ingresar seca a la cabina de pintura.
- o Pintar: la lámina ingresa a la cabina de pintura automática, que utiliza pintura negra en polvo electroestática.
- o Curar Pintura: Ingresa la lámina a un horno a una temperatura aproximada de 240°C, con el objetivo de curar la pintura y además aliviar tensiones en el acero.
- Descolgar la lámina: Un operario toma las láminas de la correa y las deposita en una caja metálica para su posterior almacenaje, este proceso da por terminada la lámina.

5.1.6 Análisis SIPOC

Mediante el análisis SIPOC podremos identificar claramente los Proveedores, Entradas, Procesos, Salidas y Clientes, que se encuentran inmersos dentro de un proceso productivo. A continuación se realizara este análisis al proceso productivo de las láminas podadoras de Césped, representado en la Tabla 10.

Tabla 10: Análisis SIPOC del Proceso Productivo Láminas de Corte

Proveedores	Entradas	Procesos	Salidas	Clientes
Suppliers	Inputs	Process	Outputs	Customers
Fabrica de Acero (Usiminas)	Acero	<pre> graph LR A[DESBOBINAR] --> B[CORTAR Y PERFORAR] B --> C[DESBASTAR] C --> D[MARCAR (TRAMONTINA)] D --> E[CARGAR PIEZAS EN EL HORNO] E --> F[CALENTAR PIEZAS] F --> G[ESTAMPAR LAMINA] G --> H[BALANCEAR LAMINA] H --> I[PINTAR PIEZA] I --> J[REVENIDO] </pre>	Lamina de Corte	Division de Produccion
Distribuidor de Pinturas	Pintura en Polvo Electrostatica			

Fuente: Elaboración Propia

Según la tabla anterior, se identifican claramente los siguientes puntos:

Proveedores: Es una entidad que abastece con existencias a otra organización. En nuestro caso tenemos dos proveedores:

- Fábrica de Acero: *Usiminas* es el proveedor encargado de suministrar el acero hacia la empresa, de una manera rápida y eficaz.
- Distribuidor de Pinturas: *Weg Tintas* es el responsable de proveer a la empresa la pintura necesaria para la producción de láminas de corte.

Entradas: una entrada o inputs es la materia prima o algún elemento que a través de un proceso se le agrega valor transformándolo en un producto o servicio final.

- **Acero:** es la materia prima más importante dentro del proceso productivo de las láminas de corte
- **Pinturas en Polvo Electroestática:** junto con el acero, la pintura en polvo forma parte del proceso productivo de las láminas de corte, generando en su conjunto el producto final.

Procesos: es el proceso productivo de la lámina de corte, que mediante una serie de procedimientos le añade valor a la materia prima, otorgando al cliente un producto final que cumpla con sus requerimientos. (Explicado en detalle en el punto anterior).

Salidas: es el resultado final de los procesos a los cuales la materia prima fue sometida, para posteriormente ser entregado a los clientes. En nuestro caso es la lámina de corte.

Clientes: es la entidad a la cual está dirigido el resultado final del proceso, en este caso la División de Producción Tramontina, la cual es un cliente interno de la empresa.

5.1.7 Impacto económico

En la empresa para determinar los costos de producción de los productos tienen un sistema denominado UP (unidades productivas), que consiste en contabilizar monetariamente un minuto de trabajo en la fábrica, esta incluye mano de obra y costos fijos de toda la fábrica. El costo de la UP se mantiene entorno a los R\$1,5.

Al analizar la producción de la lámina de corte, tiene una media mensual de producción de 1.908 unidades, y una distribución de costos en cada proceso en UP descritos en la Tabla 11, por lo que el costo de producción de una lámina es de aproximadamente R\$ 1,95.-, por lo tanto el costo mensual de producción de estas unidades asciende a R\$ 2.862 (aprox. \$715.500 clp.) lo cual considerando el tamaño de ventas de la empresa es despreciable.

Tabla 11: Costos de las operaciones

Descripción de la Operación	Descripción de la Maquina	Cant. UPs	% del total UP	Costo
Desbobinar lamina de Acero	sistema corte e desbobinamiento	0,0016	0,123%	R\$ 0,0024
Cortar y Perforar	Cortadora de Acero Laser	0,1875	14,404%	R\$ 0,2813
Desbastar filo Frontal	Maquina de afiliación esmeril	0,1818	13,966%	R\$ 0,2727
Marcar (Tramontina)	Prensa Excéntrica	0,1	7,682%	R\$ 0,1500
Cargar piezas al horno	Operación sin Maquina	0,1	7,682%	R\$ 0,1500
Calentar Piezas	Horno de Tempera	0,1	7,682%	R\$ 0,1500
Temperar Y estampar lamina	Disp. P/temperar Rastrillos	0,1	7,682%	R\$ 0,1500
balancear lamina de corte	moto esmeril	0,2308	17,731%	R\$ 0,3462
Colgar e tirar pieza de la correa	Operación sin Maquina	0,1	7,682%	R\$ 0,1500
Pintar	Cabina para pintura en polvo	0,1	7,682%	R\$ 0,1500
Curar pintura y aliviar tensiones	estufa de cura	0,1	7,682%	R\$ 0,1500
	TOTAL	1,3017	100,000%	R\$ 1,95

Fuente: Elaboración Propia

Sin embargo cabe destacar que la empresa en caso de ser sancionada, compromete tanto a la lámina como al producto final en su conjunto. Como mencionamos antes, el problema está presente en toda la línea de podadoras que tienen un diámetro de corte de 300 mm., siendo en esta el uso estandarizado de la lámina de corte ref. 78679991 (Figura 14). Las cortadoras de césped que están “en línea” y que tienen ventas regulares, se presentan en la Tabla 12, junto con ventas medias mensuales, precio de venta e ingresos mensuales.

Desde el punto de vista de la lámina, y en caso de descubrir que el problema se genera ahí, los beneficios que podrían obtenerse al mejorar el proceso productivo son claramente cuantificables, sin embargo el impacto que tendría para la empresa sería prácticamente despreciable, puesto que el costo de fabricación de la pieza es muy bajo. Más bien, hay que observar el impacto que podría generarse desde otra perspectiva, en el posible caso de ser sancionados por el INMETRO. Esta situación podría generar en el peor escenario multas millonarias de hasta R\$ 1.500.000, o el retiro de toda la línea de cortadoras que poseen esta lamina, siendo este último punto el más complejo, puesto que esta línea genera ingresos mensuales aproximados para

la empresa de R\$ 793.516 (\$198.379.000.- clp), y utilidades mensuales por R\$ 527.871 (131.967.750.-clp). Cabe destacar que en caso del retiro de los productos comprometidos, se añade además el costo de retirarlos del mercado.

Tabla 12: Ingresos Cortadoras

REF	Descripción producto	Ventas Media/Mes	Precio UN.	Ingreso mensual	Costo producción UN.	Costo mensual	Utilidad mensual
79650110	CORTADOR ELETRI 1100 W/127 V	90,92	R\$ 510,77	R\$ 46.439,21	R\$ 171,12	R\$ 15.558,23	R\$ 30.880,98
79650111	CORTADOR ELETRI 1100 W/220 V	62,5	R\$ 510,77	R\$ 31.923,13	R\$ 171,12	R\$ 10.695,00	R\$ 21.228,13
79650113	CORTADOR ELETRI 1100 W/220 V	1,25	R\$ 510,77	R\$ 638,46	R\$ 180,78	R\$ 225,98	R\$ 412,49
79650130	CORTADOR ELETRI 1100 W/127 V	148,33	R\$ 531,16	R\$ 78.786,96	R\$ 176,90	R\$ 26.239,58	R\$ 52.547,39
79650131	CORTADOR ELETRI 1100 W/220 V	766,5	R\$ 531,16	R\$ 407.134,14	R\$ 176,90	R\$ 135.593,85	R\$ 271.540,29
79650133	CORTADOR ELETRI 1100 W/220 V	6,58	R\$ 531,16	R\$ 3.495,03	R\$ 186,56	R\$ 1.227,56	R\$ 2.267,47
79650850	CORTADOR ELETRIC 850 W/127 V	91,25	R\$ 469,10	R\$ 42.805,38	R\$ 155,42	R\$ 14.182,08	R\$ 28.623,30
79650851	CORTADOR ELETRIC 850 W/220 V	107,5	R\$ 469,10	R\$ 50.428,25	R\$ 157,07	R\$ 16.885,03	R\$ 33.543,23
79650853	CORTADOR ELETRIC 850 W/220 V	3,92	R\$ 469,10	R\$ 1.838,87	R\$ 165,98	R\$ 650,64	R\$ 1.188,23
79650870	CORTADOR ELETRIC 850 W/127 V	57,5	R\$ 478,04	R\$ 27.487,30	R\$ 163,04	R\$ 9.374,80	R\$ 18.112,50
79650871	CORTADOR ELETRIC 850 W/220 V	210	R\$ 478,04	R\$ 100.388,40	R\$ 163,04	R\$ 34.238,40	R\$ 66.150,00
79650873	CORTADOR ELETRIC 850 W/220 V	4,5	R\$ 478,04	R\$ 2.151,18	R\$ 171,94	R\$ 773,73	R\$ 1.377,45
	TOTAL			R\$ 793.516,31	TOTAL	R\$ 265.644,87	R\$ 527.871,44

Fuente: Elaboración Propia

No obstante el prejuicio más grande que se podría generar en esta hipotética situación sería el inconmensurable daño a la imagen de la empresa Tramontina, que no solo menoscabaría a la filial Multi, sino que más bien afectaría a la empresa en general. Cabe destacar que Tramontina es reconocida por su calidad tanto en Brasil como en los mercados internacionales que opera.

5.2 FASE MEDIR (M)

En esta etapa se van a establecer las técnicas para la recolección de información acerca del desempeño actual del proceso que se identificó en la etapa de Definición, el cual corresponde al proceso productivo de las láminas de corte. La información recolectada en esta etapa se utilizara para determinar las fuentes de variación y servir como referencia para a futuro validar las mejoras aplicadas, por lo tanto la exactitud en la medición es clave para no comprometer el correcto desarrollo de las siguientes fases del DMAIC.

Como se señaló en el Capítulo 3, el objetivo general de esta segunda fase es entender y cuantificar mejor la real magnitud del problema, por lo tanto se va a definir el proceso a un nivel más detallado para comprender de mejor manera el flujo de trabajo, sus puntos de decisión y los detalles de su funcionamiento.

Esta etapa se inició con la identificación del tipo de información que se va a recolectar, recordando siempre que las mediciones cuestan tiempo y dinero, y que los beneficios de tener una buena información necesitan ser más altos que los costos de conseguirla. Por lo tanto, hay que establecer que resultados deben ser medidos para la obtención de datos útiles con el fin de lograr la focalización del problema, para así analizar los tipos y fuentes de variación, además de la repercusión de esta en el desempeño del proceso. Una forma de determinar el impacto de la variación en un proceso es midiendo las actividades y salidas del proceso en comparación con las especificaciones del producto.

Por lo tanto para determinar las etapas del proceso productivo donde se podrían originar los problemas se realizó un Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF), que es una herramienta efectiva para ayudar a asegurar que se consideren y traten las causas y repercusiones que los posibles modos de falla del proceso/producto tienen sobre el cliente, ya que reconoce y evalúa las posibles fallas de un producto/proceso y los efectos de estas, como también ayudando a documentar de mejor manera el proceso.

5.2.1 Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF)

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la realización del AMEF (Tabla 13):

PASOS DEL PROCESO	Posible Modo de Falla	Posibles Efectos de Falla	Severidad	Posibles Causas	Ocurrencia	Controles Actuales	Detección	NPR	Medidas Recomendadas	Responsable	Medidas que se tomaron
DESBOBINAR	Mal corte	Lamina de tamaño incompatible con maquina laser	7	Maquina mal calibrada	2	Inspección y medición manual aleatoria	2	28	Estandarizar medidas de inspección	Operario Desbobinadora	Ninguna
			7	Maquina mal calibrada	3	No tiene	10	210	Realizar un mantenimiento periódico de la maquina	Operario de Corte	Ninguna
CORTAR Y PERFORAR	Corte fuera de especificación	Pieza inservible	7	Error Maquina	4	Inspección visual	2	56	Realizar un mantenimiento periódico de la maquina	Operario de Corte	Ninguna
	Corte desprolijo	Pieza inservible	3	Error Maquina	4	Inspección visual	3	36	Realizar un mantenimiento periódico de la maquina	Operario de Desbaste	Ninguna
DESBASTAR	Mal filo	Pieza inservible	3	Error Operario	3	Inspección visual	4	36	Realizar entrenamiento al operario	Operario de Desbaste	Ninguna
			2	Error Maquina	5	No tiene	7	70	Realizar un mantenimiento periódico de la maquina	Operario de Prensa Excéntrica	Ninguna
MARCAR	Marca mal posicionada y/o marca imperceptible	No tiene efecto	4	Error Operario	4	No tiene	4	32	Realizar entrenamiento al operario	Operario de Prensa Excéntrica	Ninguna

Tabla 13: Matriz AMFF

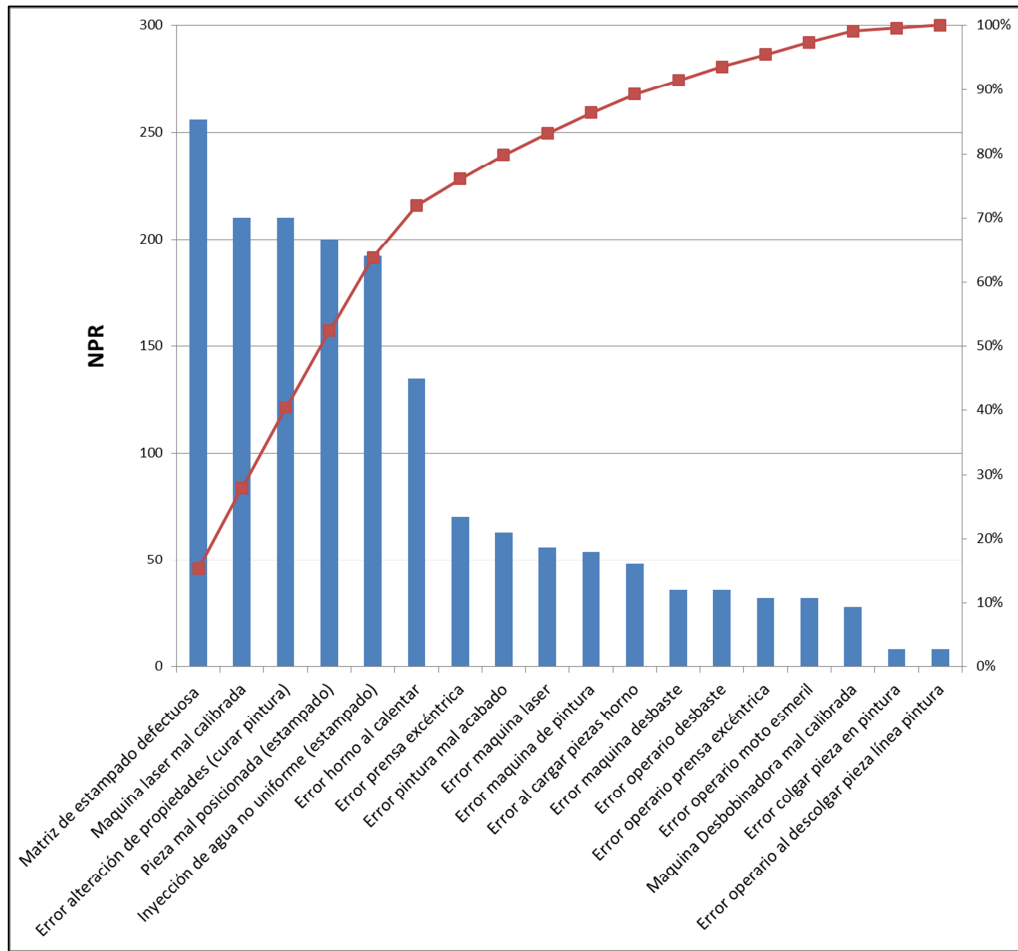
PASOS DEL PROCESO	Posible Modo de Falla	Posibles Efectos de Falla	Severidad	Posibles Causas	Ocurrencia	Controles A ctuales	Detección	NPR	Medidas Recomendadas	Responsable	Medidas que se tomaron
CARGAR PIEZAS EN EL HORNO	Pieza fuera de su posición	Atasco Corredera	4	Error Operario	4	No tiene	3	48	Realizar entrenamiento al operario	Operario de Prensa Excéntrica	Ninguna
CALENTAR PIEZAS	Pieza con temperatura fuera de su especificación	Inhabilitada para el siguiente proceso	5	Error Horno	3	No tiene	9	135	Realizar inspección de temperatura	Supervisor de Línea	Ninguna
ESTAMPAR LAMINA	Forma de la lamina fuera de su especificación	Pieza inservible	8	Pieza mal posicionada	5	No tiene	5	200	Realizar entrenamiento al operario	Operario de dispositivo para estampar	Ninguna
				Matriz Defectuosa	4	No tiene	8	256	Realizar un mantenimiento periódico de la maquina	Operario de dispositivo para estampar	Ninguna
BALANCEAR LAMINA	Lamina mal Balanceada	Posibles problemas técnicos futuro	4	hyección de agua no uniforme	3	No tiene	8	192	Realizar un mantenimiento periódico de la maquina	Operario de dispositivo para estampar	Ninguna
				Error Operario	4	Inspección visual de todas las piezas	2	32	Realizar entrenamiento al operario	Operario de Moto esmeril	Ninguna

PASOS DEL PROCESO	Posible Modo de Falla	Posibles Efectos de Falla	Severidad	Posibles Causas	Ocurrencia	Controles Actuales	Detección	NPR	Medidas Recomendadas	Responsable	Medidas que se tomaron
COLGAR PIEZAS EN LINEA DE PINTURA	Lamina mal colgada	Error de Pintura	2	Error Operario	2	No tiene	2	8	Realizar entrenamiento al operario	Operario Línea de Pintura	Ninguna
	Pieza mal Pintada	Defecto estético	3	Error Maquina	3	No tiene	6	54	Realizar un mantenimiento periódico de la maquina	Operario Línea de Pintura	Ninguna
CURAR PINTURA	Mal acabado Pintura	Defecto estético	3	Error Maquina	3	No tiene	7	63	Realizar un mantenimiento periódico de la maquina	Operario Línea de Pintura	Ninguna
	Alteración de las Propiedades Mecánicas	Posibles problemas técnicos futuro	7	Error Maquina	3	No tiene	10	210	Realizar un mantenimiento periódico de la maquina	Operario Línea de Pintura	Ninguna
DESCOLGAR PIEZA	Lamina descolgada incorrectamente	Defecto estético	2	Error Operario	2	Inspección visual de todas las piezas	2	8	Inspección visual de todas las piezas	Operario Línea de Pintura	Ninguna

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con los resultados obtenidos de la matriz AMEF, se realizó un diagrama de Pareto (Gráfico 9) para organizar las causas con su respectivo Número de Prioridad de Riesgo (NPR), con el objetivo de visualizar de forma más ordenada su impacto en el proceso.

Gráfico 9: Grafico de Pareto de la Matriz AMEF



Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto las causas con sus respectivos procesos que presentan mayor número de prioridad de riesgo son expuestos a continuación en la Tabla 14.

Tabla 14: Procesos con mayor NPR

PROCESO	Causas	NPR	%	ACUMU
ESTAMPADO	Matriz de estampado defectuosa	256	15%	15%
CORTAR Y PERFORAR	Maquina laser mal calibrada	210	13%	28%
CURAR PINTURA	Error alteración de propiedades (curar pintura)	210	13%	40%
ESTAMPADO	Pieza mal posicionada (estampado)	200	12%	52%
ESTAMPADO	Inyección de agua no uniforme (estampado)	192	11%	64%

Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, las fases del proceso productivo de la lámina que deben ser analizadas son: Estampado, Cortado y Curar Pintura, puesto que estas presentan un mayor impacto en el proceso productivo. Cabe destacar que la fase del estampado es la que concentra mayor número de NRP.

5.2.2 Determinación del Tipo de Información.

De acuerdo a la matriz AMEF, son tres los procesos que deben ser analizados, por lo tanto la información en cada proceso que es cuantificable y medible, es la siguiente:

- Proceso de Cortar y Perforar:
 - Medición dimensional de muestras en forma aleatoria después del proceso.
- Proceso de Estampado:
 - Medición dimensional de muestras en forma aleatoria después del proceso
 - Medición de Temperaturas del horno y las piezas.
 - Medición de la temperatura del agua (para el enfriamiento de la pieza)
 - Medición de la velocidad de la correa transportadora
- Proceso de Curar Pintura:
 - Medición de dimensional muestras en forma aleatoria después del proceso.
 - Medición de la temperatura de la estufa de cura
 - Medición de la velocidad de la correa transportadora.

Toda esta información es de tipo Variable y Cuantitativa. En cuanto a la fuente de información es del tipo Primario de observación directa, ya que los datos provienen directamente de una muestra de la población, y donde el investigador toma directamente los datos, sin necesidad de cuestionarios y/o entrevistadores. El departamento de calidad de la empresa también contribuyó con información.

5.2.3 Plan de Recolección de Datos

Como se planteó en el punto anterior, la información que se va a recolectar corresponde básicamente a realizar mediciones dimensionales de la lámina en tres fases de su proceso productivo (corte, estampado y cura), como también la medición de los parámetros del proceso.

5.2.3.1 Mediciones Dimensionales

Para las mediciones dimensionales de la lámina se utilizó una Máquina Laser de medición tridimensional del fabricante Hexagon Metrology de origen Suizo (modelo Dea Global Silver, Figura 21).

Figura 21: Hexagon Metrology Dea Global Silver

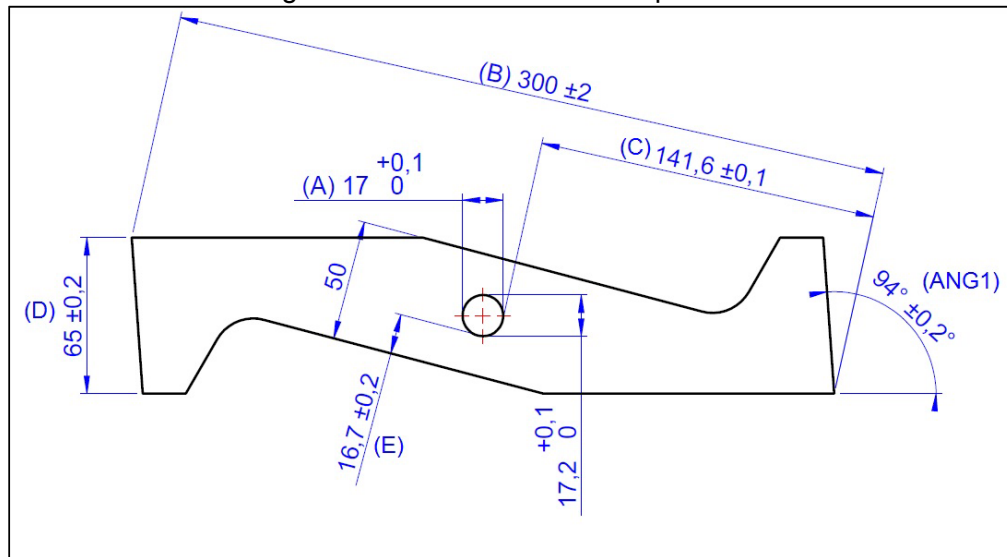


Fuente: Sitio web de Hexagon

Esta máquina está ubicada en los laboratorios del departamento de Calidad en la empresa, posee una precisión capaz de medir diferencias de 0,0001 mm, y opera a temperatura controlada. Por lo que la calidad de la información recolectada es incommensurable. Para la recolección de datos se realizaron dos programas de medición diferentes en el software PC-DMIS de la maquina laser, porque la pieza que sale de la fase de corte está en 2D y la de los procesos de estampado y cura esta con su forma final que es en 3D.

Para la etapa de Corte se seleccionaron los siguientes puntos y mediciones descritos en la Figura 22 y detallados en la Tabla 15

Figura 22: Puntos medición etapa Corte



Fuente: Elaboración Propia

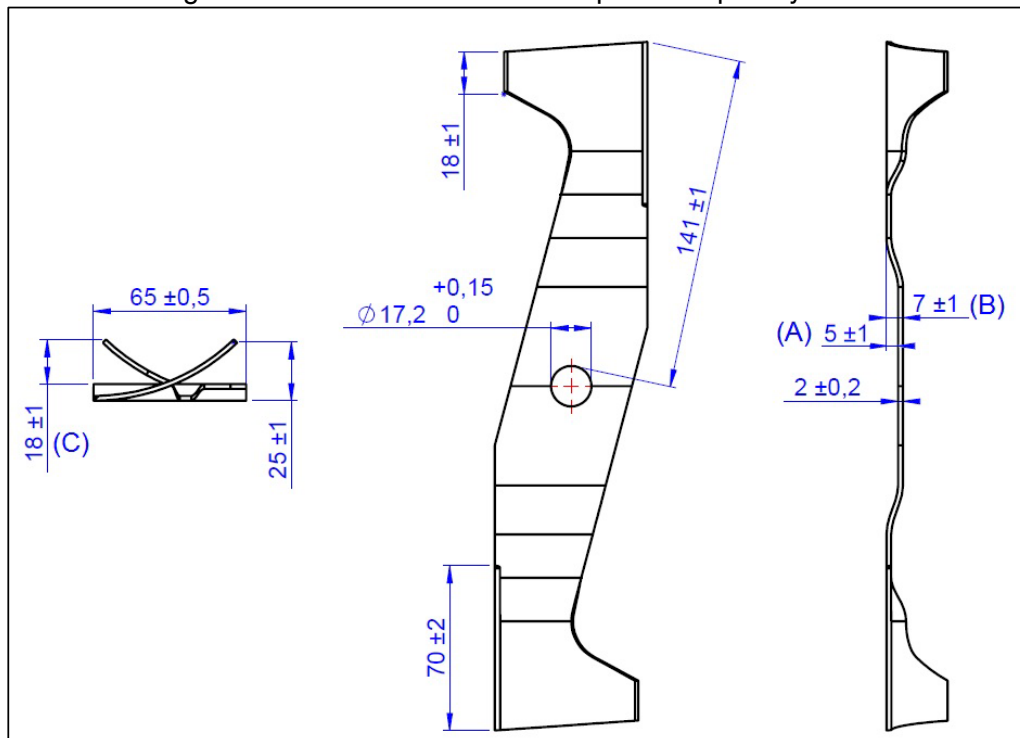
Tabla 15: Puntos de medición etapa corte

Nº	Denominación	Descripción	Valor nominal	Tolerancia +/-	Tol. -	Tol. +
1	A [mm]	A - CIR2	17	0,1	17	17,1
2	B [mm]	B - PNT1 para PNT3	300	2	298	302
3	C-d [mm]	C - CIR2 para PNT1	141,6	0,1	141,5	141,7
4	C-e [mm]	C2 - CIR2 para PNT3	141,6	0,1	141,5	141,7
5	D-d [mm]	D - LIN8 para LIN6	65	0,2	64,8	65,2
6	D-e [mm]	D2 - LIN3 para LIN9	65	0,2	64,8	65,2
7	E-d [mm]	E - CIR2 PARA LIN2	16,7	0,2	16,5	16,9
8	E-e [mm]	E2 - CIR2 PARA LIN5	16,7	0,2	16,5	16,9
9	ÂNG1 [°]	ÂNG1 - LIN3 para LIN4	94	0,2	93,8	94,2
12	PLANO1 [mm]	PLANO1 - PLN3	0	0	0	0

Fuente: Elaboración Propia

Para las etapas de Estampado y Cura de pintura se seleccionaron los siguientes puntos y mediciones descritos en la Figura 23 y detallados en la Tabla 16.

Figura 23: Puntos de medición etapa Estampado y Cura



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16: Puntos de medición etapa Estampado y Cura

Nº	Denominación	Descripción	Valor nominal	Tolerancia +/-	Tol. -	Tol. +
1	P1	Planicidad Región del orificio - PLN2	0	0	0	0
2	A-e	Altura Lado izquierdo (logo Tramontina) - PTN1	5	1	4	6
3	A-d	Altura Lado Derecho - PTN2	5	1	4	6
4	B-e	Altura de la Base a Punta Inferior Lado Izq. - PNT4	7	1	6	8
5	B-d	Altura de la Base a Punta Inferior Lado Der. - PNT6	7	1	6	8
6	C-e	Altura de la Base a Punta Superior Lado Izq. - PNT5	18	1	17	19
7	C-d	Altura Base a Punta Superior Lado Derecho - PNT3	18	1	17	19
8	C1	Circularidad 1 - CIR2	0	0	0	0

Fuente: Elaboración Propia

Cabe destacar que estos puntos fueron escogidos en zonas donde podría encontrarse el problema, ya que medir cada pieza en su totalidad requiere demasiado tiempo y dinero. Además para la medición de las piezas en la etapa de Estampado y Cura, se tomó como referencia el estampado del logo Tramontina (se ubica en el lado izquierdo), para medir la pieza siempre en la misma posición en la maquina tridimensional laser.

Analizando más en profundidad el criterio de selección de los puntos de medición, donde debe existir una directa relación con lo que se quiere saber acerca del proceso, se centró la atención en la diferencia de altura entre la lámina de corte y la base de la cortadora de césped. En el caso de la medición de las piezas después del corte laser, este criterio no es demasiado aplicable, por lo que se fijó como objetivo verificar si la maquina estaba produciendo dentro de las tolerancias aceptables, midiendo casi la mayoría de sus dimensiones, con el fin de analizar en qué estado llega la pieza al próximo proceso. Mientras que en la etapa de Estampado y Pintura, se aplicó totalmente el criterio, ya que se centró la atención en los puntos que podrían tener directa relación con el problema, como es el caso de los punto de análisis “A”, “B” y “C”, de forma de agilizar y optimizar la investigación.

De forma aclaratoria respecto al punto “C” en los procesos de Estampado y Cura, se seleccionó estratégicamente este punto de 18 mm y se descartó el de 25 mm (ver Figura 23), debido a que la diferencia entre la zona de planicidad central y la parte de mayor altura de la lámina de corte tiene directa relación con el problema planteado en esta tesis. Por el contrario sí se analizara desde el punto de vista de los 25 mm, se podrían distorsionar los resultados de la medición en el caso de que existiera un problema en la región más baja de la

lámina, lo que significaría perder la referencia real. Por lo tanto para tener resultados más precisos se analizó respecto a la zona más próxima a la perforación central, de tal forma de obtener una mejor referencia de la altura real de la lámina.

5.2.3.1.1 Tamaño de la Muestra

Para realizar la medición de las piezas, se procedió a calcular el tamaño de la muestra recomendada. Se consideró una población total de 600 piezas, la cual corresponde a la cantidad de láminas producidas por hora en la empresa Tramontina. El nivel de confianza utilizado es de 1,96 y un error del 5% (valores estándar).

$$n = \frac{600 * 1,96^2 * 0,5 * 0,5}{0,5^2 * (600 - 1) * 1,96^2 * 0,5 * 0,5}$$
$$n = 234$$

La muestra recomendada para realizar las mediciones es de 234 piezas, las cuales fueron autorizadas por la empresa.

La muestra es representativa estadísticamente, además podemos señalar que posee una elevada confiabilidad y consistencia; debido a la exactitud en la medición por parte de la máquina laser. Para lograr una aleatoriedad de los datos, fueron tomadas las muestras de la siguiente forma en los distintos procesos:

- Corte Laser: Se tomaron 30 muestras por cada lámina de acero que fue cortada en la máquina. Estas mediciones se realizaron durante un día completo en la fábrica hasta completar las 234 piezas
- Estampado: Se tomaron 40 muestras aleatorias cada una hora, al final de esta línea de producción
- Pintura y Cura: Se tomaron 40 muestras aleatorias cada una hora, al final de esta línea de producción.

Las muestras fueron tomadas por el equipo de investigación en el proceso productivo, en conjunto con el personal del departamento de calidad.

5.2.3.2 Medición de los parámetros del proceso

Para la recolección de esta información se documentaron los parámetros de operación entregados por las máquinas en las líneas de producción. Para la obtención de la temperatura de las piezas después del proceso de estampado, se utilizó una cámara térmica del fabricante FLIR.

5.2.4 Test de normalidad de los datos

La prueba de normalidad genera una gráfica de probabilidad normal y realiza una prueba de hipótesis para examinar si las observaciones siguen o no una distribución normal. Procedimientos estadísticos que se realizarán más adelante, presuponen que las muestras provienen de una distribución normal, por lo tanto se utilizará este procedimiento para poner a prueba el supuesto de normalidad.

Para la prueba de normalidad, las hipótesis son:

- H_0 : los datos siguen una distribución normal (hipótesis nula)
- H_1 : los datos no siguen una distribución normal (hipótesis alternativa)

A continuación se realizará el test de normalidad Kolmogorov-Smirnov a los datos de las mediciones realizadas en cada proceso, con la ayuda del Software "R", y cuyos resultados se presentan en la Tabla 17 y Tabla 18.

Lo más práctico es interpretarlo a partir del *p-value*, donde la regla es que dicho valor sea mayor al nivel de prueba, en tal caso se aceptará que los datos siguen una distribución normal. Se trabajará con un nivel de confianza del 95%, por lo que el *p-value* debe ser mayor a 0,05 ($P > 0,05$) para que se acepte la hipótesis H_0 .

Tabla 17: Test de Normalidad etapa Corte

Kolmogorov-Smirnov normality test				
ETAPA CORTE				
Nº	Denominación	D	p-value	normalidad
1	A [mm]	0.0872	0.1286	ok
2	B [mm]	0.1186	0.00621	no
3	C-d[mm]	0.0693	0.429	ok
4	C-e [mm]	0.075	0.3054	ok
5	D-d [mm]	0.0509	0.8658	ok
6	D-e [mm]	0.0542	0.7986	ok
7	E-d [mm]	0.0921	0.08271	ok
8	E-e [mm]	0.0836	0.1687	ok
9	ÂNG1 [°]	0.0605	0.6466	ok

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 18: Test de Normalidad etapa Estampado y Pintura

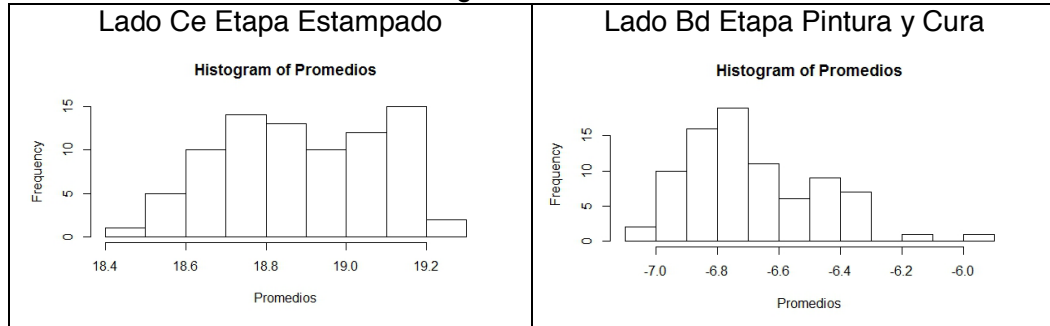
Kolmogorov-Smirnov normality test							
ETAPA		ESTAMPADO			PINTURA Y CURA		
Nº	Denominación	D	p-value	normalidad	D	p-value	normalidad
1	A-e	0.0821	0.1886	ok	0.0628	0.5888	ok
2	A-d	0.0776	0.258	ok	0.037	0.5674	ok
3	B-e	0.0556	0.7686	ok	0.0768	0.2729	ok
4	B-d	0.0346	0.673	ok	0.1184	0.006348	no
5	C-e	0.0573	0.04903	no	0.0748	0.3096	ok
6	C-d	0.054	0.8043	ok	0.0509	0.8648	ok

Fuente: Elaboración Propia

Para lograr la normalidad de los datos, se agruparon en subgrupos de 3 y se analizaron los promedios de los subgrupos.

Con respecto a los puntos que rechazaron la hipótesis nula, que son el Ce de estampado y Bd de pintura y cura, se analizó gráficamente de forma de observar si tenían un comportamiento más o menos normal, como se observa en los siguientes histogramas (Grafico 10)

Gráfico 10: Histograma de datos no normales



.Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en el Gráfico 10, en el lado Ce del estampado dista mucho de un gráfico normal, sin embargo rechaza la hipótesis nula por muy poco margen, por lo que de igual forma se utilizara esta información. Mientras que en el lado Bd, se rechaza considerablemente la hipótesis nula, pero tiene una apariencia gráficamente más normal, por lo que de igual forma se va a analizar esta información.

5.3 FASE DE ANALISIS (A)

La fase de Análisis, tal como se planteó en el Capítulo 4, permite enfocarse en las oportunidades de mejora al observar más de cerca los datos recolectados en la fase de Medición.

Esta fase comienza utilizando los datos recolectados, para establecer la capacidad básica del desempeño actual del proceso en estudio. Esta base servirá como punto de referencia una vez que se hayan aplicado las mejoras al proceso.

5.3.1 Análisis de Capacidad del Proceso

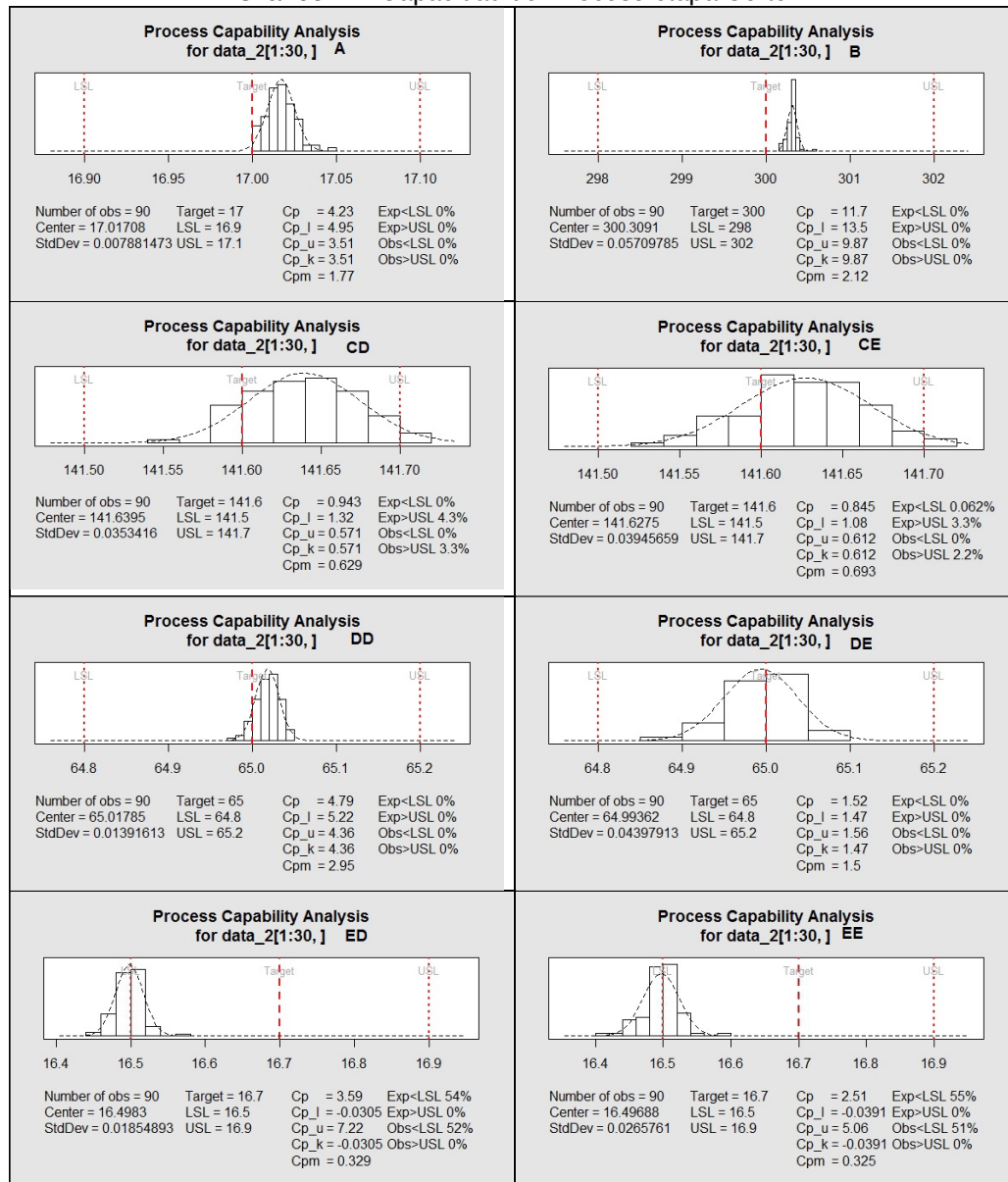
El propósito de realizar un análisis de capacidad del proceso, radica en determinar si un proceso dada su variación natural es capaz de satisfacer los requerimientos establecidos por el cliente (definidos en el punto 5.1.4). Un buen estudio de la capacidad establece la base del desempeño actual del proceso y un punto de referencia para evaluar el impacto de las mejoras.

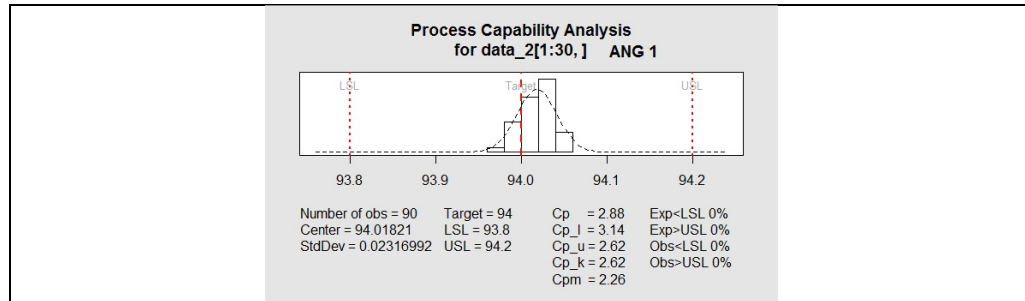
Se realizó un análisis para cada medición, con el objetivo de visualizar la capacidad que tiene el proceso para producir dentro de los límites de especificación en cada uno de los puntos de medición.

Para realizar este análisis se utilizó el Software RStudio, el cual nos facilitó el análisis de los datos obtenidos.

5.3.1.1 Análisis de Capacidad del Proceso Corte

Gráfico 11: Capacidad del Proceso etapa Corte





Fuente: Elaboración propia

Luego de realizar el análisis de la capacidad del proceso de Corte, se realizó la siguiente tabla resumen (Tabla 19):

Tabla 19: Resumen Análisis de Capacidad del Proceso de Corte

Nº	Denominación	MEDIA	Desv. Std	CP	Cpk	Cpm
1	A [mm]	17,01708	0,00788	4,23	3,51	1,77
2	B [mm]	300,3091	0,05709	11,7	9,87	2,12
3	C-d[mm]	141,6395	0,0353	0,943	0,571	0,629
4	C-e [mm]	141,6275	0,03945	0,845	0,612	0,693
5	D-d [mm]	65,0178	0,0139	4,79	4,36	2,95
6	D-e [mm]	64,9936	0,04397	1,52	1,47	1,5
7	E-d [mm]	16,4983	0,01854	3,59	-0,0305	0,329
8	E-e [mm]	16,4968	0,02657	2,51	-0,0391	0,325
9	ÂNG1 [°]	94,01821	0,02316	2,88	2,62	2,26

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en las gráficas y resultados de la etapa corte, en las mediciones A, B, Dd, De y ANG1, este se encuentra produciendo dentro de los límites de especificación, con un aceptable nivel de Cp. Este indicador (Cp) muestra lo que el proceso sería capaz de producir si este estuviera centrado. Además posee un nivel alto de Cp_k, el cual indica lo mismo que el Cp, pero ahora si el proceso estuviera centrado dentro de los límites de especificación.

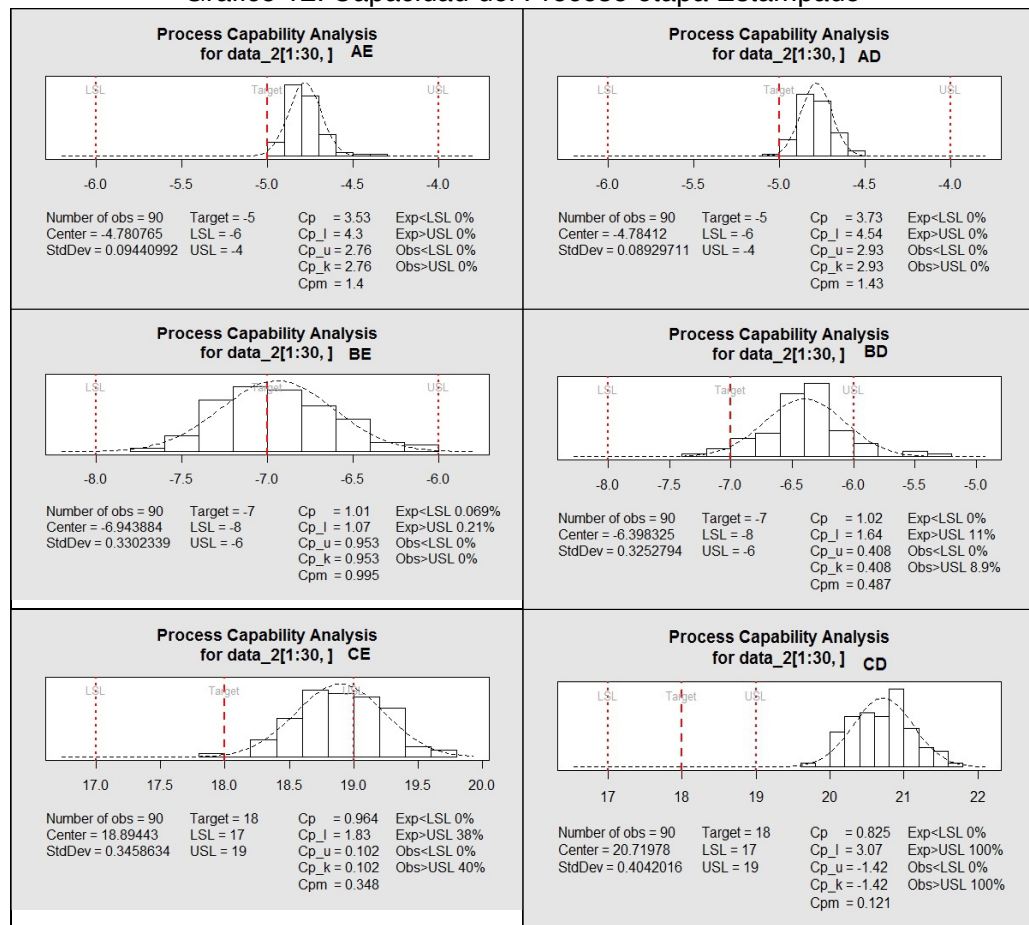
En las mediciones Ce y Cd, los Cp se encuentran cercanos al 0,9, pero hay que considerar que el nivel de tolerancia es de solo 0,1 mm, por lo que de igual forma el proceso productivo sigue siendo muy preciso.

En los puntos Ed y Ee, se identificó un problema, el cual no tiene que ver con la capacidad del proceso, sino más bien la maquina está configurada para

producir a 16,5 mm y no a 16,7 mm como se nos informó por la empresa. Este error fue consultado al departamento de ingeniería y se nos corroboró que el plano estaba errado y que la medida cierta era 16,5 mm, es por esta razón que estas dos medidas tienen un Cp alto, y un Cp_k muy bajo, por lo tanto, en estos puntos se está produciendo dentro de los límites de especificación. De igual forma más adelante se va a realizar un análisis de control estadístico de este proceso para ver si está produciendo bajo control.

5.3.1.2 Análisis de Capacidad del Proceso Estampado

Gráfico 12: Capacidad del Proceso etapa Estampado



Fuente: elaboración propia

Luego de realizar el análisis de la capacidad del proceso de Estampado, se realizó la siguiente tabla resumen (Tabla 20):

Tabla 20: Resumen Análisis de Capacidad del Proceso de Estampado

Nº	Denominació n	MEDIA	Desv. Std	CP	Cpk	Cpm
1	A-e	-4,7807	0,0944	3,53	2,76	1,4
2	A-d	-4,7841	0,08929	3,73	2,93	1,43
3	B-e	-6,9438	0,3302	1,01	0,953	0,995
4	B-d	-6,3983	0,32527	1,02	0,408	0,487
5	C-e	18,8944	0,3458	0,964	0,102	0,348
6	C-d	20,7197	0,404	0,825	-1,42	0,121

Fuente: Elaboración propia

De forma aclaratoria, los puntos A y B tienen resultados negativos porque se tomó como eje horizontal la zona central de la lámina y los puntos mencionados se encuentran bajo esta zona.

Respecto a los Puntos Ae y Ad, se encuentran con un índice de capacidad Cp y Cp_k muy alto, por lo que se puede inferir que están produciendo dentro de las especificaciones, también cabe destacar la baja desviación estándar de estos puntos. De igual forma no se debe despreciar la excesiva tolerancia de esta zona (1 mm), y que además los dos puntos están descentrados respecto a su objetivo, por lo que situando una tolerancia un poco más exigente, la capacidad podría verse considerablemente afectada.

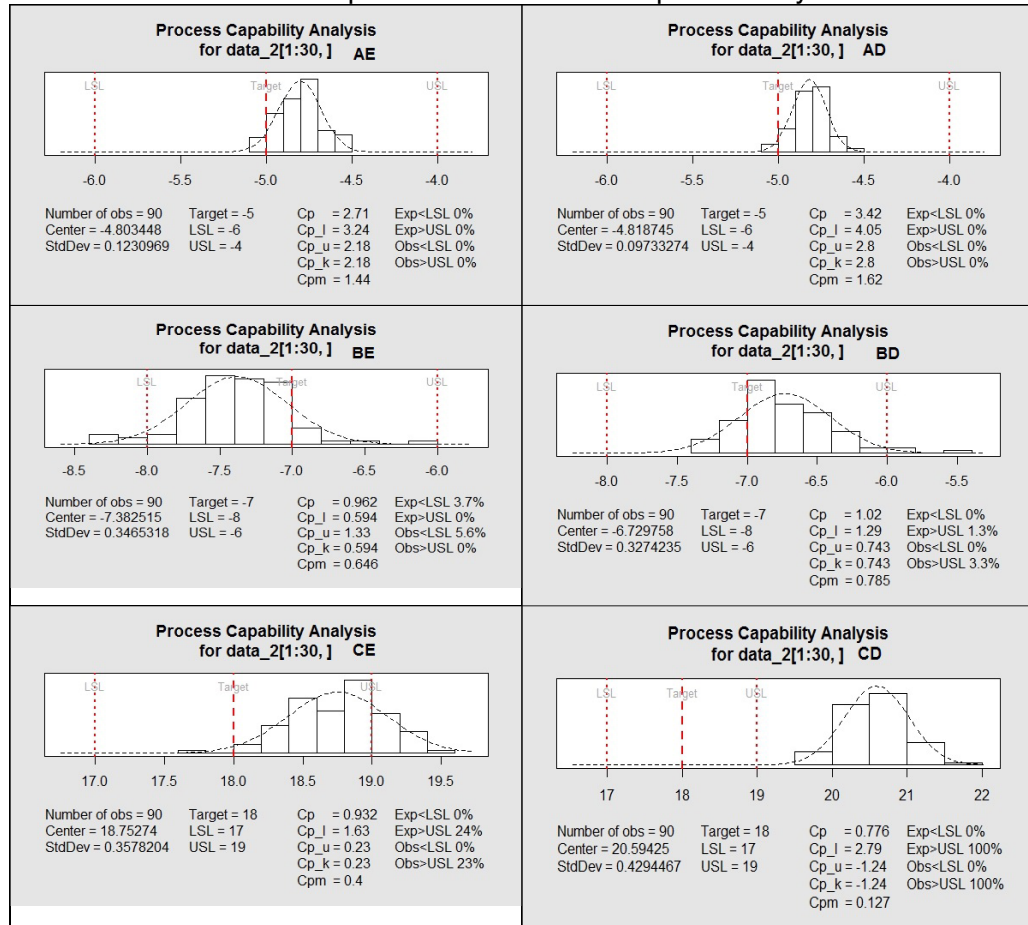
En relación a los puntos Be y Bd, sus Cp y Cp_k están bajo el nivel de aceptación de 1,33, por lo que el proceso productivo no es capaz de producir dentro de los límites de especificación. El punto Bd está totalmente descentrado de su objetivo y el Be está un poco mejor. Hay que destacar que esta zona posee un alto nivel de tolerancia (1 mm), además de ser crítica, ya que si tiene errores, afecta directamente la zona más alejada de la lámina.

En los puntos Ce y Cd surgen los problemas más graves, en ambos lugares el proceso está produciendo totalmente fuera de los límites de especificación. Hay que recordar que esta parte de la lámina tiene directa relación con el problema planteado, tal como se detalló en la fase de medición. El punto Ce está produciendo un poco mejor con una media de 18,89 mm, sin embargo el punto Cd se encuentra con una media de 20,71 mm, lo que significa una diferencia de 2,71 mm respecto al objetivo. Recordemos que esta diferencia está orientada hacia abajo (piso) justo en la zona donde se encuentra el problema descrito, debido a la posición como se encuentra montada la lámina

en la podadora. De igual forma, aunque el proceso estuviera produciendo centrado sería incapaz de producir dentro de las tolerancias, esto se ve plasmado en los bajos índices de Cp.

5.3.1.3 Análisis de Capacidad del Proceso Pintura y Cura

Gráfico 13: Capacidad del Proceso etapa Pintura y Cura



Fuente: Elaboración propia

Luego de realizar el análisis de la capacidad del proceso de Pintura y cura, se realizó la siguiente tabla resumen (Tabla 21):

Tabla 21: Resumen Análisis de Capacidad del Proceso de Pintura y Cura

Nº	Denominación	MEDIA	Desv. Std	CP	Cpk	Cpm
1	A-e	-4,8034	0,123	2,71	2,18	1,44
2	A-d	-4,8187	0,09733	3,42	2,8	1,62
3	B-e	-7,3825	0,3465	0,962	0,594	0,646
4	B-d	-6,7297	0,3274	1,02	0,743	0,785
5	C-e	18,7527	0,3578	0,932	0,23	0,4
6	C-d	20,5942	0,4294	0,776	-1,24	0,127

Fuente: Elaboración propia

De igual forma que el proceso de estampado, los puntos A y B tienen resultados negativos porque se tomó como eje horizontal la zona central de la lámina y los puntos mencionados se encuentran bajo esta zona.

Los resultados de capacidad de este proceso son bastante similares a los obtenidos en la etapa de estampado en todos sus puntos, con buenos resultados en los puntos "A", regulares en los puntos "B" y pésimos en los puntos "C". Pero aquí surge una nueva interrogante que será analizada más adelante, ¿el proceso de Cura y Pintura altera las dimensiones de la lámina? Como fue planteado en la etapa de Definición, este proceso no debería alterar las dimensiones, más bien se limitaría a liberar tensiones en el material. Por ende este punto abre una nueva arista en la investigación, que tiene relación con la influencia que tiene el proceso de cura en el problema descrito en esta tesis.

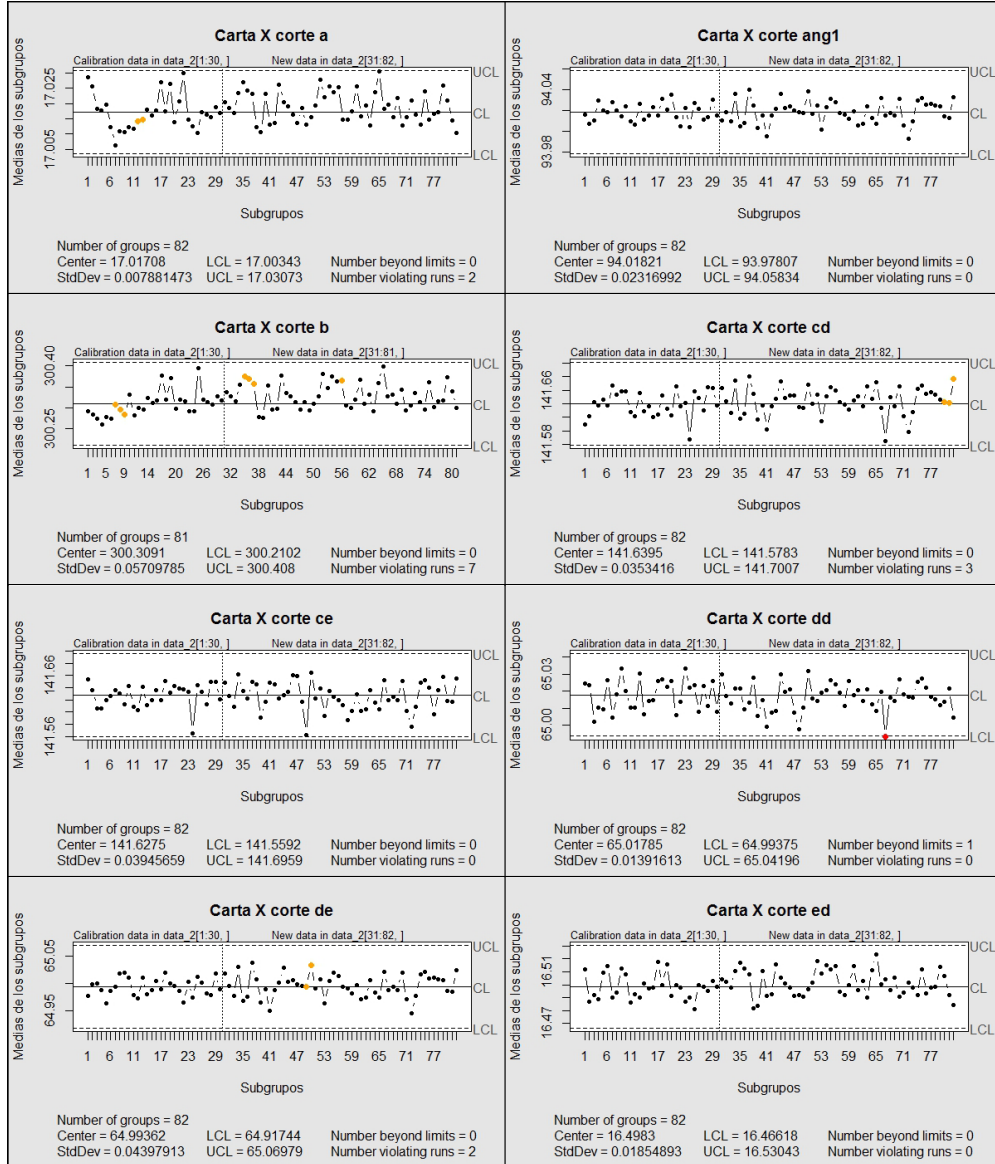
5.3.2 Control Estadístico de Proceso

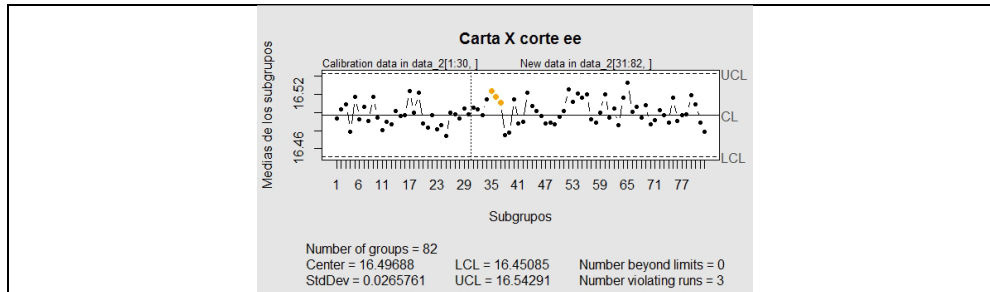
Se realizó un control estadístico de los procesos de Corte, Estampado y Pintura/Cura. Para verificar si estos están o no bajo control, se realizaron Cartas de Control X (instrumentos que entregan informaciones de la real situación del proceso, con alto grado de eficiencia).

5.3.2.1 Control estadístico de proceso, Etapa Corte

Los resultados de las tablas de control X de la etapa de corte se presentan en el Gráfico 14.

Gráfico 14: Control Estadístico del Proceso etapa Corte





Fuente: Elaboración propia

Tal como en el análisis de capacidad del proceso en esta etapa, los resultados en general de este análisis (cartas de control), tienen resultados bastante aceptables, salvo de algunas violaciones de corrida en ciertos puntos y un punto fuera de control en la medición “Dd”. Por los análisis realizados, se puede concluir el proceso de corte está bajo control estadístico y produciendo dentro de los límites de especificación.

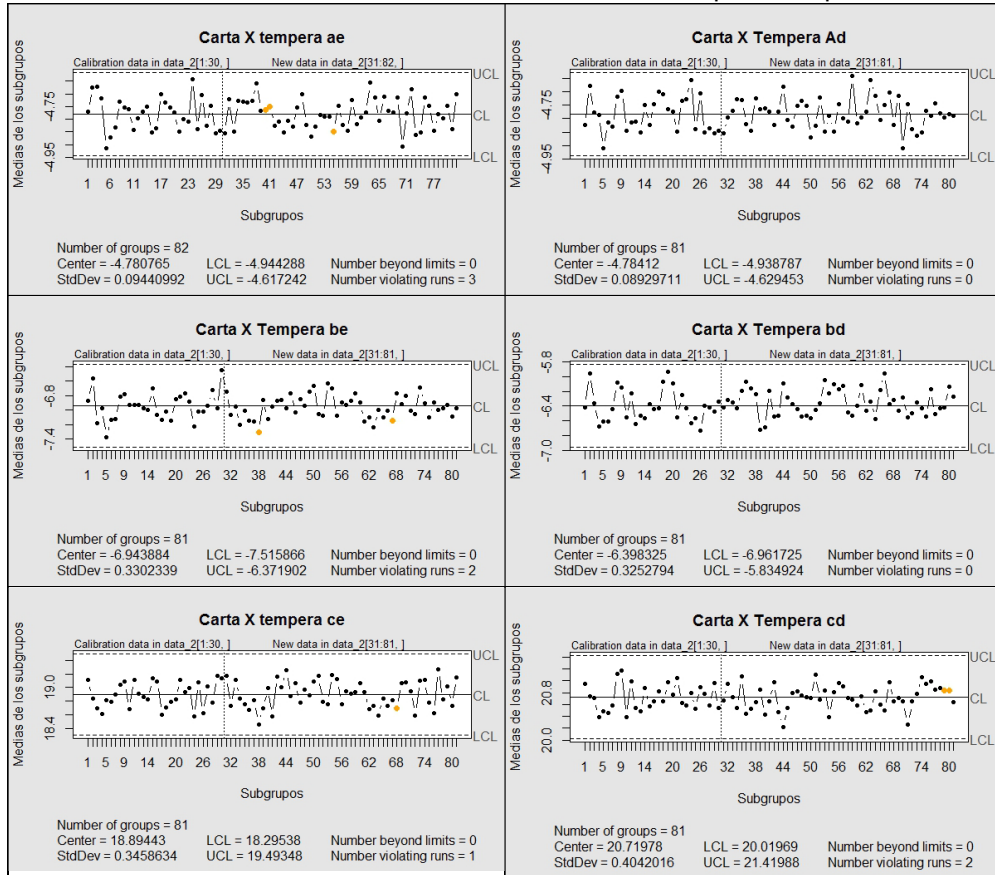
Por lo tanto con estos resultados se descarta que el proceso de Corte tenga participación en el problema descrito en esta tesis, de igual manera se calculó el nivel sigma de este proceso el cual será descrito más adelante.

5.3.2.2 Control estadístico de proceso, Etapa Estampado

De manera sorprendente en todos sus puntos el proceso está bajo control estadístico (Gráfico 15), pero hay que recordar que el hecho de que un proceso se encuentre bajo control no significa en ningún momento que está produciendo piezas acordes con las especificaciones que le son impuestas. Cuando un proceso está bajo control estadístico significa simplemente que está comportándose de la forma como normalmente lo ha venido haciendo, y que sobre él no están actuando causas asignables, ya que hay que distinguir entre los límites del proceso y los límites de especificación.

En este caso el proceso se encuentra bajo control estadístico, ya que no posee ningún punto fuera de los límites de control, pero en la mayoría de estos el proceso no es capaz de cumplir con la especificación, esto podría ser generado por problemas en la matriz de estampado, el cual se analizara con mayor profundidad al final de la etapa de análisis.

Gráfico 15: Control Estadístico del Proceso etapa Estampado

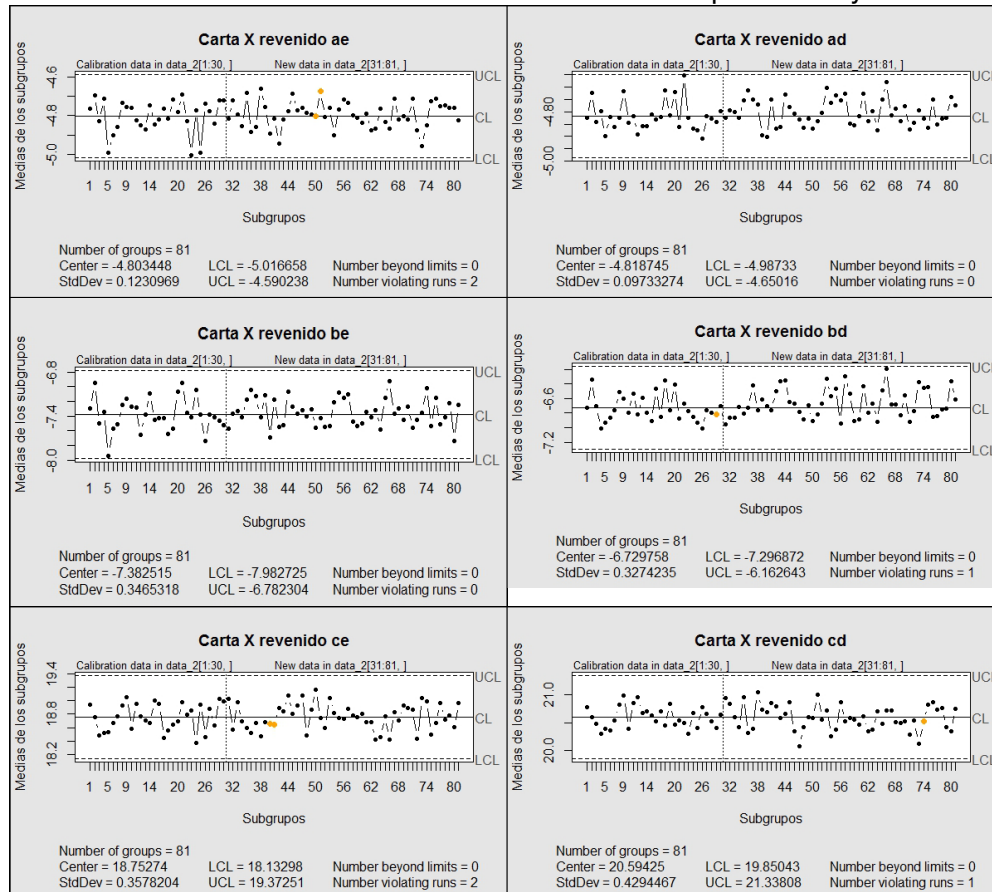


Fuente: Elaboración propia

5.3.2.3 Control estadístico de proceso, Etapa Pintura y Cura.

Al igual que la etapa estampado se repite la misma situación con respecto a los análisis de capacidad, todos los procesos están bajo control estadístico (como se observa en el Gráfico 16) pero en la mayoría de los puntos el proceso está infringiendo los límites de especificación.

Gráfico 16: Control Estadístico del Proceso etapa Pintura y Cura



Fuente: Elaboración propia

5.3.3 Cálculo del nivel sigma del proceso

Posterior al análisis de la capacidad y del control estadístico del proceso de Corte, Estampado y Pintura/Cura, se procederá a medir el nivel sigma de cada proceso antes mencionado. Esto reflejará el nivel de rendimiento en el cual cada proceso está trabajando actualmente.

Como se mencionó en el Capítulo 4, para obtener el nivel sigma del proceso se calculará los Defectos por Millón de Oportunidades (DPMO) que existen en cada uno de ellos. En primer lugar definiremos las siguientes variables:

- Oportunidades por Unidad: es la oportunidad de encontrar defectos en una unidad producida dentro de un proceso. Cabe destacar que en una unidad puede tener una oportunidad de tener más de un defecto. En nuestro caso cada lámina tiene 14 oportunidades por unidad de encontrar un defecto.
- Número de Defectos: es la cantidad de defectos encontrados en un determinado proceso productivo. En nuestro caso es el número de defectos encontrados en la muestra de láminas de corte.
- Unidades Totales: es el número de unidades producidas en la muestra tomada, en nuestro caso es de 234 láminas de corte.

Una vez definidas nuestras variables, se procede a calcular los DPMO de cada proceso mediante la siguiente ecuación:

$$DPMO = \frac{\text{Numero de Defectos} \times 1.000.000}{\text{Unidades Totales} \times \text{Oportunidades por Unidad}}$$

En el proceso de corte se contabilizaron los errores (mediciones fuera de su respectiva especificación) en las medidas de los puntos B, CD, CE, DD, DE, ED, EE y ANG1. Por su parte en el proceso de estampado, como también en el de pintura y cura, la contabilización de errores se realizó en la medición de los puntos AE, AD, BE, BD, CE, y CD.

Una vez calculados los DPMO de cada proceso, se obtiene mediante datos tabulados, la relación existente entre DPMO y el nivel sigma de un proceso. Los resultados adquiridos se presentan en la Tabla 22:

Como se aprecia en la tabla anterior el proceso de corte está trabajando con un buen nivel de rendimiento (99,82%), lo que traducido al nivel sigma representa un 4,42. Esto reafirma la hipótesis que la etapa de corte no es la responsable del problema descrito en esta tesis, y por lo tanto será descartada.

Por otro lado el proceso de estampado está produciendo a un nivel de 2,79 sigmas, el cual representa un 90,1% de rendimiento. Finalmente el proceso de pintura y cura refleja un rendimiento del 90,73%, lo que transcrito al nivel sigma constituye 2,83 sigmas en su proceso productivo.

Tabla 22: Calculo del nivel Sigma de los procesos Corte, Estampado, Pintura y Cura.

PROCESO	DEFECTOS	DPMO	SIGMA	RENDIMIENTO
CORTE	6	1.742	4,42	99,826
ESTAMPADO	341	99.013	2,79	90,099
PINTURA Y CURA	319	92.625	2,83	90,738

Fuente: Elaboración propia

Como se observa se presentan problemas en la etapa de Estampado y Pintura/Cura, ya que posee un bajo nivel sigma, además este problema se visualizó claramente en los análisis de capacidad del proceso pero no en las cartas de control, donde los puntos se encuentran bajo control estadístico. Por lo que se podría inferir que el origen del problema se encuentra en la etapa de estampado, y que los problemas encontrados en la etapa de pintura y cura son consecuencia del proceso anterior.

Hay que recordar, tal como se señaló en la fase de definición, que el proceso de pintura y cura, más específicamente el proceso de cura, no debería alterar las dimensiones de la lámina, más bien solo se limitaría a liberar tensiones dentro del material. Por lo tanto aquí surge una nueva hipótesis respecto al papel que está cumpliendo esta etapa del proceso dentro del problema, entonces, ¿el proceso de pintura y cura está alterando las dimensiones de la lámina?, para esto se analizara la relación que existe entre las medias de los procesos de estampado y pintura.

5.3.4 Estudio de la relación entre la etapa de Estampado y Pintura

De forma de estudiar la hipótesis planteada, que el proceso de pintura y cura estaba alterando las dimensiones de la lámina, se realizó un t-test para comparar si las medias de las muestras para cada medición de estampado y pintura son iguales. El t-test se utiliza para determinar si hay una diferencia significativa entre las medias de dos grupos o si la diferencia observada se debe en cambio a una probabilidad aleatoria, es decir que se utiliza cuando deseamos comparar dos medias. Se decidió aplicar el t-test con varianza desconocida de dos colas, ya que solo se conoce la varianza de la muestra y no la poblacional, con un valor de significancia del 5%.

En el caso que el proceso de Pintura/Cura no estaría alterando las dimensiones de la lámina, los promedios deberían ser relativamente iguales. Para esto se plantearon las siguientes hipótesis (donde μ representa la media muestral):

- $H_0: \mu_{\text{estampado}} = \mu_{\text{pintura}}$
- $H_1: \mu_{\text{estampado}} \neq \mu_{\text{pintura}}$

Donde H_0 es la hipótesis nula y H_1 es la hipótesis alternativa. Los resultados del t-test se presentan en la Tabla 23.

Tabla 23 t-test Estampado v/s Pintura y Cura

t-test estampado v/s pintura y cura					
Medición	T	p-value	H0	mean of x	mean of y
Ad	3,08600	0,00214	Rechaza	-4,78138	-4,80917
Ae	1,89270	0,05900	Acepta	-4,77954	-4,79792
Bd	10,02600	< 2,2e-16	Rechaza	-6,37122	-6,68929
Be	13,00980	< 2,2e-16	Rechaza	-6,95755	-7,36174
Cd	3,76620	0,00019	Rechaza	20,71533	20,59040
Ce	4,44320	1,097 e-05	Rechaza	18,89289	18,75530

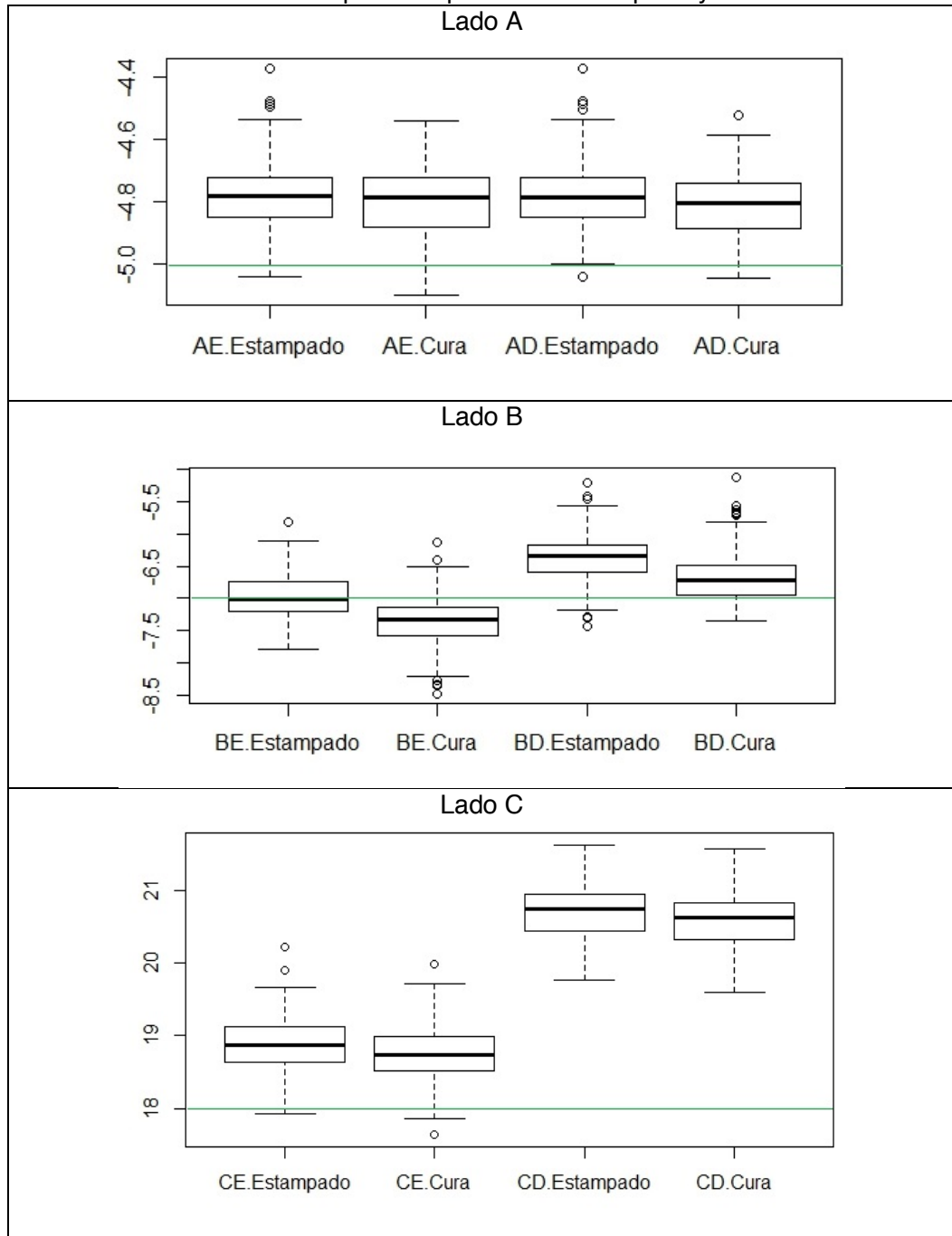
Fuente: Elaboración propia

En la mayoría de los casos existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, los p-value son menores a 0,05. Con excepción del punto Ae donde no se puede rechazar la hipótesis nula y existiría una relación de similitud entre las dos medias.

De forma de visualizar gráficamente esta diferencia, se realizaron Bloxpot comparativos (Gráfico 17) por cada medición entre las etapas de Estampado y Pintura/Cura.

Nota: La línea verde representa el objetivo de cada medición.

Gráfico 17: Boxplot Comparativos Estampado y Pintura



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en el Grafico 17, el proceso de Pintura/Cura si altera las dimensiones de la lámina de corte, en algunos casos ayuda a acercarse al objetivo, mientras que en otros casos empeora (punto Be). Por lo tanto también existen problemas en la etapa de Pintura/Cura. De esta forma no se puede descartar el proceso de Pintura/Cura como actor del problema detectado.

5.3.5 Conclusiones y Acciones de Mejora

Luego de aplicar las herramientas de análisis grafico a la información podemos identificar las fuentes de variación del proceso. El propósito de esta fase es enfocarse en las causas raíz para atacar de forma correcta el problema.

Las mejoras a las causas raíz algunas veces son tan sencillas como enfocarse a una sola causa, en sistemas complejos como el caso de esta tesis, puede haber más de una causa raíz; en estos casos puede ser necesario que las mejoras se enfoquen en múltiples causas raíz.

En el desarrollo de la matriz AMEF, en la fase de definición, se determinaron las etapas del proceso productivo donde se podrían originar los problemas, las etapas seleccionadas fueron “Corte”, “Estampado” y “Pintura/Cura”.

Gracias a los análisis se logró descartar la etapa Corte, al presentar buenos resultados en los índices de capacidad del proceso, destacando que fue apto con niveles de tolerancia muy exigentes (al ser maquinaria robotizada), además de encontrarse bajo control estadístico en su producción.

En las etapas de Estampado y Pintura/Cura, fue donde se encontraron las mayores dificultades, y precisamente en los puntos que tienen directa relación con el problema descrito en esta tesis (puntos Ce y Cd), hay que señalar que estos puntos son los que se encuentran más abajo cuando la lámina está posicionada en la podadora. Como se observa en la Tabla 24, en la medición Cd está en promedio 2,59 [mm] más abajo.

Recordemos que según la norma CEI IEC 60335-2-77 los medios de corte (lámina) del recinto deben ubicarse por lo menos 3 mm por sobre la parte baja de la base del podador. Según el diseño, la lámina se ubica justo 3 [mm] por sobre la base, pero según los datos obtenidos de la investigación, se está

produciendo en promedio 2,59 [mm] más abajo, lo que deja un margen de 0,41 [mm]. Esta situación genera un escenario peor de lo que la empresa había calculado, que era de 1,2 [mm] (probablemente por no tomar una muestra representativa).

Tabla 24: Comparación Proceso de Estampado y Pintura

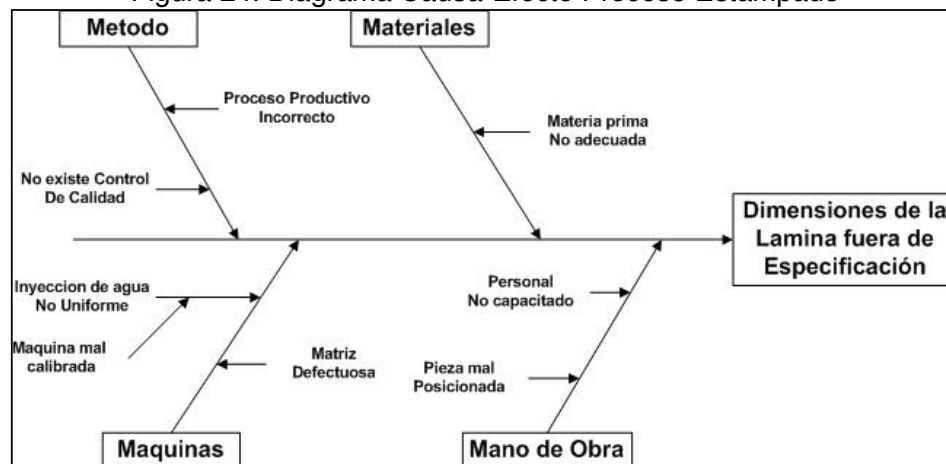
Proceso	Estampado		Pintura y Cura	
	Ce	Cd	Ce	Cd
Especificado [mm]	18	18	18	18
Media muestra [mm]	18,89	20,72	18,75	20,59
Diferencia [mm]	0,89	2,72	0,75	2,59

Fuente: Elaboración propia

Luego de realizar las mediciones y análisis del proceso actual, se realizó una identificación de causas potenciales de cada proceso antes descrito (“Estampado”, “Pintura y Cura”) donde se realizó una lluvia de ideas y en base a ellas se elaboraron diagramas Causa-Efecto. Según Pande (2000) esta herramienta ayuda a desarrollar hipótesis adecuadas en donde enfocar las medidas y permite hacer un análisis más profundo sobre la causa raíz del problema.

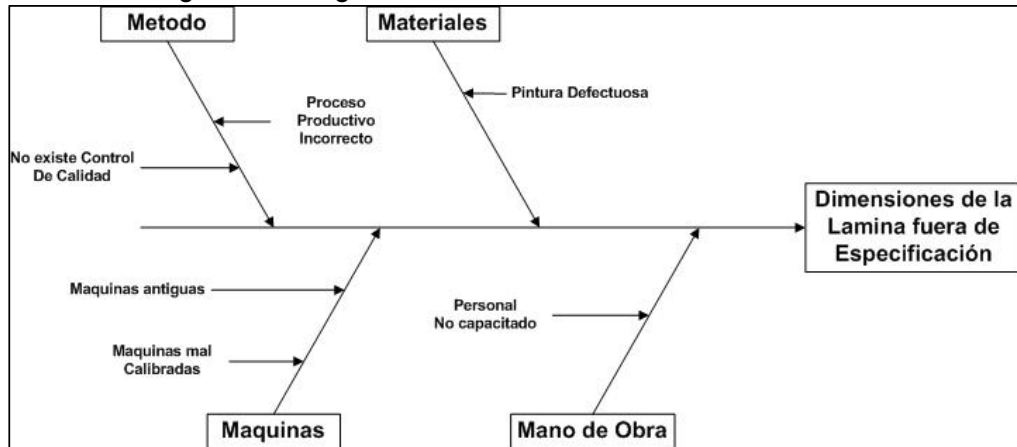
A continuación en las Figuras 24 y 25 se presentan los diagramas Causa-Efecto de los procesos de “Estampado” y “Pintura/Cura” respectivamente:

Figura 24: Diagrama Causa-Efecto Proceso Estampado



Fuente: Elaboración Propia

Figura 25: Diagrama Causa-Efecto Proceso Pintura/Cura



Fuente: Elaboración Propia

Luego de identificar las posibles causas de fallas, dentro de los procesos productivos de Estampado y Pintura/Cura en la producción de láminas de corte para laminas podadoras de césped, se realizó un análisis con la herramienta “5 por qué”, con el fin de descubrir porque suceden las causas identificadas.

Para las tablas que se presentan a continuación (Tabla 25 y 26) se identificaron las causas potenciales con color verde y la letra V, y en rojo y con letra X las causas que eran falsas.

En la Tabla 25, se identificó como causa potencial:

- Falta de mantención de la matriz
- Proceso Productivo no es el adecuado

En la Tabla 26, se identificó como causa potencial:

- Proceso Productivo no es el adecuado
- Falta de mantención periódica a la maquinaria

Si bien estas causas potenciales podrían asegurar una real mejora en el proceso productivo de láminas de corte, es necesario priorizarlas, ya que cada una tiene un esfuerzo y un impacto involucrado.

Tabla 25: Análisis “5 Por qué” Proceso de Estampado

Produccion Laminas de Corte						
	Proceso: Estampado					
	Problema: Dimensiones de la lamina fuera de especificacion					
	1° Por qué	2° Por qué	3 Por qué	4 Por qué	5 Por qué	
A	Porque la matriz es defectuosa	Porque presenta fallas en su diseño	Porque presenta sobrecarga de trabajo por matriz	Porque no se realizan las mantenencias periodicas	v	
B	Porque la pieza esta mal posicionada	porque el operario fallo en la manipulacion de la pieza	porque el personal no esta capacitado	x		
C	Porque no hay un control de la calidad	Porque el proceso Productivo no es el apropiado	v			
D	Porque la inyeccion de agua no es uniforme	Porque la maquina esta mal calibrada	Porque no se realizan las mantenencias periodicas	v		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 26: Análisis “5 Por qué” Proceso de Pintura y Cura

Produccion Laminas de Corte						
	Proceso: Pintura y Cura					
	Problema: Dimensiones de la lamina fuera de especificacion					
	1° Por qué	2° Por qué	3 Por qué	4 Por qué	5 Por qué	
A	Porque la pintura es defectuosa	Porque los materiales no son de calidad	x			
B	Porque no hay un control de la calidad	Porque el proceso Productivo no es el apropiado	v			
C	Porque la Maquinaria presenta fallas	Porque la maquina es antigua	x			
		Porque la Maquina esta mal calibrada		Porque no se realizan las mantenencias periodicas	v	
D	porque el operario fallo en la manipulacion de la pieza	porque el personal no esta capacitado	x			

Fuente: Elaboración Propia

5.4 FASE DE MEJORA (I)

5.4.1 Priorización de mejoras potenciales

Luego de identificar las causas potenciales de la producción fuera de especificación de la lámina, se creó una priorización de mejoras a realizar y estas se clasificaron según el impacto y esfuerzo que estas tendrían al ser implementadas.

Para medir el impacto de las mejoras se asignaron 4 criterios fundamentales para la empresa Tramontina, los cuales son:

- Mejora en el cumplimiento de las especificaciones dimensionales de la lámina de corte.
- Mejora del proceso.
- Calidad del producto.
- Seguridad para los trabajadores.

Para medir el nivel de esfuerzo de implementar las mejoras se asignó valor a:

- La inversión involucrada necesaria para realizar la mejora.
- La modificación de la metodología de trabajo por parte de los operadores.
- Detención de la línea productiva por más de 1 día de trabajo.
- Costo de mantención de la mejora.

A continuación se presenta en la tabla 27, la puntuación a utilizar según los diferentes criterios, para realizar la matriz de priorización de mejoras.

Tabla 27: Puntuación asignada para la Matriz de priorización de mejoras

IMPACTO		ESFUERZO	
¿Mejora el cumplimiento de las especificaciones dimensionales de la lámina?		¿Involucra Inversión?	
Baja: 1	Alta: 2	Baja: 1	Alta: 2
¿Mejora del proceso?		¿Modifica Metodología de Trabajo?	
No: 0	Si: 1	No: 0	Si: 1

¿Calidad del Producto?		¿Requiere más de 1 día detener para implementar?	
No: 0	Si: 1	No: 0	Si: 1
¿Seguridad para los trabajadores?		Costo Mantención	
No: 0	Si: 1	No: 0	Si: 1

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 28, se muestran los puntajes obtenidos para las diferentes acciones de mejora, con su respectivo nivel de impacto y esfuerzo.

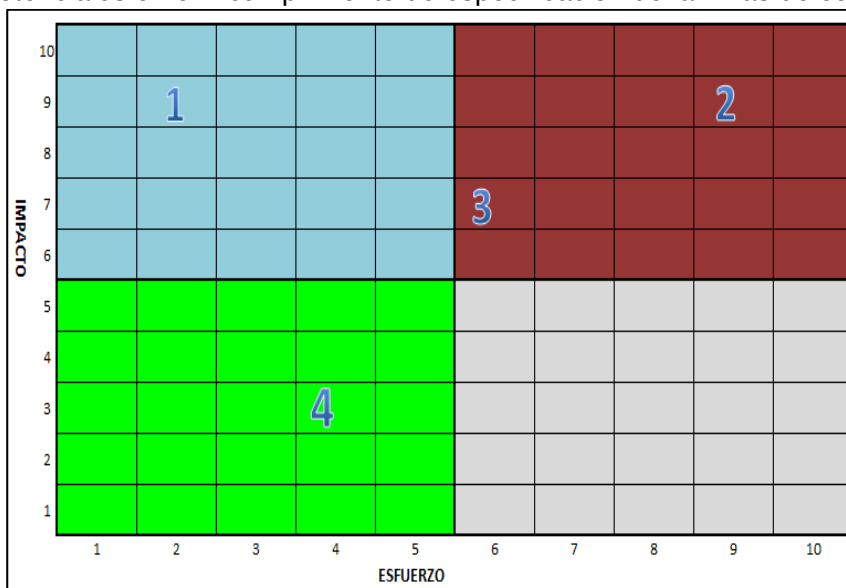
Tabla 28: Puntajes obtenidos para la priorización de mejoras en el proceso productivo de láminas de corte

Acción			
N°	Descripción	Nivel de Impacto	Nivel de Esfuerzo
1	Revisión y Mantención de Matriz	9	2
2	Cambio del Proceso Productivo	9	9
3	Mantenciones Periódicas de maquinaria	7	6
4	Establecer frecuencia de cambio de repuestos	3	4

Fuente: Elaboración Propia

En el Gráfico 18 se muestra la matriz de prioridad para la implementación de mejoras. En la zona A (Alto impacto/Bajo esfuerzo) recae la mejora 1, y es donde se debería trabajar principalmente. En la zona B (Alto impacto/Alto Esfuerzo) aparecen las mejoras 3 y 2, estas mejoras según Scholtes (1987), se deberían simplificar o dividir en etapas. Estas mejoras se deberían implementar en el mediano plazo, ya que necesitan una inversión de tiempo y económica mayor. En la zona C (Bajo Impacto/Bajo Esfuerzo) se encuentra la mejora 4, esta se debería realizar si existen otras prioridades en el área de fabricación. En la zona D (Bajo impacto/Alto esfuerzo) no encontramos ninguna medida.

Gráfico 18: Matriz de Priorización de mejoras para eliminación de causas potenciales en el incumplimiento de especificación de láminas de corte



Fuente: Elaboración Propia

Como se mencionó en el análisis anterior la primera mejora a ser implementada es la Revisión y Mantenimiento de la Matriz de Estampado.

5.4.2 Análisis de la propuesta de mejora seleccionada

La mejora seleccionada debería en teoría generar un alto impacto y bajo esfuerzo, esta corresponde a la Revisión y Mantenimiento de la Matriz de Estampado. Para esto se coordinó junto con los departamentos de Ingeniería, Calidad y Matriceria la revisión de la matriz, con el objetivo de determinar si realmente existen problemas en esta pieza y así generar acciones correctivas.

Recordemos que la producción de la lámina se limita a uno o dos días del mes, y que la línea en donde se produce está destinada principalmente para la producción de rastrillos, por lo que fue sencillo generar la orden de revisión, ya que la matriz se encontraba en las bodegas de Matriceria. Esta fue trasladada al departamento de Calidad para realizar una revisión visual, así como también con la máquina de medición tridimensional laser Hexagon. Por políticas de la empresa no podemos revelar fotos de la matriz ni un plano de sus dimensiones.

Los resultados de la revisión detectaron un problema en el soporte central de la matriz, donde se encaja con la perforación central de la lámina para realizar el estampado, este soporte se encontraba con un alto nivel de desgaste, lo que provocaba que la lámina tuviera un “juego” y se desplazara hacia un lado al momento del estampado. Todo las demás dimensiones de la matriz se encontraban de buena forma y bien calibradas. Al detectar este problema se generó una orden de mantención para remplazar el soporte central por uno nuevo al departamento de Matriceria.

5.4.3 Aplicación de la mejora

Después de reparar la matriz de estampado, se procedió a la producción de un lote de 5.000 unidades de la lámina de corte, y se procedió a hacer el mismo análisis que se realizó anteriormente, se tomó una muestra de 243 unidades y se examinaron en la máquina de medición tridimensional Hexagon, tanto en la etapa de Estampado como Pintura/Cura.

Para realizar los análisis estadísticos se comprobó si los datos se ajustaban a una distribución normal con el test de Kolmogorov-Smirnov, cuyos resultados son presentados en la Tabla 29.

Tabla 29: Test de Normalidad etapa Estampado y Pintura con matriz reparada

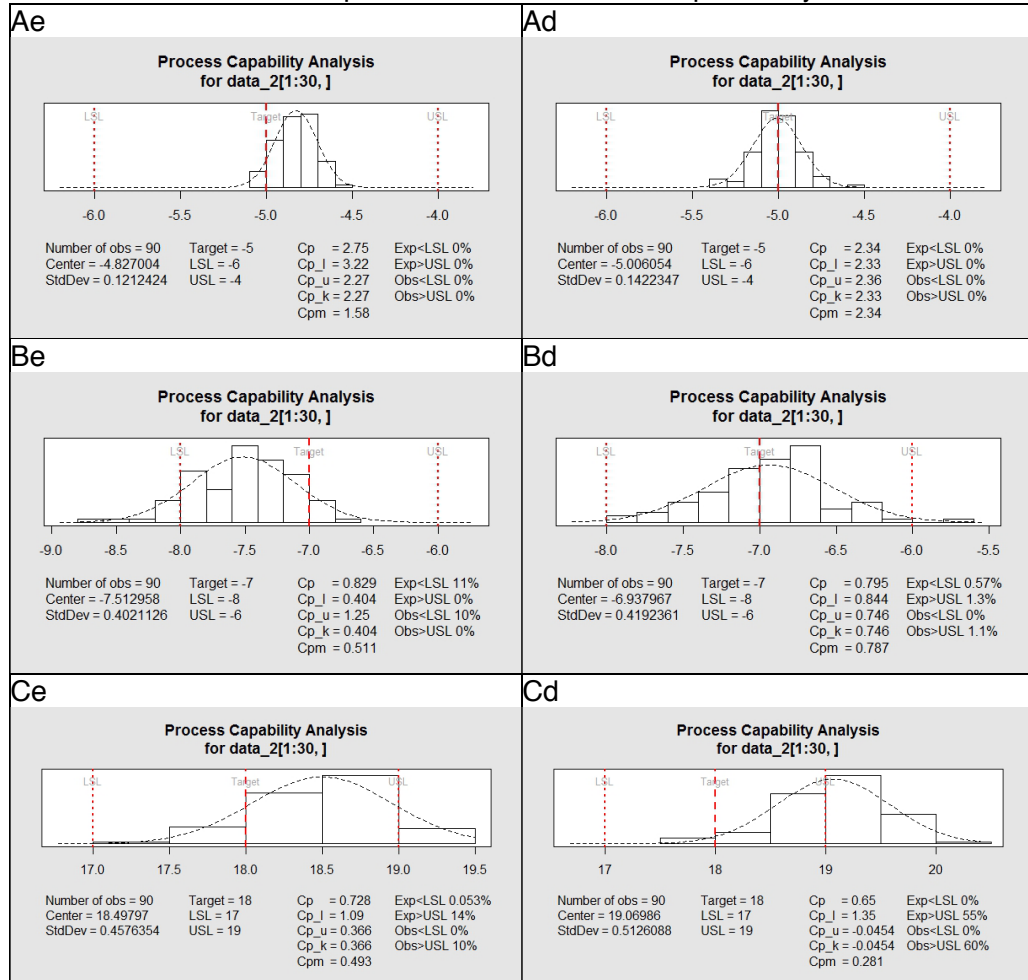
Kolmogorov-Smirnov normality test							
ETAPA		ESTAMPADO			PINTURA Y CURA		
Nº	Denominación	D	p-value	normalidad	D	p-value	normalidad
1	A-e	0.0622	0.6152	ok	0.1035	0.06403	ok
2	A-d	0.0697	0.4302	ok	0.085	0.2497	ok
3	B-e	0.0534	0.8223	ok	0.0531	0.9001	ok
4	B-d	0.0555	0.7794	ok	0.0522	0.9135	ok
5	C-e	0.0554	0.7814	ok	0.0484	0.9549	ok
6	C-d	0.0561	0.7644	ok	0.085	0.2501	ok

Fuente: Elaboración Propia

5.4.3.1 Mejora en etapa de Estampado

A continuación en el Grafico 19 se presentan los resultados obtenidos con respecto a la capacidad del proceso, incluyendo la mejora en la matriz en la etapa de Estampado.

Gráfico 19: Capacidad del Proceso Estampado Mejorado



Fuente: Elaboración propia

Con respecto al punto Ae no hubo mayor variación respecto a la situación anterior, con buenos resultados en los indicadores Cp y Cp_k, en ambos esta descentrado y cargado hacia la derecha. El punto Ad también presenta resultados similares, se logró centrar en el objetivo, pero aumento su variabilidad, presentando excelentes resultados en los indicadores.

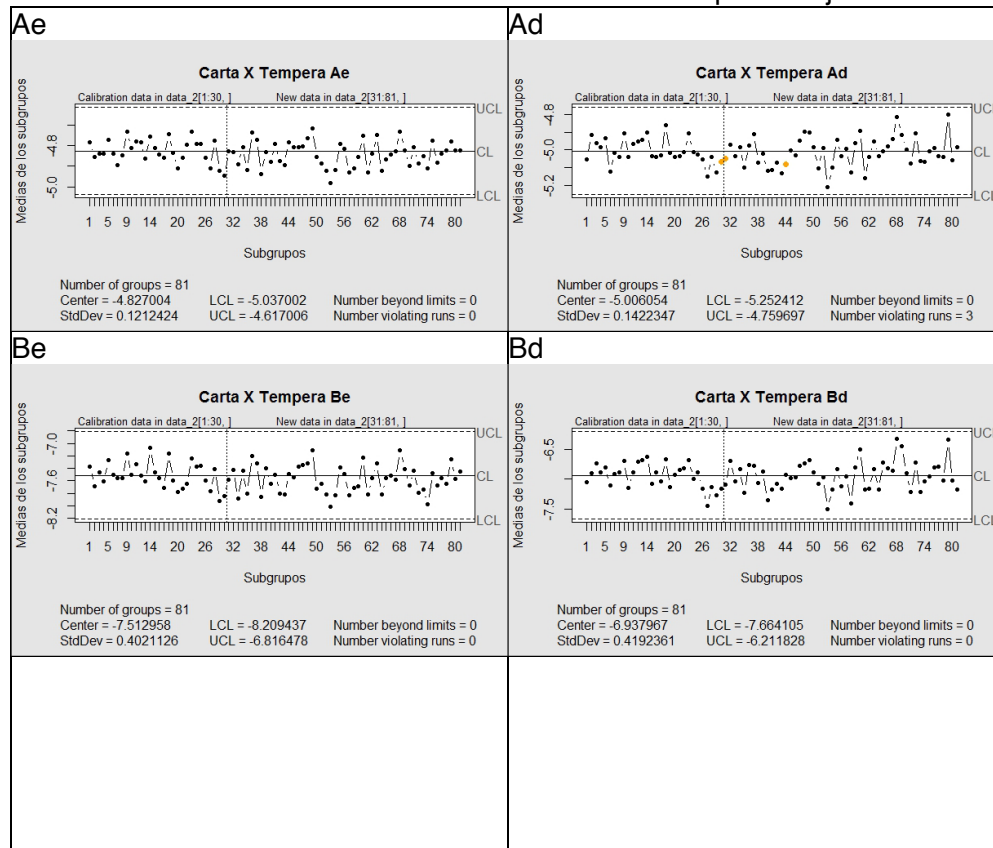
En el punto Be, la reparación tuvo un efecto negativo, bajando los niveles de Cp y Cp_k con respecto al análisis anterior, y la producción se descentro del objetivo, cargándose hacia la izquierda. En el punto Bd hubo un resultado

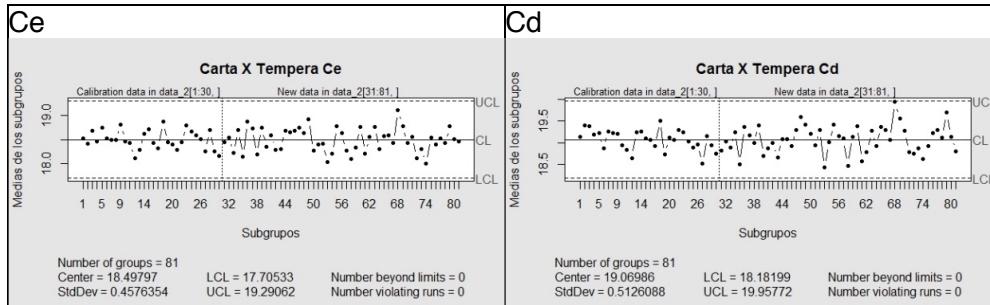
bastante similar, bajó el nivel Cp (promedio más alejado del objetivo) pero mejoro el Cp_k, ya que se mejoró el centrado respecto al objetivo.

En la zona donde existen los mayores problemas, el punto Ce tuvo una moderada mejora con respecto al índice Cp_k, ya que paso de 0,102 a 0,366 , esto infiere que el promedio se acercó más al objetivo, aunque aún posee indicadores muy deficientes. En el punto Cd se logró una mejora evidente, pero aún existen problemas en esta zona, pasando de un promedio de 20,71 mm a 19,07 mm, además mejoro el Cp_k de -1,42 a -0,04.

Nuevamente tal como antes de la mejora el proceso se encuentra produciendo bajo control estadístico en todas las partes analizadas, tal como se observa en la Grafico 20. Solo presenta algunas violaciones de corrida, pero no existe ningún punto fuera de los límites de control.

Gráfico 20: Cartas de Control Proceso Estampado mejorado





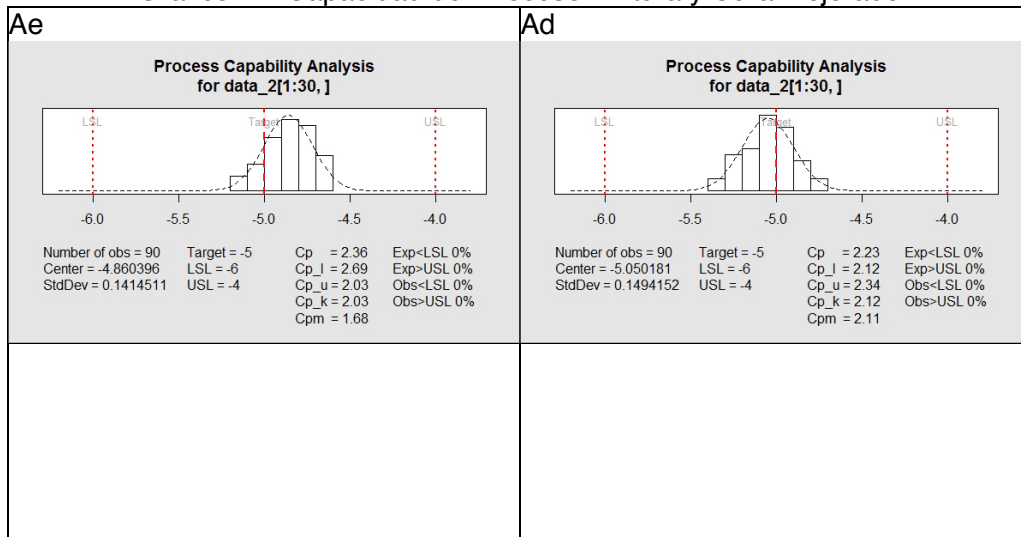
Fuente: Elaboración propia

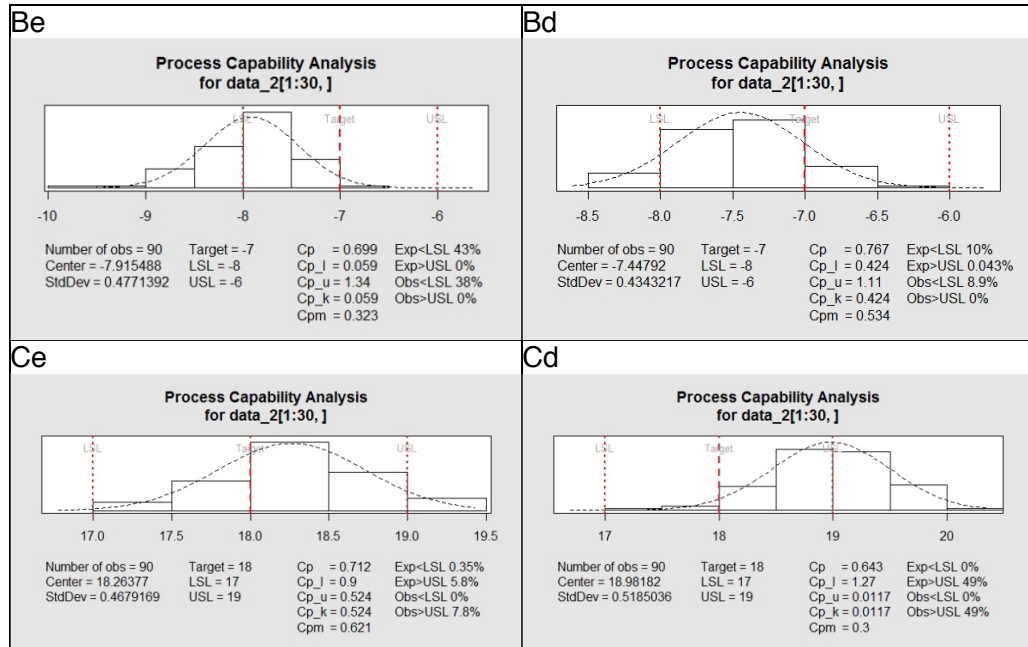
5.4.3.2 Mejora en etapa de Pintura y Cura

En esta etapa se tomó una muestra menor (207 unidades), ya que por un error del jefe de línea una parte de la muestra fue colgada en un soporte de otra pieza que es pintada en la línea, lo que generó que la lámina fuera pintada de forma muy irregular por lo cual se desestimó el análisis de estas piezas que fueron reprocesadas por la empresa.

Tal como en los análisis anteriores de Capacidad del Proceso esta etapa tuvo un impacto en la lámina, tanto negativo como positivo, los resultados de este análisis se presentan en el Gráfico 21.

Gráfico 21: Capacidad del Proceso Pintura y Cura mejorado





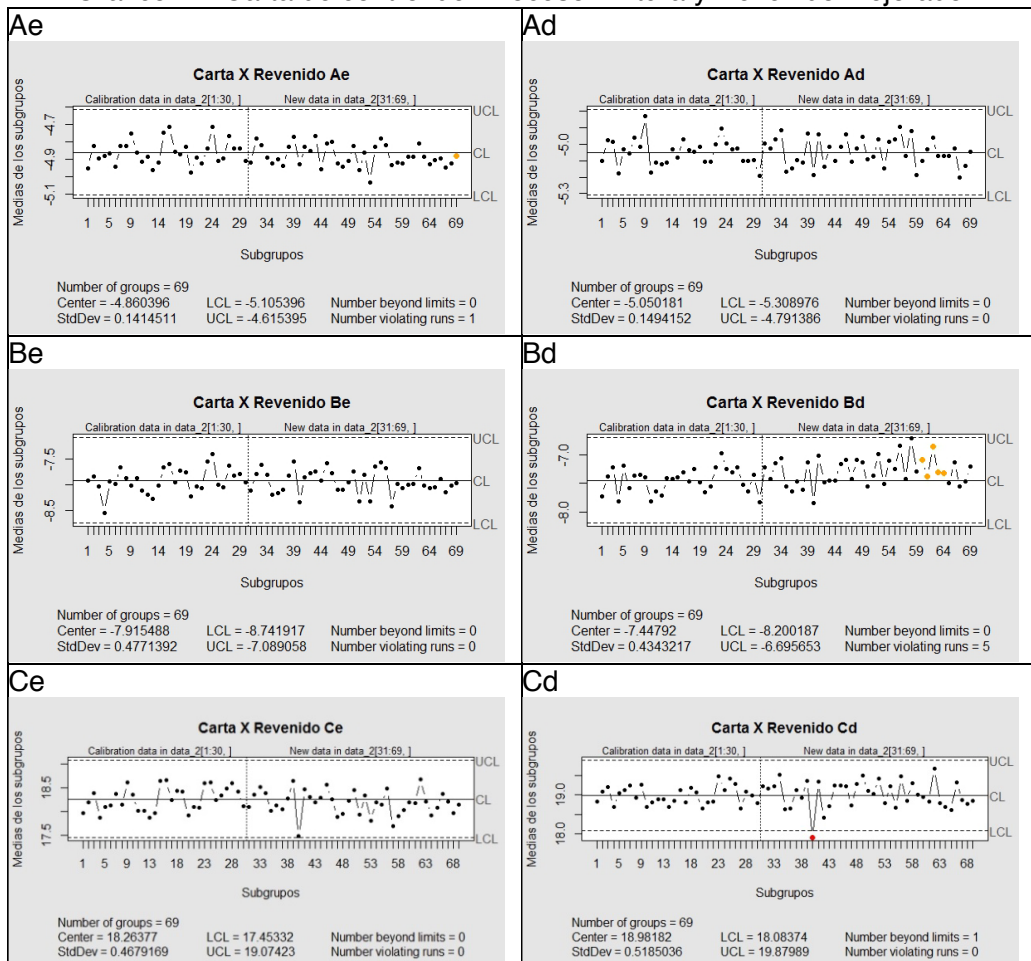
Fuente: Elaboración propia

En los puntos Ae y Ad hubo un resultado similar respecto al Estampado y al mismo proceso sin mejora. Respecto a los puntos Be y Bd tuvo un impacto negativo, ya que se descentro aún más en los dos lados, siendo el Be el más afectado, hay que señalar que este punto en verdad subió ya que las mediciones son negativas.

En lado Ce y Cd tuvieron un impacto positivo, en el lado Ce mejoro el centrado respecto al objetivo, corrigiendo el índice Cp_k de 0,366 a 0,524 y manteniendo el Cp, además bajo el promedio de 18,49 mm a 18,26 mm, comparando respecto al proceso de estampado mejorado. Respecto al lado que presenta mayores problemas el Cd también presento una mejora respecto al estampado, pasando de un promedio de 19,07 mm a 18,98 mm, el índice Cp se mantuvo en el mismo valor, y el Cp_k mejoró ligeramente pasando de -0,045 a -0,0117.

Se repite la tendencia con respecto a las cartas de control (Grafico 122), en la mayoría está bajo control estadístico, salvo en Cd y Ce donde solo tiene un punto fuera de los límites de control.

Gráfico 22: Carta de control del Proceso Pintura y Revenido Mejorado



Fuente: Elaboración propia

5.4.4 Validación de la Mejora

A continuación se realizara una comparativa entre el proceso inicial y el proceso con la mejora incluida, identificando cada proceso con sus respectivos defectos, defectos por millón de oportunidades, nivel sigma y el porcentaje de rendimiento en el cual está trabajando cada proceso.

Tabla 30: Comparativa Nivel sigma del Proceso con la Mejora

	ANTES DE LA MEJORA			
PROCESO	DEFECTOS	DPMO	SIGMA	RENDIMIENTO
CORTE	6	1.742	4,42	99,83%
TEMPERA	341	99.013	2,79	90,10%
REVENIDO	319	92.625	2,83	90,74%
	MEJORADO			
PROCESO	DEFECTOS	DPMO	SIGMA	RENDIMIENTO
CORTE	-	-	-	
TEMPERA	193	56.039	3,10	94,40%
REVENIDO	206	59.814	3,06	94,02%

Fuente: Elaboración Propia

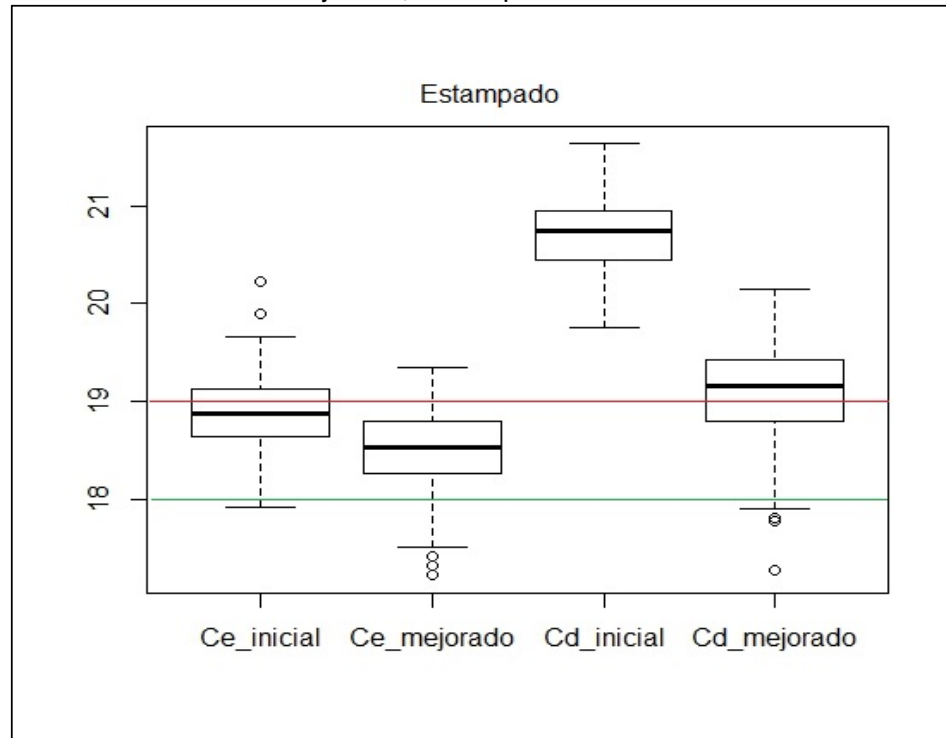
En la Tabla 30 se puede cuantificar la mejora en el proceso que provoco la acción correctiva (revisión y mantención de la matriz de estampado). Como se expuso anteriormente no se volvió a analizar la etapa Corte, ya que no se le efectuó ninguna mejora.

Como se observa en la tabla anterior, en la etapa de estampado se logró una mejora pasando de un nivel sigma de 2,79 a 3,10, lo que significa una diferencia de 0,31 sigmas, y un aumento de su rendimiento en un 4,3%. Esto se consiguió rebajando el número de defectos de 341 a 193, que en su mayoría deriva de los lados Ce y Cd. Lo mismo ocurre en la etapa de Pintura/Cura donde paso de 2,83 a 3,06 sigmas, logrando una mejora y aumentando su rendimiento en 3,28%.

De forma de observar de manera gráfica el impacto de la mejora se realizó un gráfico Boxplot comparativo de la situación inicial versus la mejorada, en el punto que presentaba las mayores dificultades, que corresponde a los puntos

C. En los gráficos se presenta una línea verde que representa el objetivo de la especificación y una línea roja que delimita el límite de la especificación.

Gráfico 23: Boxplot Comparativo Proceso de Estampado, proceso inicial y mejorado, en los puntos críticos

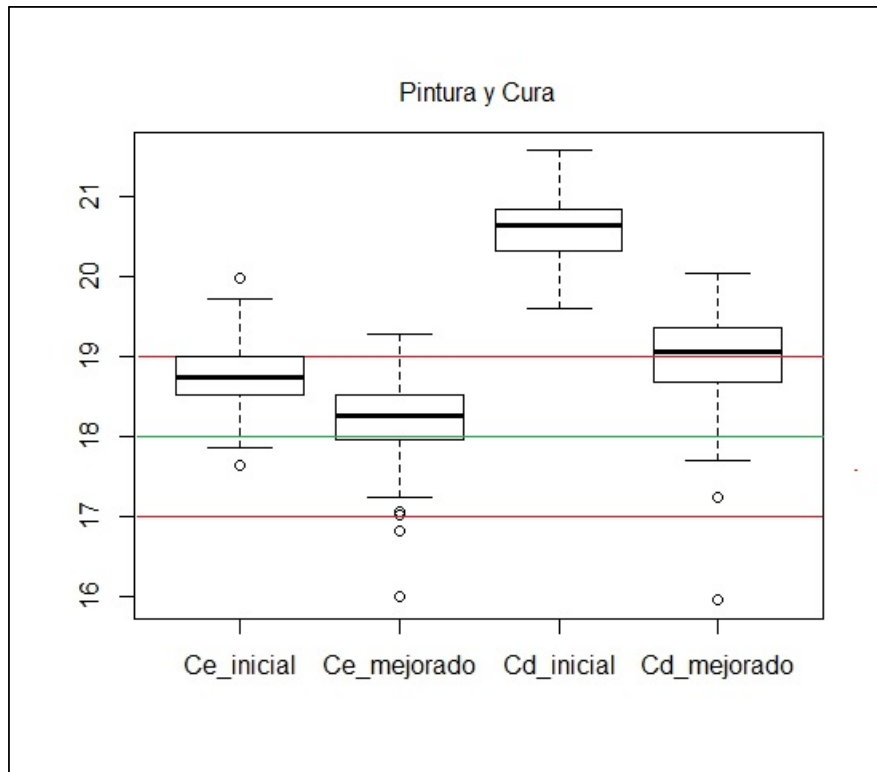


Fuente: Elaboración Propia

En el Gráfico 23 se puede observar que la mejora tuvo un impacto importante en la etapa de Estampado, mejorando tanto el punto Ce como Cd. En el punto Ce la mejora logró que más del 50% de los datos de la muestra se ubicaran dentro de los límites de especificación, mientras que en el lado Cd presentó una importante mejora, pero aun presenta problemas y está bastante alejado del objetivo.

En la etapa de Pintura/Cura, como se puede apreciar en el Gráfico 21, presenta una mejora importante en sus dos puntos, pero tal como describimos anteriormente este proceso en este punto (Ce y Cd) mejora aún más los resultados pero aumenta la variabilidad, además confirmamos la hipótesis de que el proceso de cura está alterando las dimensiones de la lámina.

Grafico 21: Boxplot Comparativo Proceso de Pintura y Cura, proceso inicial y mejorado, en los puntos críticos.



Fuente: Elaboración Propia

Aunque con la mejora realizada se lograron resultados favorables, el problema sigue existiendo, y de forma muy notoria en el lado Cd de los dos procesos analizados. Tal como se observa en la Tabla 30, los defectos por millón de oportunidades (dpmo) bajaron cerca de 100.000 a 60.000, lo cual aún es altísimo y repercute directamente en el problema descrito en esta tesis.

5.5 Fase Controlar

Cabe recordar que las fases y procedimientos del modelo DMAIC en la realidad no se compartan de manera lineal. Generalmente, los equipos de trabajo se ven en la necesidad de regresar un paso al momento de proceder a la siguiente fase. Por ejemplo, al tiempo que el equipo comienza a generar ideas, pueden darse cuenta de que necesitan regresar a la fase de análisis para ver la información una vez más.

En esta tesis efectivamente se logró una mejora del proceso productivo de láminas de corte, sin embargo aún no se alcanza el nivel 6 Sigma del proceso, lo cual quedara como un trabajo de investigación futura.

Control es la aplicación de métodos estadísticos que proporcionen una retroalimentación a través de la cual se puede comparar el desempeño de un proceso con un conjunto de estándares o límites con el fin de controlar la variación y centrado del proceso. A continuación se realizara una propuesta de control en el proceso productivo de láminas de corte:

Tabla 31: Plan de Control para el proceso productivo de láminas de corte

Nombre/Familia de Partes:				Preparado por:				Pagina: de:			
Numero de la Parte:				Aprobado por:				Documento No:			
Planta:				Aprobado por:				Fecha de Rev.:			
(Area de Taller):				Aprobado por:				Fecha prox. Rev.:			
Revision Maq/Oper.	Caracteristica/ Parametro	CTQ/CL	Especificacion/ Requerimiento	Metodo de Medicion	Tamaño de muestra	Frecuencia	Quien mide	Donde se Registra	Regla de decision / Accion	Numero de referencia	

Fuente: Filosofía 6-sigma una metodología para mejorar la calidad de productos y servicios en el sector productivo

El plan de control (Tabla 31) proporciona una descripción resumida por escrito del sistema para controlar los procesos, este refleja el resultado de todas las actividades de la fase de Control, incluyendo:

- a) Implementar Software: actualmente la empresa Tramontina no realiza un análisis estadístico en relación a la calidad de sus productos. El equipo de proyecto necesita seleccionar un Software para monitorear el proceso mejorado y asegurar un proceso estable y conforme a las

especificaciones, donde mediante gráficos de control y métodos estadísticos se garantice que el proceso esté dentro de los límites de control y especificación.

- b) Realizar – “A PRUEBA DE ERROR”: el equipo del proyecto investigara formas de realizar –a Prueba de Error- a la mejora del proceso. Al eliminar la oportunidad de error, este paso ayuda a asegurar que no ocurran errores.

Como por ejemplo:

- Revisar el software a fin de que toda la información se deba capturar antes de que el usuario pueda avanzar a la siguiente pantalla.
 - Eliminación de pasos del proceso redundantes y sin valor agregado que tienden a producir errores. Por ejemplo, doble captura de la información.
 - Código de barras para asegurarse de que la información dentro de un proceso pueda comunicarse fácilmente de una operación a la siguiente.
- c) Desarrollar el plan MSA a largo plazo: el plan de Análisis del Sistema de Medición (MSA) a largo plazo abarca todos los aspectos de la recolección de datos en relación a la medición continua de las variables de entrada y al monitoreo de alto nivel de las salidas. El MSA a largo plazo ayuda a administrar la comprensión de un proceso, ya que un proceso no se puede comprender ni controlar sin comprender la calidad de las mediciones.
- d) Realizar plan de Reacción: uno de los pasos finales en la fase de control es el desarrollo de un Plan de Reacción detallado. Cuando un proceso no está bajo control, un plan de reacción puede proporcionar un método para manejar las condiciones fuera de control, proporcionando detalles sobre las acciones que se tomarán en caso de que los gráficos de control indiquen que presenta problemas. El encargado del plan de reacción es la persona responsable del proceso.
- e) Estandarizar los procesos: el paso final en la fase de Control es actualizar los Procedimientos Estándar de Operación, documentar es un paso

necesario para asegurar que el aprendizaje obtenido a través de la mejora se comparta e institucionalice.

Nuevos procesos requieren documentación nueva o revisada en cuanto a sus componentes o actividades por dos razones:

- Como auxiliar de entrenamiento
- Como herramienta de aplicación (reduce la variación del proceso y enfatiza las mejores prácticas).

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

Mediante la utilización de la metodología DMAIC en el proceso productivo de podadoras de césped, se logró detectar que el problema radicaba en la fabricación de la Lámina de Corte del aparato. Con los estudios y análisis estadísticos aplicados se consiguió verificar que el proceso estaba produciendo fuera de los límites de especificación, lo cual repercute directamente en el cumplimiento de la normativa del INMETRO, ya que los medios de corte (lámina) del recinto deben ubicarse por lo menos 3 mm por sobre la parte baja de la base del podador, pero según los datos obtenidos de la investigación, se está produciendo en promedio 2,59 [mm] más abajo, lo que deja un margen de 0,41 [mm].

Con la detección del problema se generó una propuesta de mejora en la etapa de Estampado la cual fue aplicada y analizada, con lo cual paso de un nivel sigma inicial de 2,79 a uno mejorado de 3,10.

Además con la realización de este estudio podemos exponer las siguientes conclusiones generales:

- Mediante la diagramación y descripción del proceso productivo y la Matriz AMEF se logró establecer las etapas del proceso que conducen a potenciales fallas.
- Se identificaron los atributos dimensionales críticos del producto que tienen un impacto directo en el cumplimiento de las especificaciones del INMETRO en la lámina de corte.
- Se realizaron más de 1.150 mediciones a la lámina de corte, en la máquina de medición laser, con las que se analizaron las distintas etapas del proceso productivo, dando así una validez en relación al número de muestras estudiadas.
- Se calculó la capacidad actual del proceso y se analizó mediante herramientas estadísticas y de TQM los datos recolectados, con lo cual se determinó que el problema se encontraba en la etapa de Estampado y Pintura/Cura, y se logró descartar la etapa de Corte laser.
- Se generó y aplico una propuesta de mejora, la cual ataco directamente el origen del problema en la lámina, mejorando el desempeño del proceso.

Si bien con la aplicación de la mejora se obtuvieron resultados positivos, el problema aún existe, y con el proceso productivo actual es difícil optimizar más, recordemos que la línea donde se produce la lámina de corte está pensada y

fabricada para producir principalmente rastrillos, por lo cual la precisión no es uno de sus atributos predominantes, y como se observa en las cartas de control el proceso se encuentra bajo control en todos los casos, pero produciendo fuera de los límites de especificación, siendo estos síntomas típicos de un proceso que posee una baja precisión.

Pensar en hacer una línea productiva solo para láminas de corte resulta inviable económicamente, ya que los niveles de producción son más bien bajos, por lo cual resulta urgente generar mejoras enfocadas en cambios más profundos para conseguir el cumplimiento de la Norma impuesta. Es por esto que se sugiere a la empresa, al ver las láminas de corte de cortadoras de césped (Anexo 4) del mismo segmento (300 [mm]) de la competencia, simplificar el diseño de la lámina de corte, y dejar márgenes de especificación más acorde con la capacidad del proceso y con el cumplimiento de la norma.

Además se sugiere, con el objetivo de lograr la mejora continua, tanto para la aplicación en este problema como para otros procesos, la definición del equipo de trabajo Seis Sigma y sus diferentes roles.

CAPÍTULO 7: GLOSARIO

Cp: Capacidad de proceso.

Cpk: Centralización del proceso.

CTQ: Crítico para la calidad (*“Critical-To-Quality”*)

DMAIC: Definir-Medir-Analizar-Implementar-Controlar (*“Define-Measure-Analyze- Improve-Control”*).

DPMO: Defectos por millón de oportunidades

IEC: *International Electrotechnical Commission*

INMETRO: *Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia*

LSL: Límite de especificación inferior (*“Lower Specification Limit”*)

PPM: Partes por millón.

SIPOC: Proveedores-Entradas-Proceso-Salidas-Clientes (*“Suppliers-Inputs-Process- Outputs-Costumers”*)

UCL: Límite superior de control (*“Upper Control Limit”*).

USL: Límite de especificación superior (*“Upper Specification Limit”*)

CAPÍTULO 8: BIBLIOGRAFÍA

- (1) AMERICAN SOCIETY FOR QUALITY. *Quality Glossary* [en línea] <<http://asq.org/glossary/q.html>> [consulta: 5 noviembre 2014]
- (2) BRASIL. *Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior*. 1999. *Lei No 9.933. Dispõe sobre as competências do Conmetro e do Inmetro, institui a Taxa de Serviços Metrológicos, e dá outras providências*.
- (3) BRUSSE, W. 2004. *Statistics for Six Sigma Made Easy*. Nueva York. McGraw Hill. 250p.
- (4) CAMPOS, M.S. 2003. *Seis Sigma gerencial*. Porto Alegre. Qualitymark.
- (5) CHAHADE, W.H.L. 2009. *Aplicação da metodologia Seis Sigma para incremento da produtividade no envase de tintas decorativas*. Memoria de Mestre em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos. São Caetano do Sul, São Paulo. Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, Escola de Engenharia. 158p.
- (6) CORRÊA, H.L. Y CORRÊA, C.A. 2006. *Administração de produção e operações: manufatura e serviços :uma abordagem estratégica*. 2ª ed. São Paulo. Atlas. 690p.
- (7) DEBITOR. Definición de benchmarking [en línea] <<https://debitoor.es/glosario/definicion-de-benchmarking>> [consulta: 6 noviembre 2014]
- (8) ECKES, G. 2001. *The Six Sigma Revolution: How General Electric and Others Turned Process Into Profits*. Hoboken, NJ. Wiley. 288p.
- (9) EMPRESA TRAMONTINA. História da Tramontina [en línea] <<http://www.tramontina.com.br/institucional/historia>> [consulta: 3 noviembre 2014]
- (10) GUTIÉRREZ, H. Y DE LA VARA, R. 2009. *Control estadístico de calidad y Seis Sigma*. 2ª ed. McGraw-Hill. 502p.
- (11) HEIZER J. Y RENDER B. 2007. *Dirección de la producción y de operaciones, Decisiones estratégicas*. 8ª ed. Madrid, Pearson Educación. 616p.

- (12) HUTCHINS, G. 1997. *ISO 9000: A Comprehensive Guide to Registration, Audit Guidelines, and Successful Certification*. Wiley. 259p.
- (13) INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. 2002. *International Standard CEI IEC 60335-2-77*. 2ª ed. Ginebra, Suiza.
- (14) LOWENTHAL, J.N. 2002. *Guía para la aplicación de un proyecto Seis Sigma*. Madrid. FC Editorial.135p.
- (15) MARSHALL, I.J. 2004. *Gestão da qualiade*. 3ª ed. Rio de Janeiro. FGV. 164p.
- (16) PALADINI, P.S. 1990. *Controle de qualidade: uma abordagem abrangente*. São Paulo. Atlas.
- (17) RATH & STRONG (ORG.) 2001. *Six Sigma Pocket Guide*. 2ª ed. Lexington. 192p.
- (18) SIX SIGMA FOR DUMMIES. 2005. Por Neil DeCarlo "et al". Hoboken, NJ. Wiley. 362p.
- (19) SNEE, R. 2001. *Dealing with the achilles, heel of six sigma initiatives*. Quality Progress.
- (20) TAGHIZADEGAN, S. 2006 *Essential of Lean Six Sigma*. Oxford. Elsevier.
- (21) THE SIX SIGMA WAY. 2001. Por Peter S. Pande "et al". 2ª ed. McGraw Hill Professional. 448p.
- (22) VARAS, C.A. *Aplicación de metodología DMAIC para la mejora de procesos y reducción de pérdidas en las etapas de fabricación de chocolate*. Memoria de Ingeniero de Alimentos. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. 86p.
- (23) VAZQUEZ, J.I. 2005. *Filosofía 6-Sigma una metodología para mejorar la calidad de productos y servicios en el sector productivo*. Tesis de Ingeniero en Robótica Industrial. México D.F. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. 98p.
- (24) WERKEMA, C. 2002. *Criando a cultura Seis Sigma*. Rio de Janeiro. Qualitymark. 253p.

(25) WIKIPEDIA. Tramontina [en línea] <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Tramontina>> [consulta: 3 noviembre 2014].

(26) ZULOAGA, H. [201-]. Metodología DMAIC [Diapositiva]. Valparaíso, Chile. Facultad de Ingeniería, Universidad de Valparaíso.

CAPÍTULO 9: ANEXOS

ANEXO 1

INTERNATIONAL STANDARD CEI IEC 60335-2-77

House hold and similar electrical appliances-Safety

Part 2-77: Particular requirements for pedestrian controlled mains-operated lawnmowers

20. Stability and mechanical hazards

20.103 Requirements for rotary mowers

20.103.1 Cutting means enclosure

20.103.1.1 General

The **cutting means enclosure** means enclosure shall extend at least 3 mm below the plane of the **cutting means tip circle**, except as allowed in 20.103.1.2 and at the grass **discharge opening**. The bolt heads of **cutting means** securing screws may extend below the **cutting means enclosure** providing these are located within the inner 50% **cutting means tip circle** diameter.

Any extension of the wall(s) of the **cutting means enclosure** adjacent to the **discharge opening**, including walls of the **discharge chute**, not meeting this requirement shall be considered as part of the **discharge opening**. The wall(s) shall be tested by the foot probe (see 20.103.4) and meet all the other requirements of this standard.55

20.103.1.1 Front opening

Front opening may be provided on appliances having a **cutting width** of 600 mm or greater.

Where provide, such opening shall not exceed either the **cutting width** or the opening generated by two radial lines extending from the cutting means spindle(s) Centre(s) at an angle of 50° to the direction of travel where these lines meet the enclosure, whichever is the smaller. (See figures A and B of figures 102 and 103.)

The highest point of all opening in the **cutting means enclosure** at the front, except the discharge openings, shall be limited by a vertical angle of opening of 15° and a maximum distance of 30 mm above the horizontal plane of the **cutting means** in the lowest **cutting means** position. The highest point in the openings of a front comb or rake arrangement shall be considered as a point on the bottom edge of the cutting means enclosure front. (See views A and B of figures 102 and 103.)

20.103.1.2 Discharge openings (chutes)

When open **discharge chutes** are provided, no tangential line from the **cutting means tip circle** in or above the plane of the **cutting means tip circle** and in the direction of rotation of the **cutting means** shall intersect the operator target area without first contacting the **cutting means enclosure of guard**.

20.103.1.4 Guards and grass catchers

Swinging **guards** of **guards** which have to be displaced in order to fit the grass catcher shall automatically return to the full guard position when the **grass catcher** is removed. The **guards** shall be considered as forming part of the **cutting means enclosure**.

20.103.2 Cutting means stopping

20.103.2.1 Cutting means stopping time

On appliances up to and including 600 mm **cutting width**, the **cutting means** shall stop from their maximum rotational speed within 3 s after the operator releases the **controls**.

On appliances, over 600 mm **cutting width**, the **stopping time** shall be 5 s.

20.103.2.2 Life expectancy of cutting means stopping mechanism

The **cutting means** stopping mechanism shall meet the required stop time over the life expectancy of the appliance between major overhauls as recommended by the manufacturer. The test shall consist of at least 5 000 on and off cycles at a rate to be specified by the manufacturer.

20.103.3 Thrown object hazard

Appliances shall be so constructed to provide in **intended use** adequate protection against risk of injury to persons from foreign objects that may be thrown out by the rotating **cutting means**.

Compliance is checked by the following test:

The appliance is placed in the test enclosure described in Annex BB with the base of the enclosure being as described in Annex CC. The target panel construction used shall be checked by the tests in Clause BB.2 immediately before and after this test. The target panels shall be divided into elevation zones by horizontal lines as indicated in figure BB.1 and described in Annex DD.

The projectiles used in the are 6,35 mm diameter balls of hardened steel 45 HCR minimum (e.g. balls used as ball bearings).

*Injection points for the projectiles shall be provided at the 12 o'clock position as in figures BB.2 and BB.3 and located 25 mm +/- 5 mm inside the **cutting means tip circle** for injection of projectiles. An injection point shall be provided for each **cutting means** of a multi-spindle appliance.*

The injection tube outlets shall be fixed and flush with the upper surface of the coconut mat (see Figure CC.1) and the system shall be so arranged that the ball may be ejected with variable velocity.

*Where necessary, the appliance may be elastically restrained at the **handle** to prevent horizontal movement.*

*During the tests, the appliance shall be operated at **maximum operating motor speed** (as defined in 3,123).*

*Test are conducted for each **cutting means** assembly.*

The appliance shall be tested in al operational configurations, for example, both with and without attachments and accessories such as grass collectors or mulching parts.

NOTE 1: Test personnel should either be kept out of the test area or otherwise protected from the **hazard of the thrown objects**.

*The **cutting means** should be adjusted to a 30 mm cut height or the next higher cutting position when set on a hard level surface. Appliances with a maximum height setting of 30 mm or less shall be set at their maximum height setting.*

Before the test, adjust the velocity with which the ball is ejected so that the ball rises not less than 30 mm above the surface of the coconut matting and within an angle of 10° of the vertical axis. Then with the appliance in place, allow balls one at a time into the appliance. Increase the velocity of the balls is small

increments until each ball is hit by the appliance **cutting means**. Start the test when this minimum velocity is established. Chipped or damaged balls shall be replaced.

Inject 500 projectiles into each injection point for each test. On multi-spindle appliances, the test shall be run for each spindle with the results evaluated for each test.

During any of the tests, in the event of excessive **hits** in a localized area, it may be necessary to repair or replace the target before continuing with the tests. Replace the target panels if hits from previous test leave holes that cannot be covered by a 40 mm square gummed label. Not more than one thickness of gummed labels (patch) shall be placed over any one area.

Balls remaining within the test fixture (or on the test surface) may be removed at the option of the tester to minimize ricochet **hits**.

If a retest is required, a new **cutting means** shall be used for each test (500 projectiles) unless the **cutting means** is not damaged by impact with projectiles.

NOTE 2: The test does not require that the appliance be suitable for use after test

Count and record **hits** on the data sheet shown in Annex DD. Projectiles that hit and damage the centerline of the target area height line shall be scored with the target area below that line.

For **cutting width** equal to and less than 600 mm, for each test (500 projectiles), not more than 40 projectiles shall **hit** the target between the base and the 450mm line (lower and middle elevation area) of which not more than six may **hit** the target above the 300 mm line (middle elevation area). There shall be no **hits** above the 450 mm line (top elevation area) and not more than two **hits** in the operator target area between the base and the 450 mm line.

For cutting width greater than 600 mm, for each test (500 projectiles), not more than 50 projectiles shall hit the target between the base and the 450 mm line (lower and middle elevation area) of which not more than six may hit target above the 300 mm line (middle elevation area). There shall be no hits above the 450 mm line (top elevation area) and not more than two hits in the operator target area between the base and the 450 mm line.

In the event of a test failure, two additional appliances may be tested both of which shall then pass the test.

ANEXO 2

LEI Nº 9.933, DE 20 DE DEZEMBRO DE 1999

DOU de 21.12.1999

Dispõe sobre as competências do Conmetro e do Inmetro, institui a Taxa de Serviços Metrológicos, e dá outras providências.

O PRESIDENTE DA REPÚBLICA Faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

Art. 1º Todos os bens comercializados no Brasil, insumos, produtos finais e serviços, sujeitos a regulamentação técnica, devem estar em conformidade com os regulamentos técnicos pertinentes em vigor.

Art. 2º O Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - Conmetro, órgão colegiado da estrutura do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, criado pela Lei nº 5.966, de 11 de dezembro de 1973, é competente para expedir atos normativos e regulamentos técnicos, nos campos da Metrologia e da Avaliação da Conformidade de produtos, de processos e de serviços.

§ 1º Os regulamentos técnicos deverão dispor sobre características técnicas de insumos, produtos finais e serviços que não constituam objeto da competência de outros órgãos e de outras entidades da Administração Pública Federal, no que se refere a aspectos relacionados com segurança, prevenção de práticas enganosas de comércio, proteção da vida e saúde humana, animal e vegetal, e com o meio ambiente.

§ 2º Os regulamentos técnicos deverão considerar, quando couber, o conteúdo das normas técnicas adotadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Art. 3º O Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - Inmetro, autarquia vinculada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, criado pela Lei nº 5.966, de 1973, é competente para:

I - elaborar e expedir regulamentos técnicos nas áreas que lhe forem determinadas pelo Conmetro;

II - elaborar e expedir, com exclusividade, regulamentos técnicos na área de Metrologia, abrangendo o controle das quantidades com que os produtos, previamente medidos sem a presença do consumidor, são comercializados, cabendo-lhe determinar a forma de indicação das referidas quantidades, bem assim os desvios tolerados;

III - exercer, com exclusividade, o poder de polícia administrativa na área de Metrologia Legal;

IV - exercer o poder de polícia administrativa na área de Avaliação da Conformidade, em relação aos produtos por ele regulamentados ou por competência que lhe seja delegada;

V - executar, coordenar e supervisionar as atividades de Metrologia Legal em todo o território brasileiro, podendo celebrar convênios com órgãos e entidades congêneres dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios para esse fim.

Art. 4º O Inmetro poderá delegar a execução de atividades de sua competência.

Parágrafo único. No que se refere às atribuições relacionadas com a Metrologia Legal e a Certificação Compulsória da Conformidade, dotadas de poder de polícia administrativa, a delegação ficará restrita a entidades públicas que reúnam os atributos necessários para esse cometimento.

Art. 5º As pessoas naturais e as pessoas jurídicas, nacionais e estrangeiras, que atuem no mercado para fabricar, importar, processar, montar, acondicionar ou comercializar bens, mercadorias e produtos e prestar serviços ficam obrigadas à observância e ao cumprimento dos deveres instituídos por esta Lei e pelos atos normativos e regulamentos técnicos e administrativos expedidos pelo Conmetro e pelo Inmetro.

Art. 6º É assegurado ao agente público fiscalizador acesso à empresa sob fiscalização, a qual se obriga a prestar, para tanto, as informações necessárias, desde que com o objetivo de verificação do controle metrológico e da qualidade de produtos, bem assim o ingresso nos locais de armazenamento, transporte, exposição ou venda de produtos.

Art. 7º Constituir-se-á em infração a esta Lei, ao seu regulamento e aos atos normativos baixados pelo Conmetro e pelo Inmetro a ação ou omissão

contrária a qualquer dos deveres jurídicos instituídos por essas normas nos campos da Metrologia Legal e da Certificação Compulsória da Conformidade de produtos, de processos e de serviços.

Parágrafo único. Será considerada infratora das normas legais mencionados no *caput* deste artigo a pessoa natural ou a pessoa jurídica, nacional ou estrangeira, que, no exercício das atividades previstas no art. 5º, deixar de cumprir os deveres jurídicos pertinentes a que estava obrigada.

Art. 8º Caberá ao Inmetro e às pessoas jurídicas de direito público que detiverem delegação de poder de polícia processar e julgar as infrações, bem assim aplicar aos infratores, isolada ou cumulativamente, as seguintes penalidades:

I - advertência;

II - multa;

III - interdição;

IV - apreensão;

V - inutilização.

Parágrafo único. Na aplicação das penalidades e no exercício de todas as suas atribuições, o Inmetro gozará dos privilégios e das vantagens da Fazenda Pública.

Art. 9º A pena de multa, imposta mediante procedimento administrativo, obedecerá os seguintes valores:

I – nas infrações leves, de R\$ 100,00 (cem reais) até R\$ 50.000,00 (cinquenta mil reais);

II – nas infrações graves, de R\$ 200,00 (duzentos reais) até R\$ 750.000,00 (setecentos e cinquenta mil reais);

III – nas infrações gravíssimas, de R\$ 400,00 (quatrocentos reais) até R\$ 1.500.000,00 (um milhão e quinhentos mil reais).

§ 1º Na aplicação da penalidade de multa, a autoridade competente levará em consideração, além da gravidade da infração:

I - a vantagem auferida pelo infrator;

II - a condição econômica do infrator e seus antecedentes;

III - o prejuízo causado ao consumidor.

§ 2º As multas previstas neste artigo poderão ser aplicadas em dobro em caso de reincidência.

§ 3º O regulamento desta Lei fixará os critérios e procedimentos para aplicação das penalidades de que trata o art. 8º e de graduação da multa prevista neste artigo.

§ 4º Os recursos eventualmente interpostos contra a aplicação das penalidades previstas neste artigo e no art. 8º deverão ser devidamente fundamentados e serão apreciados, em última instância, por comissão permanente instituída pelo Conmetro para essa finalidade.

§ 5º Caberá ao Conmetro definir as instâncias e os procedimentos para os recursos, bem assim a composição e o modo de funcionamento da comissão permanente.

Art. 10. Os produtos apreendidos em caráter definitivo, por força de penalidade aplicada, de que já não caiba recurso na esfera administrativa, quando não devam ser destruídos, serão doados a programas de amparo social desenvolvidos pelo Poder Público ou a instituições de educação ou assistência social reconhecidas como entidades beneficentes, vedada a sua comercialização.

Art. 11. É instituída a Taxa de Serviços Metrológicos, que tem como fato gerador o exercício do poder de polícia administrativa na área de Metrologia Legal pelo Inmetro e pelas entidades de direito público que detiverem delegação.

§ 1º A Taxa de Serviços Metrológicos, cujos valores constam da tabela anexa a esta Lei, tem como base de cálculo a apropriação dos custos diretos e

indiretos inerentes às atividades de controle metrológico de instrumentos de medição.

§ 2º As pessoas naturais e as pessoas jurídicas, nacionais ou estrangeiras, que estejam no exercício das atividades previstas no art. 5º desta Lei, serão responsáveis pelo pagamento da Taxa de Serviços Metrológicos.

Art. 12. O art. 5º da Lei nº 5.966, de 1973, passa a vigor com a seguinte redação:

"Art. 5º O Inmetro é o órgão executivo central do Sistema definido no art. 1º desta Lei, podendo, mediante autorização do Conmetro, credenciar entidades públicas ou privadas para a execução de atividades de sua competência." (NR)

Art. 13. Fica revogado o art. 9º da Lei nº 5.966, de 11 de dezembro de 1973.

Art. 14. Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.

Brasília, 20 de dezembro de 1999; 178º da Independência e 111º da República.

FERNANDO HENRIQUE CARDOSO
Alcides Lopes Tápias

ANEXO 3

Tabla comparativa de nivel sigma con DPMO (Defectos por millón de oportunidades) y rendimiento (Fuente: Rath y Strong, 2001).

Sigma	DPMO	Rendimiento	Sigma	DPMO	Rendimiento
6	3.4	99.99966%	2.9	80,757	91.9%
5.9	5.4	99.99946%	2.8	96,801	90.3%
5.8	8.5	99.99915%	2.7	115,070	88.5%
5.7	13	99.99866%	2.6	135,666	86.4%
5.6	21	99.9979%	2.5	158,655	84.1%
5.5	32	99.9968%	2.4	184,060	81.6%
5.4	48	99.9952%	2.3	211,855	78.8%
5.3	72	99.9928%	2.2	241,964	75.8%
5.2	108	99.9892%	2.1	274,253	72.6%
5.1	159	99.984%	2	308,538	69.1%
5	233	99.977%	1.9	344,578	65.5%
4.9	337	99.966%	1.8	382,089	61.8%
4.8	483	99.952%	1.7	420,740	57.9%
4.7	687	99.931%	1.6	460,172	54.0%
4.6	968	99.90%	1.5	500,000	50.0%
4.5	1,350	99.87%	1.4	539,828	46.0%
4.4	1,866	99.81%	1.3	579,260	42.1%
4.3	2,555	99.74%	1.2	617,911	38.2%
4.2	3,467	99.65%	1.1	655,422	34.5%
4.1	4,661	99.53%	1	691,462	30.9%
4	6,210	99.38%	0.9	725,747	27.4%
3.9	8,198	99.18%	0.8	758,036	24.2%
3.8	10,724	98.9%	0.7	788,145	21.2%
3.7	13,903	98.6%	0.6	815,940	18.4%
3.6	17,864	98.2%	0.5	841,345	15.9%
3.5	22,750	97.7%	0.4	864,334	13.6%
3.4	28,716	97.1%	0.3	884,930	11.5%
3.3	35,930	96.4%	0.2	903,199	9.7%
3.2	44,565	95.5%	0.1	919,243	8.1%

ANEXO 4

Láminas de corte de podadoras de césped de otras empresas. (Fuente: elaboración propia)



