

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y
AGROINDUSTRIA

MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DE LA LÍNEA DE
EXTRUSIÓN DE LA EMPRESA CEDAL, EMPLEANDO LA
METODOLOGÍA “SIX SIGMA”

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DE GRADO DE MAGÍSTER (MSc.) EN
INGENIERÍA INDUSTRIAL Y PRODUCTIVIDAD

LUIS ALFREDO GARCÉS MUÑOZ

garces3000@hotmail.com

DIRECTOR: ING. PABLO ALBERTO VALLEJO TEJADA

pvallejo67@gmail.com

Quito, noviembre 2016

© Escuela Politécnica Nacional 2016
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Ing. Luis Alfredo Garcés Muñoz, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Luis Alfredo Garcés Muñoz

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Ing. Luis Alfredo Garcés Muñoz, bajo mi supervisión.

Ing. Pablo Alberto Vallejo Tejada
DIRECTOR DE PROYECTO

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a Dios que con su precioso manto siempre me cuida, protege y guía por el sendero de la vida, a mis amados padres por su dedicación y tiempo en cuidarme toda su vida, a mis amados hermanos que siempre han demostrado su amor y paciencia en todas las etapas de mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	xii
INTRODUCCIÓN	xiv
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 METODOLOGÍA “SIX SIGMA”	1
1.1.1 Antecedentes del “Six Sigma”	1
1.1.2 Principios del “Six Sigma”	2
1.1.3 Componentes del “Six Sigma”	7
1.1.4 Variabilidad del Proceso	8
1.1.5 Etapas de la metodología “Six Sigma”	9
1.1.6 Productividad	11
1.2 HERRAMIENTAS DMAMC	13
1.2.1 Herramientas fase definir	13
1.2.2 Herramientas fase Medir	16
1.2.3 Herramientas fase analizar	27
1.2.4 Herramientas fase mejorar	27
1.2.5 Herramientas fase controlar	27
1.3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS	27
1.3.1 Conceptos y distribuciones básicas de probabilidad	27
1.3.2 Conceptos básicos del diseño de experimentos	28
1.3.3 Diseño factorial	30
1.3.4 Diseño factorial 2 ³	30
1.4 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	31
1.4.1 Antecedentes de la empresa	31
1.4.2 Estrategia empresarial	32
1.4.3 Estrategia de mercado	33
1.4.4 Procesos de producción de perfiles de aluminio	34
1.4.5 Productos	38
2. PARTE EXPERIMENTAL	39
2.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN INICIAL	39
2.1.1 Situación inicial de la cantidad de rechazos de material no conforme	39
2.1.2 Situación inicial de la productividad en la fabricación de perfiles extruidos	40
2.1.3 Situación inicial de la eficacia de la producción en el proceso de extrusión	40
2.1.4 Situación inicial de la eficiencia del tiempo de entrega de perfiles extruidos	41

2.2 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE RECHAZOS POR PRODUCTOS NO CONFORMES	41
2.2.1 Fase Definir	41
2.2.2 Fase Medir	42
2.2.3 Fase Analizar	42
2.2.4 Fase Mejorar	42
2.2.5 Fase Controlar	47
2.3 ESTUDIO DE LA PRODUCTIVIDAD EN LA FABRICACIÓN DE PERFILES EXTRUIDOS	47
2.3.1 Fase definir	47
2.3.2 Fase Medir	47
2.3.3 Fase analizar	47
2.3.4 Fase Mejorar	47
2.3.5 Fase Controlar	47
2.4 ANÁLISIS DE LA EFICACIA DE LA PRODUCCIÓN EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN	47
2.4.1 Fase definir	47
2.4.2 Fase Medir	47
2.4.3 Fase analizar	47
2.4.4 Fase Mejorar	47
2.4.5 Fase Controlar	47
2.5 ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL TIEMPO DE ENTREGA DE PERFILES EXTRUIDOS	47
2.5.1 Fase definir	47
2.5.2 Fase Medir	47
2.5.3 Fase analizar	47
2.5.4 Fase Mejorar	47
2.5.5 Fase Controlar	47
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
3.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN INICIAL	47
3.1.1 Situación inicial de la cantidad de rechazos de material no conforme	47
3.1.2 Situación inicial de la productividad en la fabricación de perfiles extruidos	47
3.1.3 Situación actual de la eficacia de la producción en el proceso de extrusión	67
3.1.4 Situación actual de la eficiencia del tiempo de entrega de perfiles extruidos	71
3.2 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE RECHAZOS POR PRODUCTOS NO CONFORMES	76
3.2.1 Fase Definir	77
3.2.2 Fase Medir	78
3.2.3 Fase Analizar	87
3.2.4 Fase Mejorar	88
3.2.5 Fase Control	97
3.2.6 Resultados alcanzados	100

3.2.7	Situación de la cantidad de rechazos de material no conforme con mejoras	101
3.3	ESTUDIO DE LA PRODUCTIVIDAD EN LA FABRICACIÓN DE PERFILES EXTRUIDOS	107
3.3.1	Fase Definir	107
3.3.2	Fase Medir	107
3.3.3	Fase analizar	107
3.3.4	Fase Mejorar	109
3.3.5	Fase Control	119
3.3.6	Resultados alcanzados	119
3.3.7	Indicador de productividad del proceso de extrusión con mejoras	120
3.4	ANÁLISIS DE LA EFICACIA DE LA PRODUCCIÓN EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN	121
3.4.1	Fase Definir	121
3.4.2	Fase Medir	123
3.4.3	Fase analizar	123
3.4.4	Fase Mejorar	124
3.4.5	Fase controlar	125
3.4.6	Indicador de la eficacia de producción del proceso de extrusión con mejoras	126
3.5	ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL TIEMPO DE ENTREGA DE PERFILES EXTRUIDOS	129
3.5.1	Fase Definir	129
3.5.2	Fase medir	129
3.5.3	Fase analizar	131
3.5.4	Fase mejorar	132
3.5.5	Fase Control	141
3.5.6	Resultados alcanzados	143
3.5.7	Indicador de la eficiencia del tiempo de entrega de perfiles extruidos con mejoras	144
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	148
4.1	CONCLUSIONES	148
4.2	RECOMENDACIONES	152
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	154
	ANEXOS	157

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1.1 Actores y roles en “Six Sigma”	5
Tabla 1.2 Relación entre el nivel de sigmas de un proceso y los costos de calidad	7
Tabla 1.3 Valores de Cp y su interpretación	19
Tabla 3.1 Cantidad de material no conforme del proceso de extrusión en el primer semestre del año 2015	51
Tabla 3.2 Producción neta de perfiles extruidos en el primer semestre del año 2015	52
Tabla 3.3 Producto no conforme de perfiles extruidos en el primer semestre del año 2015	53
Tabla 3.4 Datos acumulados del material extruido no conforme y producción neta	54
Tabla 3.5 Indicador de rechazos diferencial y acumulado en el primer semestre del año 2015	54
Tabla 3.6 Horas – Hombre trabajadas y peso neto extruido en el primer semestre 2015	56
Tabla 3.7 Datos acumulados de las variables peso neto extruido y hora-hombre trabajadas en el primer semestre del año 2015	57
Tabla 3.8 Indicador de productividad diferencial y acumulada en el primer semestre del año 2015	58
Tabla 3.9 Recopilación de tiempos estándar de las actividades del proceso de extrusión según expertos	62
Tabla 3.10 Resumen de actividades del proceso de extrusión según la simbología básica de registro	67
Tabla 3.11 Resumen del peso neto producido y el peso de material programados del primer semestre del 2015	70
Tabla 3.12 Planificación del tiempo de entrega de perfiles extruidos en el primer semestre del 2015	74
Tabla 3.13 Tiempo de entrega real y planificado acumulado de perfiles extruidos en el primer semestre del 2015	75
Tabla 3.14 Recolección de datos para estudio R&R de la variable dureza	81
Tabla 3.15 Subgrupos de las mediciones de dureza en la perfilera	85
Tabla 3.16 Niveles de los factores vitales de la variable dureza	88

Tabla 3.17	Subgrupos de las mediciones de dureza con la implementación de mejoras	97
Tabla 3.18	Subgrupos de mediciones de dureza para fase de control	99
Tabla 3.19	Resultados alcanzados con la implementación de las fases DMAIC	100
Tabla 3.20	Cantidad de material no conforme del proceso de extrusión en el segundo semestre del año 2015	102
Tabla 3.21	Producción neta de perfiles extruidos en el segundo semestre del año 2015	103
Tabla 3.22	Producción no conforme de perfiles extruidos en el segundo semestre del año 2015	104
Tabla 3.23	Datos acumulados del material extruido no conforme y producción neta del año 2015	105
Tabla 3.24	Indicador de rechazos diferencial y acumulado del año 2015	105
Tabla 3.25	Análisis de las actividades del proceso de extrusión	112
Tabla 3.26	Resumen de actividades del proceso de extrusión según la simbología básica de registro con mejoras implementadas al proceso de extrusión	118
Tabla 3.27	Resultados alcanzados con la implementación de las fases DMAIC y el estudio de métodos y tiempos	119
Tabla 3.28	Resumen del peso neto producido y peso de material programado del primer y segundo semestre del 2015	128
Tabla 3.29	Datos recolectados de las variables resistencia a la tracción y dureza de las semanas de producción 22 y 23 del año 2015	135
Tabla 3.30	Tiempo de entrega de lotes de producción del proceso de extrusión a los procesos de anodizado y pintura de los meses de julio a octubre del 2015	139
Tabla 3.31	Tiempo de entrega de lotes de producción del proceso de extrusión a los procesos de anodizado y pintura en el segundo semestre del 2015	142
Tabla 3.32	Resultados alcanzados con la implementación de las fases DMAIC	144
Tabla 3.33	Tiempo de entrega real y planificado acumulados de perfiles extruidos en el primer y segundo semestre del 2015	145
Tabla A II.1	Catálogo de defectos de calidad del proceso de extrusión	159

Tabla A III.1	Métodos de pronósticos de la producción en el proceso de extrusión para el año 2015	164
Tabla A III.2	Cálculo del error en los métodos de pronósticos de producción en el proceso de extrusión	166
Tabla A IV.1	Simulación de Montecarlo del método de muestreo del trabajo	167
Tabla A VI.1	Datos acumulados variables peso neto extruido y hora-hombre trabajadas en el primer y segundo semestre del año 2015	170
Tabla A VII.1	Indicador de productividad diferencial y acumulada en el primer y segundo Semestre del año 2015	172

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1.1 Nivel de defectos por millón producidos de acuerdo al nivel sigma de calidad implementado en las organizaciones	2
Figura 1.2 Estructura directiva y técnicas “Six Sigma”	3
Figura 1.3 Las cinco etapas en la realización de un proyecto “Six Sigma”	6
Figura 1.4 La variabilidad de un proceso. Cada M aporta una parte, no necesariamente igual, de la variación total observada	9
Figura 1.5 Modelo de las fases del “Six Sigma”	10
Figura 1.6 Tipos de Histogramas	14
Figura 1.7 Ejemplo del diagrama de Pareto	14
Figura 1.8 Símbolos utilizados en el diagrama de flujo y SIPOC	16
Figura 1.9 Fuentes de variabilidad en las mediciones	17
Figura 1.10 Porcentaje de concentración de datos según la regla empírica	18
Figura 1.11 Ejemplo del diagrama de Ishikawa o causa – efecto	21
Figura 1.12 Esquema general de actividades para realizar un AMEF	22
Figura 1.13 Ejemplo de la metodología de Lluvia de Ideas	23
Figura 1.14 Idea y elementos de una carta de control	24
Figura 1.15 Ejemplo distribución binomial	27
Figura 1.16 Ejemplo distribución Normal	28
Figura 1.17 Diseño factorial 2^3 y su representación geométrica	31
Figura 1.18 Fotografía del horno del proceso de fundición	34
Figura 1.19 Fotografía de un tocho de aluminio	35
Figura 1.20 Fotografía de prensa hidráulica de extrusión	36
Figura 1.21 Fotografía del proceso de anodizado	37
Figura 1.22 Fotografía del proceso de pintura	37
Figura 1.23 Fotografía del proceso de empaque	38
Figura 3.1 Pareto de los defectos de calidad por causa del primer semestre del año 2015 en el proceso de extrusión	52

Figura 3.2	Análisis de tendencia del KPI rechazos en el primer semestre del año 2015	55
Figura 3.3	Análisis de tendencia del KPI productividad en el primer semestre del año 2015	59
Figura 3.4	Diagrama de Flujo actual del proceso de extrusión	60
Figura 3.5	Cursograma analítico de operaciones actual del proceso de extrusión	65
Figura 3.6	KPI eficacia de la producción del proceso de extrusión del primer semestre 2015	71
Figura 3.7	KPI de eficiencia en el tiempo de entrega de perfiles extruidos en el primer semestre del 2015	76
Figura 3.8	Diagrama SIPOC Macro del proceso de extrusión	80
Figura 3.9	ANOVA del estudio R&R de la variable Dureza con el uso del software MINITAB 16	81
Figura 3.10	Gráfica de interacción entre partes y operadores en estudio R&R con el uso del software MINITAB 16	82
Figura 3.11	Gráfica de interacción por operador en estudio R&R con el uso del software MINITAB 16	82
Figura 3.12	Gráfica de medias y rangos por operador en estudio R&R con el uso del software MINITAB 16	83
Figura 3.13	Gráfica de la capacidad y estabilidad del proceso de extrusión con el uso del software MINITAB 16	85
Figura 3.14	Diagrama de Ishikawa del defecto de dureza del proceso de extrusión con el uso del software MINITAB 16	87
Figura 3.15	Aleatorización y resultados del porcentaje de aceptación del experimento con el uso del software STATGRAPHICS	91
Figura 3.16	Efectos estimados con el uso del software STATGRAPHICS	91
Figura 3.17	Diagrama de Pareto Estandarizado de los efectos estimados con el uso del software STATGRAPHICS	92
Figura 3.18	ANOVA de los efectos significativos y no significativos con el uso del software STATGRAPHICS	93
Figura 3.19	ANOVA de los efectos significativos con el uso del software STATGRAPHICS	93
Figura 3.20	Coefficientes de regresión para la variable de salida con el uso del software STATGRAPHICS	94

Figura 3.21	Análisis de estimados ajustados con el uso del software STATGRAPHICS	95
Figura 3.22	Gráfica de la capacidad y estabilidad del proceso de extrusión con implementación de mejoras con el uso del software MINITAB 16	98
Figura 3.23	Carta de control de dureza en fase control con el uso del software MINITAB 16	100
Figura 3.24	Pareto de los defectos de calidad por causa del segundo semestre del año 2015 en el proceso de extrusión	103
Figura 3.25	Análisis de tendencia del KPI rechazos en el año 2015	106
Figura 3.26	Diagrama de Ishikawa del efecto tiempo de ciclo extendido con el uso del software MINITAB 16	109
Figura 3.27	Fotografía de la bodega del proceso de extrusión para almacenamiento temporal de tochos de aluminio	110
Figura 3.28	Cursograma analítico de actividades con implementación de mejoras	114
Figura 3.29	Análisis de tendencia del KPI productividad en el primer y segundo semestre del año 2015	122
Figura 3.30	Diagrama de Ishikawa del efecto disminución de la eficacia de la producción con el uso del software MINITAB 16	123
Figura 3.31	KPI eficacia de la producción del proceso de extrusión del primer y segundo semestre 2015	129
Figura 3.32	Gráfica de capacidad y estabilidad del proceso de extrusión en cuanto a eficiencia de entrega del primer semestre 2015 con el uso del software MINITAB 16	130
Figura 3.33	Diagrama de Ishikawa del efecto incumplimiento de la eficiencia del tiempo de entrega de material con el uso del software MINITAB 16	132
Figura 3.34	Diagrama de dispersión de las variables resistencia a la tracción y dureza con el uso del software MINITAB 16	136
Figura 3.35	Gráfica de línea ajustada de las variables resistencia a la tracción y dureza con el uso del software MINITAB 16	136
Figura 3.36	Gráfica de residuos de las variables de resistencia a la tracción y dureza con el uso del software MINITAB 16	137

Figura 3.37	Gráfica de la capacidad y estabilidad con mejoras en la eficiencia de entrega del primer y segundo semestre 2015 con el uso del software MINITAB 16	140
Figura 3.38	Carta de control de la eficiencia del tiempo de entrega de perfiles extruidos en la fase control con el uso del software MINITAB 16	143
Figura 3.39	KPI de eficiencia en el tiempo de entrega de perfiles extruidos del primer y segundo semestre del 2015	147
Figura A I.1	Mapa de procesos de la cadena de valor de la empresa Cedal	158
Figura A III.1	Gráfica de métodos de pronósticos de producción en el proceso de extrusión para el año 2015	165
Figura A V.1	Sistema Westinghouse calificación de velocidad	169

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I Mapa de procesos de la cadena de valor.	158
ANEXO II Catálogo de defectos del proceso de extrusión.	159
ANEXO III Pronósticos de la demanda de producción.	164
ANEXO IV Simulación de Montecarlo.	167
ANEXO V Sistema Westinghouse.	169
ANEXO VI Datos acumulados de las variables peso neto extruido y horas – hombre trabajadas	170
ANEXO VII Indicador diferencial y acumulado de productividad	172

RESUMEN

La presente tesis tuvo como objetivo el mejoramiento de la productividad del proceso de extrusión en la empresa Corporación Ecuatoriana de Aluminio S.A. Cedal, empleando la metodología "Six Sigma", que consiste en la reducción y control de la variabilidad del proceso a través de la implementación de una serie de herramientas de mejora continua, las cuales se las desarrolló en la ejecución de cinco fases importantes de la metodología "Six Sigma", conocido como las fases DMAMC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar).

Para esto, se analizó la situación actual del proceso de extrusión por medio de cuatro indicadores claves de desempeño, que de igual manera corresponden a los objetivos específicos de la presente tesis.

Se concluyó, que el indicador clave de desempeño que mide la cantidad de rechazos de material no conforme, obtuvo una mejora en la productividad después de la implementación de las fases DMAMC, al tener una línea base del indicador en el mes de junio del 2015 del 5,64% de material rechazado a 4,32% en el mes de diciembre de 2015, conociendo que la meta del proceso es de 4,5%, así se demostró una mejora del indicador clave de desempeño en un 23,4%.

Con respecto al indicador clave de desempeño que mide la productividad de la fabricación de perfiles extruidos, se evidencio una mejora, puesto que la línea base del indicador en el mes de junio de 2015 fue de 255 kg/h-h, y después de la implementación de la metodología "Six Sigma", el indicador se posicionó en 269 kg/h-h en el mes de diciembre de 2015, por lo que se afirmó una mejora en el indicador del 5,5%.

En el indicador clave de desempeño que mide la eficacia de la producción en el proceso de extrusión, que se encontraba con un valor como línea base en el mes de junio de 2015 del 71% de cumplimiento y posterior a la mejora con la implementación de las fases del "Six Sigma", se incrementó el indicador clave de

desempeño al mes de diciembre de 2015 al 84%, por lo que se demostró una mejora del 18,3%.

En el indicador clave de desempeño que mide la eficiencia del tiempo de entrega de perfiles extruidos, se constató que mantenía un valor de cumplimiento como línea base en el mes de junio de 2015 del 76%, se aumentó la eficiencia al mes de diciembre de 2015 al 90%, por lo que se observó una mejora del 18,42% en el indicador, previo a la implementación de la metodología “Six Sigma” en el proceso de extrusión.

INTRODUCCIÓN

Es fundamental para Cedal el aumento en la productividad de los procesos de la cadena de valor para disminuir los costos de la mala calidad, aumentar la producción neta y optimizar los recursos que emplea para transformar la materia prima en producto terminado.

El segmento industrial de extrusiones de aluminio a nivel nacional y de la región crece a un ritmo constante, razón por la cual Cedal se encuentra en la obligación de perfeccionar los procesos y mejorar continuamente los mismos a través de herramientas que tiendan a cumplir con las exigencias y especificaciones que busca el cliente interno y externo de la organización con respecto a la calidad del producto y de esta manera ser competitivo en el mercado.

El problema que genera el proceso de extrusión en la empresa Cedal son los retrasos en la producción debido a los perfiles extruidos con defectos que genera el proceso, esto conlleva a que el proceso que le sucede en la cadena de valor, es decir, el proceso de anodizado retrase la producción total de la planta debido que el proceso de anodizado es el cuello de botella de la cadena de valor en Cedal, razón por la cual el proceso de extrusión debe enviar productos al siguiente proceso en el tiempo y la calidad planificada para no retrasar la producción en la línea de fabricación de perfiles de aluminio de la empresa Cedal. Por lo tanto, el objetivo general de la presente tesis es mejorar la productividad del proceso de extrusión de la empresa Cedal, mediante el empleo de la metodología “Six Sigma” para conocer la y disminuir las fuentes de variación, que afectan al cumplimiento de las especificaciones de calidad, esto se desea efectuar mediante el cumplimiento de cuatro objetivos específicos:

- Reducir la cantidad de material no conforme del proceso de extrusión.
- Incrementar la productividad del proceso de fabricación de perfiles extruidos.
- Aumentar la eficacia de la producción en el proceso de extrusión.

- Mejorar la eficiencia del tiempo de entrega de perfiles extruidos.

La metodología “Six Sigma” es una de las principales estrategias que, por más de una década, han utilizado varias de las compañías líderes a nivel mundial, y gracias a su exitosa aplicación ha generado beneficios millonarios. “Six Sigma” es una estrategia de mejora continua del negocio que busca encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio, enfocándose en aquellos aspectos que son críticos para el cliente (Gutiérrez y De La Vara, 2013, p. XV).

Se busca con la metodología “Six Sigma” reducir la variabilidad y tener un control estadístico de los procesos de una industria, indistintamente de que los procesos sean estratégicos, fundamentales o de apoyo. La misión de la metodología es minimizar los defectos de calidad de un proceso de la cadena de valor de una organización al demostrar que es capaz de estar dentro de los límites de especificación que solicita el cliente.

“Six Sigma” un sistema integral y flexible para alcanzar, sostener y maximizar el éxito de una empresa mediante la minimización de los defectos y la variabilidad en los procesos, además se basa en el conocimiento de las necesidades de los clientes, el uso disciplinado de hechos, datos y análisis estadísticos (Krajewski, Ritzman y Malhotra, 2008, p. 231).

La implementación de la metodología “Six Sigma” es viable para el mejoramiento de la productividad del proceso de extrusión, puesto que la reducción de la variabilidad se lo puede conseguir al ejecutar cinco fases claves que la metodología recomienda para mejorar los procesos, las mismas son: Definir el problema a mejorar, obtener datos que ayuden a medir el proceso a mejorar, analizar los datos obtenidos, mejorar el proceso a través de su desempeño en el tiempo donde evidencie una reducción de la variabilidad o un centrado en la media del proceso y por último controlar la mejora implementada para que no tenga desviaciones en el tiempo.

Cada una de las fases de la metodología “Six Sigma” se conforma por un conjunto de herramientas o metodologías con un fin común, el cual es la determinación de las causas que generan los problemas dentro de los procesos y su solución para mejorar los mismos.

La presente tesis está dividida en cuatro capítulos: en el primer capítulo se hace referencia a la revisión bibliográfica de consulta de los temas ampliados en el trabajo de tesis, en el segundo capítulo se comenta la metodología aplicada para la ejecución de la investigación, en el tercer capítulo se realiza los resultados de la implementación del trabajo de tesis, donde se realiza los cálculos y las observaciones de la mejora de la implementación de la metodología propuesta y para finalizar en el cuarto capítulo se expone las conclusiones y recomendaciones pertinentes al trabajo de tesis.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 METODOLOGÍA “SIX SIGMA”

1.1.1 ANTECEDENTES DEL “SIX SIGMA”

La metodología “Six Sigma” es una de las principales estrategias que, por más de una década, han utilizado varias de las compañías líderes a nivel mundial, y gracias a su exitosa aplicación ha generado beneficios millonarios. “Six Sigma” es una estrategia de mejora continua del negocio que busca encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio, enfocándose en aquellos aspectos que son críticos para el cliente (Gutiérrez y De La Vara, 2013, p. 398).

Se busca con la metodología “Six Sigma” reducir la variabilidad y tener un control estadístico de los procesos de una industria, indistintamente de que los procesos sean estratégicos, fundamentales o de apoyo. La misión de la metodología es minimizar los defectos de calidad de un proceso de la cadena de valor de una organización al demostrar que es capaz de estar dentro de los límites de especificación que solicita el cliente.

“Six Sigma” es un sistema integral y flexible para alcanzar, sostener y maximizar el éxito de una empresa mediante la minimización de los defectos y la variabilidad en los procesos, además se basa en el conocimiento de las necesidades de los clientes, el uso disciplinado de hechos, datos y análisis estadísticos. (Krajewski, Ritzman y Malhotra, 2008, p. 231).

El objetivo principal de la metodología “Six Sigma”, es reducir la variabilidad de los procesos, y alcanzar una meta de calidad de seis sigmas, es decir, que se fabriquen artículos o piezas y que de ellas solo 3,4 piezas por cada millón producidas tengan la probabilidad de sufrir un defecto de calidad como se muestra en la Figura 1.1.

Nivel	% Rendimiento	Defectos por Millón
1 Sigma	30.9%	690,000
2 Sigma	69.2%	308,000
3 Sigma	93.26%	66,810
4 Sigma	99.37%	6,210
5 Sigma	99.98%	320
6 Sigma	99.99966%	3.4

Figura 1.1. Nivel de defectos por millón producidos de acuerdo al nivel sigma de calidad implementado en las organizaciones

Por consiguiente la implementación de un proyecto “Six Sigma”, debe tener el compromiso de la alta gerencia de la organización, con el fin de que los proyectos se realicen a lo largo y ancho de los procesos de la empresa, ya que es una metodología gerencial y estratégica para el incremento de la satisfacción de los clientes, la productividad de la empresa, reducir costos y maximizar las utilidades de la organización (Eckes, 2005, p. 49).

1.1.2 PRINCIPIOS DEL “SIX SIGMA”

Se presenta las características o principios de la implementación de los proyectos que desean alcanzar una calidad de seis sigmas.

1.1.2.1 Liderazgo comprometido de arriba hacia abajo

La metodología de implementación de un proyecto “Six Sigma”, es ante cualquier situación un programa gerencial que implica la manera de operar y tomar decisiones en cuanto a los procesos de la cadena de valor de la organización, por tal motivo, esta estrategia debe ser percibida y apoyada por la alta gerencia y el máximo líder de la empresa (Miranda, 2006, p. 124).

1.1.2.2 “Six Sigma” se apoya en una estructura directiva y funcional

La manera de declarar el compromiso de la alta dirección de la organización en cuanto a la implementación de un proyecto de calidad seis sigmas, es la de definir una estructura directiva que se constituya de líderes de proceso, líderes de proyectos, expertos y facilitadores. Donde cada individuo tiene definido sus roles y responsabilidades dentro del proyecto de implementación, se presenta en la Figura 1.2 el componente básico de un equipo “Six Sigma” (Escalante, 2013, p. 227).

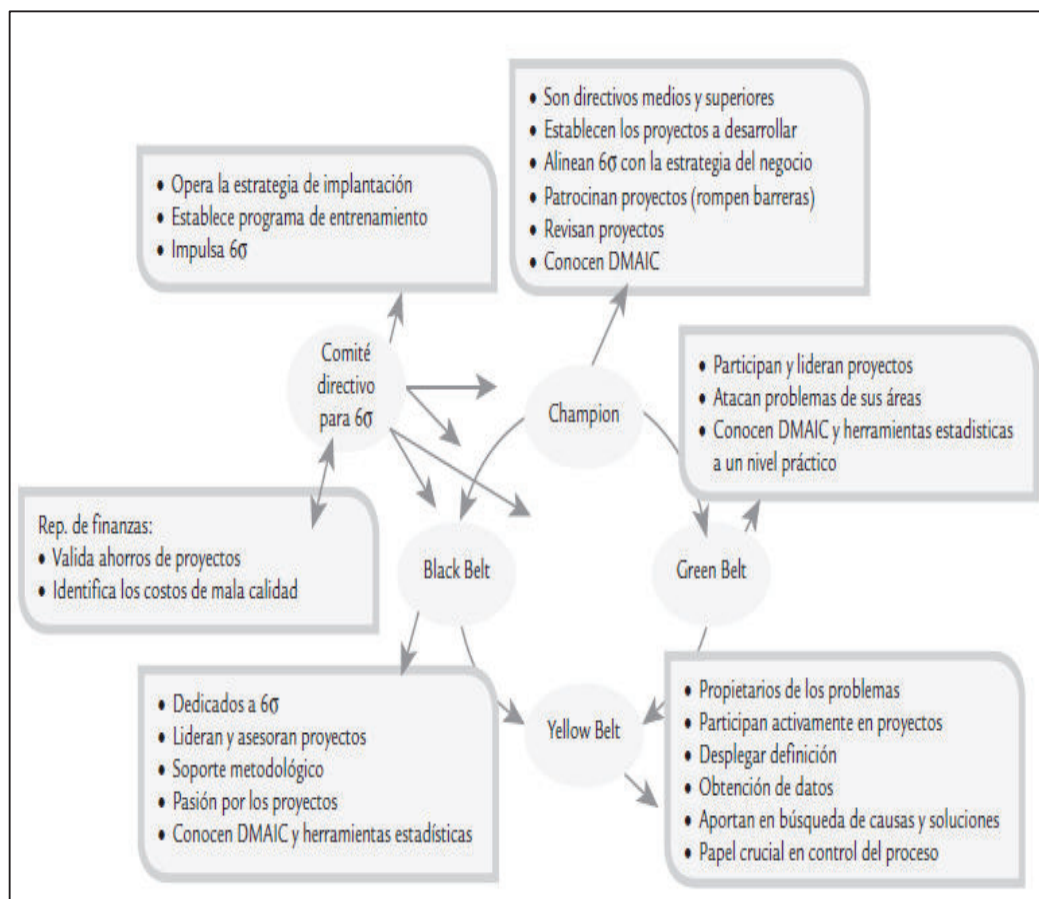


Figura 1.2. Estructura directiva y técnicas “Six Sigma”

(Gutiérrez y De La Vara, 2013, p. 400)

1.1.2.3 Entrenamiento

La capacitación del personal especializado en el área de la metodología “Six Sigma”, conlleva un tiempo extenso en cuanto a la información que reciben para

poder dirigir un proyecto de implementación de calidad seis sigmas, esta capacitación debe ser constante e intensiva para que el quipo participante adquiera los conocimientos necesarios para poder ponerlos en práctica, los integrantes denominados Green Belt, tienen la capacidad de implementar un proyecto “Six Sigma”, a través de las herramientas de las fases del DMAMC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar).

Los integrantes del grupo Black Belt son personas capaces de emplear el uso de otras herramientas de mejora continua por medio de la aplicación de fases distintas a las de un Green Belt, estas son las fases DMADV (definir, medir, analizar, diseñar y verificar), las cuales se constituyen al momento que la organización desee diseñar la presentación de un nuevo producto al mercado y este debe satisfacer las necesidades del cliente y cumplir con parámetros extenuantes de calidad (Miranda, 2006, p. 131).

En la Tabla 1.1, se demuestra los roles y las capacitaciones que debe obtener un integrante del grupo de implementación del equipo “Six Sigma”.

1.1.2.4 Orientado a los clientes y con enfoque a los procesos

Una de las características claves de la implementación de la estrategia “Six Sigma”, es lograr que los distintos procesos de la organización se orienten al cumplimiento de las necesidades de los clientes tanto internos como externos, y que tiendan al logro de una calidad seis sigmas, por tal motivo, se debe ahondar en entender los requerimientos y necesidades de los clientes, y para ello es preciso revisar de manera crítica e integral los procesos de la organización y así propender a la creación de nuevos conceptos, procesos, productos y servicios que superen las expectativas de los clientes de la organización (Pérez, 2013, p. 77).

1.1.2.5 “Six Sigma” se dirige con datos

El pensamiento estadístico y los datos son las guías principales para la implementación de una estrategia “Six Sigma”, ya que a través de los mismos se toman decisiones gerenciales en beneficio de los procesos que constituyen a la

organización, por esta razón, la pretensión de alcanzar un nivel de calidad seis sigmas no se las realiza al alzar, por el contrario, el análisis de los números y estadísticas crean la confianza en satisfacer las necesidades del cliente por medio de procesos controlados con base a hechos y datos (Pande y Holpp, 2002, p. 159).

Tabla 1.1. Actores y roles en “Six Sigma”

(Gutiérrez y De La Vara, 2013, p. 401)

Nombre	Rol	Características	Capacitación a recibir	Acreditación
Líder de implementación	Dirección del comité directivo para 6 σ . Suele tener una jerarquía sólo por abajo del máximo líder ejecutivo de la organización.	Profesional con experiencia en la mejora empresarial en calidad, es muy respetado en la estructura directiva.	Liderazgo, calidad, conocimiento estadístico básico (pensamiento estadístico); entendimiento del programa 6 σ y de su metodología (DMAMC).	
Champions y/o patrocinadores	Gerentes de planta y gerentes de área, son los dueños de los problemas; establecen problemas y prioridades. Responsables de garantizar el éxito de la implementación de 6 σ en sus áreas de influencia.	Dedicación, entusiasmo, fe en sus proyectos, capacidad para administrar.	Liderazgo, calidad, conocimiento estadístico básico, y un buen entendimiento del programa Seis Sigma, así como de su metodología de desarrollo de proyecto (DMAMC).	Aprobar examen teórico-práctico acerca de las generalidades de 6 σ y el proceso DMAMC.
Master black belt (MBB)	Dedicados 100% a 6 σ , brindan asesoría y tienen la responsabilidad de mantener una cultura de calidad dentro de la empresa. Dirigen o asesoran proyectos clave. Son mentores de los BB.	Habilidades y conocimientos técnicos, estadísticos y en liderazgo de proyectos.	Requieren amplia formación en estadística y en los métodos de 6 σ (de preferencia Maestría en estadística o calidad), y recibir el entrenamiento BB.	Haber dirigido cuando menos un proyecto exitoso y asesorado 20 proyectos exitosos. Aprobar examen teórico-práctico acerca de currículo BB y aspectos críticos de 6 σ .
Black belt (BB)	Gente dedicada de tiempo completo a Seis Sigma, realizan y asesoran proyectos.	Capacidad de comunicación. Reconocido por el personal por su experiencia y conocimientos. Gente con futuro en la empresa.	Recibir el entrenamiento BB con una base estadística sólida.	Haber dirigido dos proyectos exitosos y asesorado cuatro. Aprobar examen teórico-práctico acerca del currículo BB y aspectos críticos de 6 σ .
Green belt	Ingenieros, analistas financieros, expertos técnicos en el negocio; atacan problemas de sus áreas y están dedicados de tiempo parcial a 6 σ . Participan y lideran equipos Seis Sigma.	Trabajo en equipo, motivación, aplicación de métodos (DMAMC), capacidad para dar seguimiento.	Recibir el entrenamiento BB.	Haber sido el líder de dos proyectos exitosos. Aprobar examen teórico-práctico acerca de currículo BB.

1.1.2.6 “Six Sigma” se apoya en una metodología robusta

El análisis de los datos sin una metodología de implementación no solventa los problemas en las organizaciones que pretenden implementar una estrategia “Six Sigma”, para ello se utiliza una metodología basada en 5 fases: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. En la Figura 1.3, se demuestra estas fases y se describen rápidamente (Gutiérrez y De La Vara, 2013, p. 403).

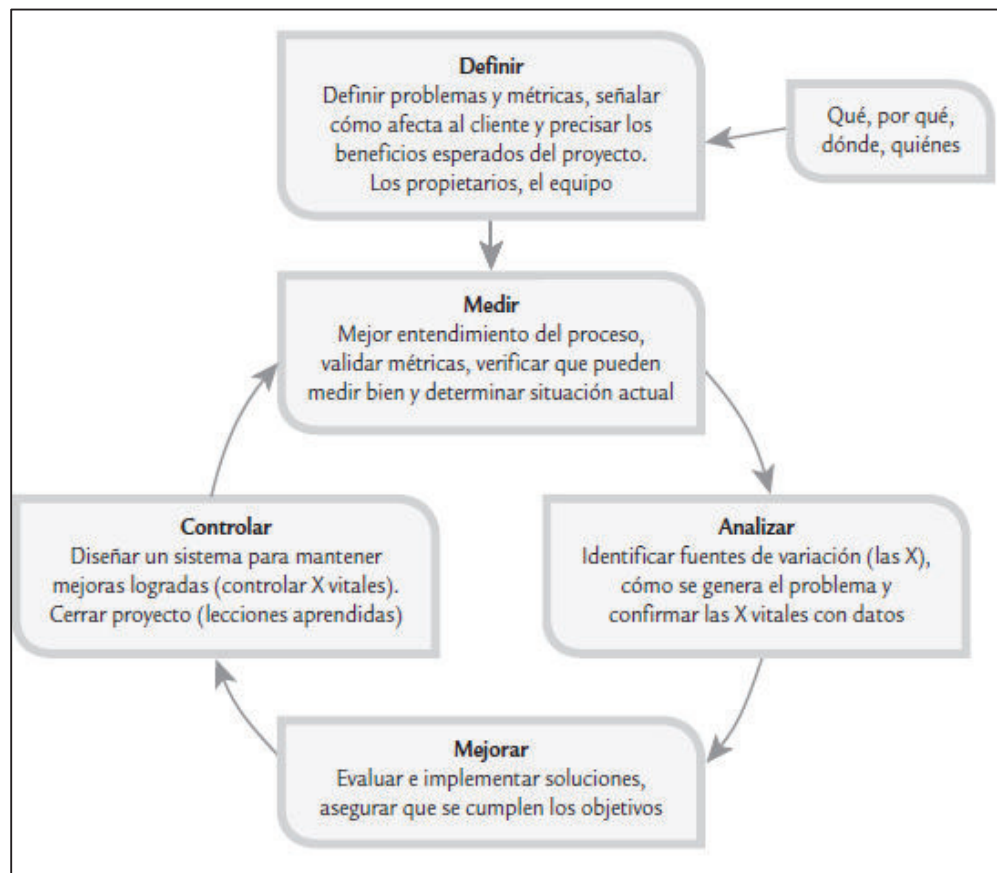


Figura 1.3. Las cinco etapas en la realización de un proyecto “Six Sigma”

(Gutiérrez y De La Vara, 2013, p. 403)

1.1.2.7 Los proyectos “Six Sigma” generan ahorros y aumento en ventas

La implementación de proyectos “Six Sigma”, generan verdaderamente ahorros en los costos de la mala calidad y generan un mayor número de ventas y clientes satisfechos en cuanto a la entrega temprana del producto y la excelente calidad del mismo, es decir, al implementar un proyecto de esta magnitud se debe tomar

decisiones gerenciales estratégicas que tengan un alto impacto en la satisfacción del cliente y en el desempeño de los procesos de la organización, por tal razón, se seleccionan proyectos clave que atiendan en realidad a las causas que generan costos de mala calidad, que conciban soluciones de fondo y duraderas, y que se mantenga un buen sistema de medición para evaluar el cumplimiento de las metas de los proyectos (Lowenthal, 2002, p. 163).

En la Tabla 1.2, se evidencia la relación del nivel de sigma con los costos de la mala calidad.

Tabla 1.2. Relación entre el nivel de sigmas de un proceso y los costos de calidad

Nivel de sigmas (corto plazo)	Rendimiento del proceso (largo plazo)	PPM	Costos de calidad como % de las ventas
1	30.90%	690 000	NA
2	69.20%	308 000	NA
3	93.30%	66 800	25-40 %
4	99.40%	6 210	15-25 %
5	99.98%	320	5-15 %
6	99.9997	3.4	< 5 %

(Gutiérrez y De La Vara, 2013, p. 404)

1.1.3 COMPONENTES DEL “SIX SIGMA”

El componente primordial de la estrategia “Six Sigma” es mejorar de manera fundamental el desempeño de los procesos de la cadena de valor, fundamentales y de apoyo de la empresa, orientándose en reducir la variabilidad de los parámetros claves para la satisfacción de los clientes externos e internos de una organización (Pande y Holpp, 2002, p. 167).

Los componentes que se plantea la estrategia de los proyectos “Six Sigma” son los siguientes:

- Auténtica orientación al cliente
- Gestión orientada a bases y hechos

- Orientación a procesos, gestión por procesos y mejora de procesos
- Gestión proactiva
- Colaboración sin fronteras
- Búsqueda de la perfección

1.1.4 VARIABILIDAD DEL PROCESO

La variabilidad es tan común que todo en nuestro alrededor sufre de una constante variación, desde el clima hasta circunstancias personales de la vida de un ser humano, como el número de llamadas que recibidas, el tiempo de espera en un banco, las ventas de una empresa, entre otros.

Todos los procesos tienen variación, ya que en los mismos intervienen distintos factores esquematizados a través de las 6M's: materiales, mano de obra, máquinas, medio ambiente, mediciones y métodos; que bajo condiciones uniformes o usuales de trabajo, todas las M's contribuyen una variación a las características de salida de un producto, las cuales son percibidas por el cliente interno o externo de una organización, sin embargo, existen variaciones atribuibles a causas especiales, las cuales se generan por situaciones o condiciones que no se encuentran de manera permanente en el proceso, es decir, cuando existe un desgaste, desajustes, fallas, descuidos, entre otros en el proceso (Molteni y Cecchi, 2005, p. 96).

En la Figura 1.4, se evidencia el aporte de la variabilidad de las M's analizadas en relación a la variabilidad de una salida o característica de calidad de un producto.

1.1.4.1 Causas comunes

Son causas que se encuentran de forma estable en el día a día del proceso o de lote a lote de producción, es decir, son aportaciones naturales del proceso ya que su acumulación y combinación provienen de distintas causas que son prácticamente difíciles de detectar y eliminar, ya que son inherentes al sistema; sin embargo, a largo plazo este tipo de causas son potenciales proyectos de mejora en los procesos de las organizaciones (Martín, 2015, p. 127).

1.1.4.2 Causas especiales

Este tipo de causas son atribuibles a circunstancias que no se encuentran de manera permanente en el sistema a diferencia de las causas comunes; es por este motivo que la naturaleza correspondientemente discreta en el proceso pueden ser identificadas y eliminadas del mismo si se cuenta con los conocimientos y condiciones para hacerlo (Lowenthal, 2002, p. 185).

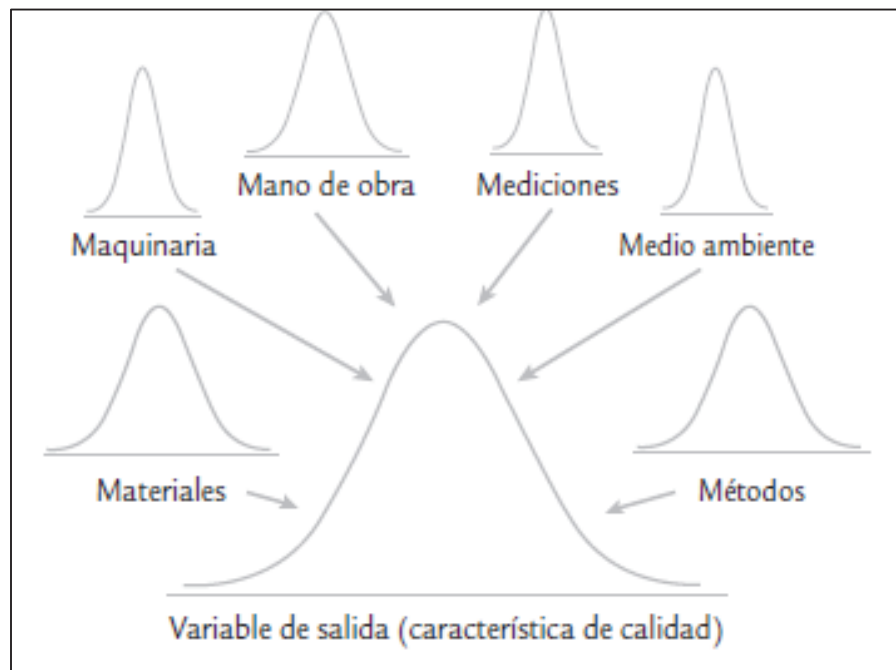


Figura 1.4. La variabilidad de un proceso. Cada M aporta una parte, no necesariamente igual, de la variación total observada
(Gutiérrez y De La Vara, 2013, p. 11)

1.1.5 ETAPAS DE LA METODOLOGÍA “SIX SIGMA”

La implementación de la metodología “Six Sigma” consiste en una secuencia de fases interrelacionadas y que son de obligatoria ejecución para que haya una mejora en los procesos, las fases son las siguientes:

1.1.5.1 Definir

Es la fase en la cual se busca la característica de calidad que el cliente percibe como crítica (CTS) y además que dicha característica sea un decisivo de compra para los mismos.

1.1.5.2 Medir

En esta fase se determina que medir de la característica de calidad que se desea mejorar, se identifica la fuente de los datos de donde se va a obtener la información y se dispone un plan para recopilar los datos necesarios.

1.1.5.3 Analizar

Se usa los datos recolectados para realizar un análisis del comportamiento del proceso que se desea mejorar.

1.1.5.4 Mejorar

Se realiza los cambios pertinentes en los métodos de trabajo implementando las medidas de mejora del desempeño de los procesos.

1.1.5.5 Controlar

Monitorear que la mejoraría en el proceso mantenga un nivel de desempeño igual o mejor que en el momento de la implementación con el fin de no tener problemas críticos y que el proceso regrese a su situación anterior.

En la Figura 1.5, se observa el círculo de las etapas del modelo de mejoramiento “Six Sigma”.

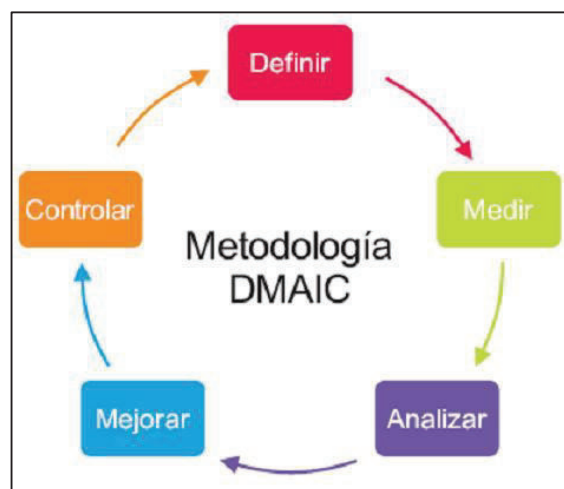


Figura 1.5. Modelo de las fases del “Six Sigma”

1.1.6 PRODUCTIVIDAD

1.1.6.1 Definición de productividad

La productividad se conoce como la relación o cociente de los bienes o servicios producidos u ofrecidos y los medios utilizados (Cuatrecasas, 2011, p. 29). Los resultados alcanzados pueden ser medidos como piezas vendidas, clientes atendidos o utilidades generadas en una organización, mientras que los insumos empleados o recursos utilizados se pueden medir en hora-hombre, hora-máquina, número de trabajadores, tiempo total empleado, entre otros (Niebel y Freivalds, 2014, p. 41).

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Bienes o servicios entregados}}{\text{recursos utilizados}} \quad [1.1]$$

Por tal razón, la productividad es optimizar el uso de los recursos y maximizar los resultados (Chang y Niedzwiecki, 1999, p. 52).

Manejar correctamente los conceptos de la productividad implica realizar una mejora en los procesos de la cadena de valor, fundamentales y de apoyo, para que contribuyan en el aumento de los beneficios económicos de la organización, con el fin de satisfacer a los clientes internos, externos y accionistas de una empresa.

Los indicadores claves de desempeño o KPI de productividad en una organización, varían de acuerdo a la necesidad de medición que requieran las gerencias de las compañías en cuanto a los procesos. La mejor manera de observar y analizar el comportamiento de un proceso a través del tiempo, es por medio del uso de las tendencias generadas a partir de un indicador acumulable y normalizado.

1.1.6.2 Productividad Monofactorial

La productividad Monofactorial se le atribuye cuando la relación de los bienes producidos y los recursos utilizados son medidos en función de un solo tipo de

variable en cada uno de los casos por ejemplo: unidades/ hora-hombre, unidades/hora-máquina, entre otros (Heizer, 2007, p. 62).

1.1.6.3 Productividad Multifactorial

La productividad multifactorial se calcula por medio de los bienes producidos y la suma de los factores o recursos utilizados en la elaboración de ese bien, como por ejemplo el empleo de hora-hombre trabajada, hora-máquina utilizada, el costo de la energía consumida, el salario de los operarios, el costo del consumo de agua, entre otros. Al analizar este cúmulo de recursos empleados, no se puede medir la productividad multifactorial en función de las variables de cada recurso, por tal motivo, se debe transformar la utilización de los mismos en cifras monetarias, para conocer el costo total de los recursos empleados en cada unidad producida (Bellon, 2001, p. 88).

1.1.6.4 Eficiencia

La eficiencia es la capacidad de optimizar la utilización de recursos para producir una cierta cantidad de productos, esto se logra a través de la relación entre los resultados obtenidos y los recursos utilizados, para mejorarla se debe reducir el consumo de los recursos de una manera controlada (Ballou, 2004, p. 167).

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Insumos programados}}{\text{Recursos utilizados}} \quad [1.2]$$

1.1.6.5 Eficacia

La eficacia es el grado o capacidad de alcanzar los resultados planificados en una organización (Fleitman, 2007, p. 23).

$$\text{Eficacia} = \frac{\text{Productos alcanzados}}{\text{meta organizacional}} \quad [1.3]$$

1.1.6.6 Efectividad

La efectividad se define como la relación entre la eficiencia y eficacia, es decir, la optimización de los recursos para alcanzar los resultados planificados.

$$\text{Efectividad} = \frac{\text{Eficiencia}}{\text{Eficacia}} \quad [1.4]$$

1.2 HERRAMIENTAS DMAMC

El modelo de mejora continua de la estrategia “Six Sigma”, consiste en la aplicación de distintas herramientas dependiendo de la fase (definir, medir, analizar, mejorar y controlar) en la que se encuentre aplicando la organización.

1.2.1 HERRAMIENTAS FASE DEFINIR

En la fase definir se aplican herramientas que facilitan definir el enfoque de la mejora, identificar características críticas y formular el objetivo de mejora del proyecto de implementación “Six Sigma” (Rajadell, 2010, p. 231).

1.2.1.1 Project Charter

El Project charter o acta de constitución es una herramienta esencial para el desarrollo de cualquier tipo de proyecto, en este se especifican a detalle los aspectos más importantes a tratarse antes de la ejecución de un proyecto, ya que es aquí donde se coloca el alcance y el impacto que va a tener el proyecto sobre los stakeholders y/o clientes del proyecto, además se estipulan los objetivos, los entregables, los grupos de trabajo, las responsabilidades y funciones de los grupos de trabajo y, se definen los planes financieros, de recursos y calidad del proyecto (Berenson y Levine, 2012, p. 234).

En la gestión de proyectos según la metodología PMP, el Project charter es el primer paso que solicita el PMBOK, ya que con esta herramienta se puntualiza la manera de planificar las 9 áreas del conocimiento: Integración, calidad, recurso humano, alcance, tiempo, comunicaciones, riesgos, adquisiciones y costo del proyecto.

1.2.1.2 Histograma

Un histograma es un conjunto de rectángulos, cada uno representa un intervalo de agrupación de datos que han sido clasificados de acuerdo a un cierto número de géneros que se estudia (Galindo, 2006, p. 14).

En la Figura 1.6, se evidencia un ejemplo de algunos tipos de histograma que se puede presentar.

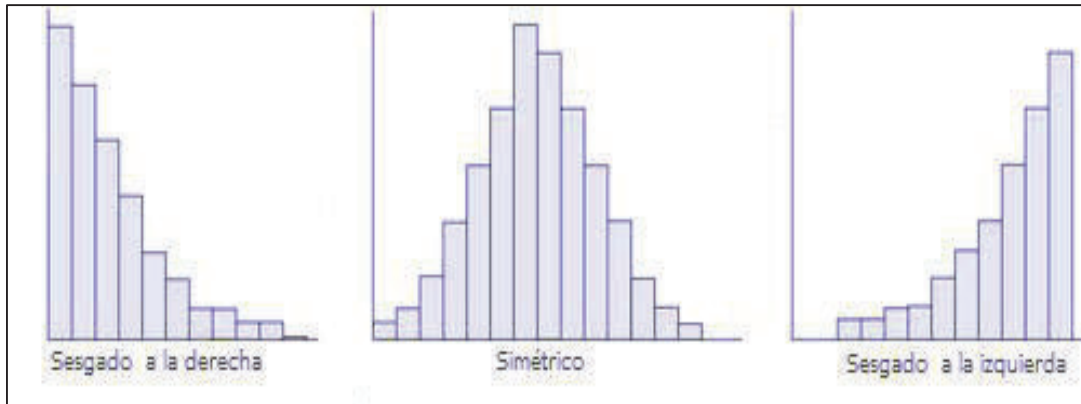


Figura 1.6. Tipos de Histogramas

1.2.1.3 Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto que se demuestra en la Figura 1.7, es una gráfica en forma de barras que permite conocer de manera sencilla las prioridades y causas de un problema, ya que se ordenan las causas de mayor a menor de forma individual y estas son representadas en forma de barras y las causas acumuladas se representan por una línea continua, lo cual permite desarrollar la teoría del 80-20, es decir, que el 20% de las causas generan el 80% de los problemas (Kume, 2008, p. 34).

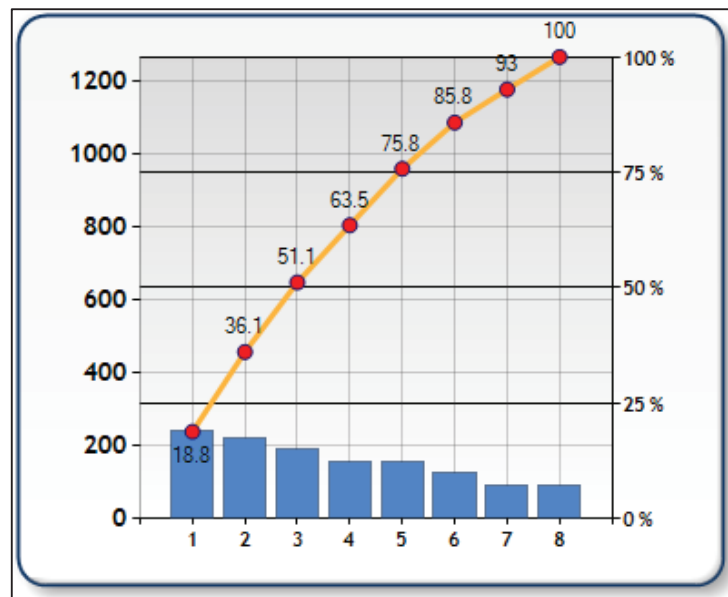


Figura 1.7. Ejemplo del diagrama de Pareto

1.2.1.4 Diagrama de Flujo

Un diagrama de flujo es una representación gráfica de un proceso. Cada paso del proceso es constituido por un símbolo distinto que contiene una rápida representación de la etapa del proceso ya sea de la cadena de valor, fundamental o de apoyo en el mapa de procesos. Los símbolos gráficos del flujo del proceso están unidos entre sí con flechas que indican la dirección de flujo del proceso (Bulfin y Sipper, 1999, p. 84).

Con el diagrama de flujo se puede explicar de una manera rápida las fallas de un proceso y determinar las actividades que no agregan valor en el mismo, y así procurar mejorar el proceso.

1.2.1.5 Diagrama SIPOC

Los diagramas SIPOC (Supplier, Input, Process, Output, Customer), son representaciones gráficas de diagramas de flujo, que expresan las delimitaciones de un proceso, en cuanto a la identificación de los proveedores del proceso sean estos internos o externos a la organización; las entradas que ingresan como materias primas como información o materiales; el proceso es donde se transforma la materia prima ya sea información o materiales; las salidas que son los entregables de proceso, es decir, la información o productos que serán entregados a los clientes finales; y por último se identifican los clientes que utilizarán el producto final que produce el proceso de la organización, estos clientes pueden ser internos o externos a la organización (Heizer, 2007, p. 112).

En la Figura 1.8 se evidencian los gráficos utilizados para la elaboración de un diagrama SIPOC.

1.2.2 HERRAMIENTAS FASE MEDIR

Las herramientas de la fase medir se utilizan para definir y validar el sistema de medición de una característica de calidad de un producto, determinar la estabilidad y capacidad de un proceso y confirmar el objetivo de mejora de la implementación de un proyecto "Six Sigma" (Rajadell, 2010, p. 238).









SÍMBOLO	SIGNIFICADO
 <p>Archivo</p>	Archivo temporal o definitivo de algún documento.
 <p>Documento</p>	Documento generado o requerido por el procedimiento. Cuando existen copias, se pueden representar y enumerar asignando al original, indistintamente, la letra "O" o el número "1", y al duplicado y demás copias la numeración correlativa.
 <p>Terminal</p>	Identifica el inicio y el fin de un procedimiento, según la palabra que se utilice dentro del óvalo.
 <p>Actividad</p>	Representa una actividad, la cual se describe brevemente dentro del rectángulo.
 <p>Conector</p>	Indica continuidad de una acción con otra dentro de una misma página.
 <p>Líneas de Flujo</p>	Conectan elementos del procedimiento e indican la secuencia a seguir.
 <p>Conector de Página</p>	Conecta una actividad con otra de una página diferente. Opcionalmente se puede colocar el número de la página a la que se conecta.
 <p>Decisión</p>	Señala un punto en el proceso en el que hay que tomar una decisión. A partir de allí, el procedimiento puede tomar dos (2) vías, y la selección de una de ellas depende de la respuesta a la pregunta que se describe dentro del rombo.

Figura 1.8. Símbolos utilizados en el diagrama de flujo y SIPOC

1.2.2.1 Estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad

Los estudio de repetibilidad y reproducibilidad (R&R), se basan en el estudio de la variación entre los métodos de medición y las personas que ejecutan dicha medición, es decir, se pretende la reducción de la variabilidad de las mediciones de un proceso o característica de calidad, por medio de las posibles causas de variabilidad en las mismas, con esto se consigue tener una mayor exactitud en las mediciones del proceso, consiguiendo así una reducción en los costos de tiempo y dinero.

Para esto se diferencia entre la repetividad y la reproducibilidad, la primera es la variabilidad o error de las mediciones sucesivas sobre una misma pieza u objeto con un solo instrumento y operador que tengan las mismas condiciones; mientras que la repetibilidad es la variabilidad o error de las mediciones sobre una misma pieza u objeto con un instrumento y que lo utilicen más de 2 operadores (Gutiérrez y De La Vara, 2011, p. 268).

En la Figura 1.9, se explica brevemente las fuentes de variabilidad en las mediciones.

1.2.2.2 Capacidad de un Proceso

Gutiérrez y De La Vara (2013), señaló que “la capacidad de un proceso consiste en conocer la amplitud de la variación natural del proceso para una característica de calidad dada; esto permitirá saber en qué medida tal característica de calidad es satisfactoria (cumple especificaciones)” (p.18).

La capacidad de un proceso analiza la frecuencia con que los productos que se fabrican en cualquier procesos de la cadena de valor de la organización, cumplen con las especificaciones dadas, ya sean estas impuestas por el mismo proceso, el fabricante de la maquinaria o por requerimiento explícito del cliente, y por lo tanto se evidencia si la variabilidad de dicho proceso se encuentra dentro de los límites de las tolerancias estipuladas.

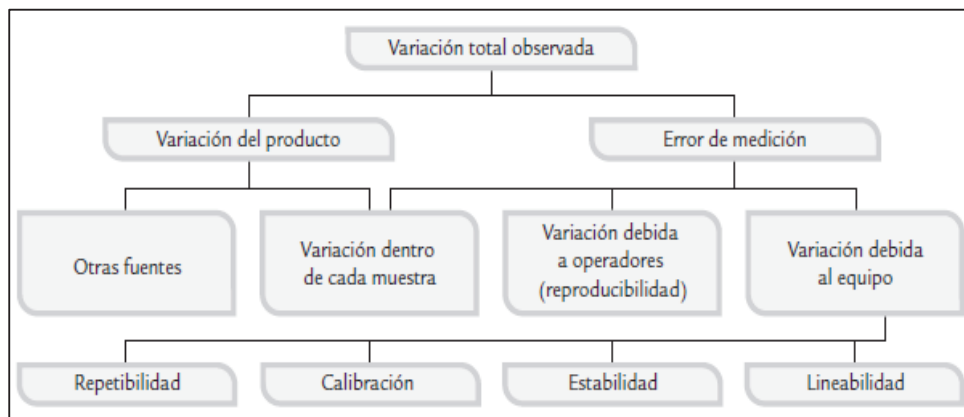


Figura 1.9. Fuentes de variabilidad en las mediciones

(Gutiérrez y De La Vara, 2013, p. 267)

El estudio de la capacidad del proceso permite determinar la probabilidad de que los productos o piezas fabricadas sean aceptables, es decir, que se encuentren dentro de los límites de especificación o tolerancia recomendada. Para establecerlo, se conoce que con una distribución normal centrada y por la regla

empírica se mantiene que en ± 3 desviaciones estándar se concentra el 99,73% de los datos en estudio como se muestra en la Figura 1.10.

Para conseguir que el 99,73% de los productos sean admisibles, basta con que el intervalo que detallan los límites de especificación (LSE – LIE) sea $\geq 6\sigma$, cuyos extremos detallan los llamados límites de control o los límites de especificación (González y Luceño, 2004, p. 82).

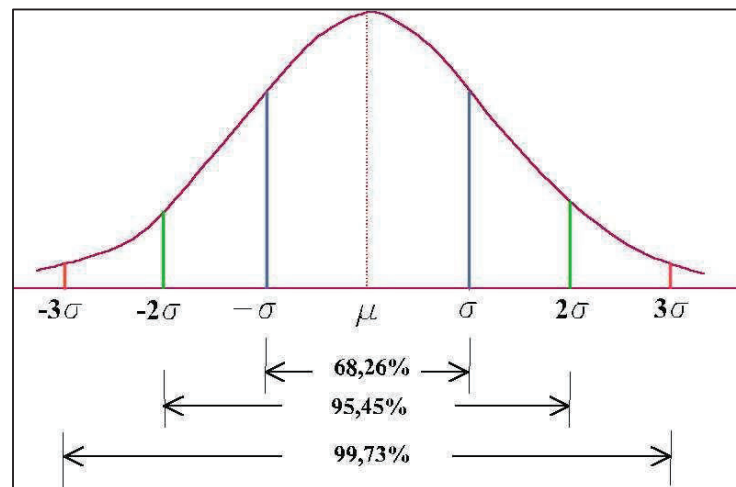


Figura 1.10. Porcentaje de concentración de datos según la regla empírica

1.2.2.3 Índice de Capacidad Potencial del Proceso C_p o a corto plazo

El índice de capacidad potencial del proceso, se determina de la siguiente manera:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad [1.5]$$

Dónde:

LSE: Límite superior de especificación

LIE: Límite inferior de especificación

σ : Desviación estándar del proceso

Para que el proceso sea considerado potencialmente capaz de cumplir con las especificaciones, se requiere que la desviación estándar del proceso sea pequeña con el fin de que la variación real del proceso sea menor que la variación tolerada del mismo, es decir, que el valor de C_p debe ser mayor que 1; y si el valor de C_p es

menor que 1, es una evidencia fehaciente que el proceso es incapaz de cumplir las especificaciones dadas del proceso.

En la Tabla 1.3, se presenta cinco clases de procesos que dependen del valor de capacidad potencial de proceso conjeturando que el proceso se encuentra centrado con respecto a la media, en esta se evidencia que el índice Cp debe ser mayor de 1,33 o que 1,50 para que se considere un proceso satisfactorio en cuanto al cumplimiento de especificaciones (Gutiérrez y De La Vara, 2013, p. 99).

Tabla 1.3. Valores de Cp y su interpretación

Valor del índice C_p	Clase o categoría del proceso	Decisión (si el proceso está centrado)
$C_p \geq 2$	Clase mundial	Se tiene calidad Seis Sigma.
$C_p > 1.33$	1	Adecuado.
$1 < C_p < 1.33$	2	Parcialmente adecuado, requiere de un control estricto.
$0.67 < C_p < 1$	3	No adecuado para el trabajo. Es necesario un análisis del proceso. Requiere de modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria.
$C_p < 0.67$	4	No adecuado para el trabajo. Requiere de modificaciones muy serias.

(Gutiérrez y De La Vara, 2013, p. 99)

1.2.2.4 Índice de capacidad real del proceso Cpk o a largo plazo

El índice de capacidad real del proceso Cpk, se considera un avance del índice Cp, ya que se toma en consideración el desplazamiento de las especificaciones con respecto a la media del proceso.

$$Cpk = \text{mínimo} \left[\frac{\mu - EI}{3\sigma}, \frac{ES - \mu}{3\sigma} \right] \quad [1.6]$$

Dónde:

μ : Media del proceso

EI: Especificación inferior

ES: Especificación superior

σ : Desviación estándar del proceso

Como se puede observar en la fórmula 1.6, el índice Cpk es igual al menor valor entre el desplazamiento de la especificación superior o inferior con respecto a la

media del proceso, es decir, es igual al índice unilateral más pequeño (Gutiérrez y De La Vara, 2013, p. 102).

Si el valor del índice Cpk es igual o superior a 1,25, se considera que el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones dadas para el proceso; por el contrario, cuando el índice Cpk es menor a 1, quiere decir que el proceso es incapaz de cumplir con las especificaciones o variación tolerada del proceso.

1.2.2.5 Defectos por parte de millón, ppm

Los defectos por millón de oportunidades DPMO, es una técnica que permite medir el nivel de sigmas de un proceso según la metodología del “Six Sigma”, además es una medida que comprueba la eficiencia de un proceso de la cadena de valor de las organizaciones (Vilar, 2005, p. 71).

El DPMO, es un método que permite llevar una estadística de los defectos producidos en el proceso, que permite promover acciones correctivas en la calidad de los procesos.

1.2.3 HERRAMIENTAS FASE ANALIZAR

En la fase analizar se aplican herramientas que facilitan la identificación de causas potenciales que afecten al proceso y seleccionar causas primarias que permitan mejorar mediante el proyecto de implementación “Six Sigma” (Rajadell, 2010, p. 245).

1.2.3.1 Diagrama de Ishikawa o de causa – efecto

El diagrama de Ishikawa o de causa – efecto es un método gráfico de alto impacto al momento de relacionar un efecto producido en el proceso y las causas que probablemente lo generan, el diagrama de Ishikawa es una herramienta que utiliza el análisis de las fuentes de variación de un proceso, a través de las reconocidas 6 M's, esto permite que se localice las causas primarias o principales para la implementación de un proyecto de mejora de procesos y no permite que se desperdicie recursos en la organización en causas superficiales que no eliminan el problema de raíz (Vollmann, 2005, p. 236).

En la Figura 1.11, se observa un ejemplo del diagrama Ishikawa.

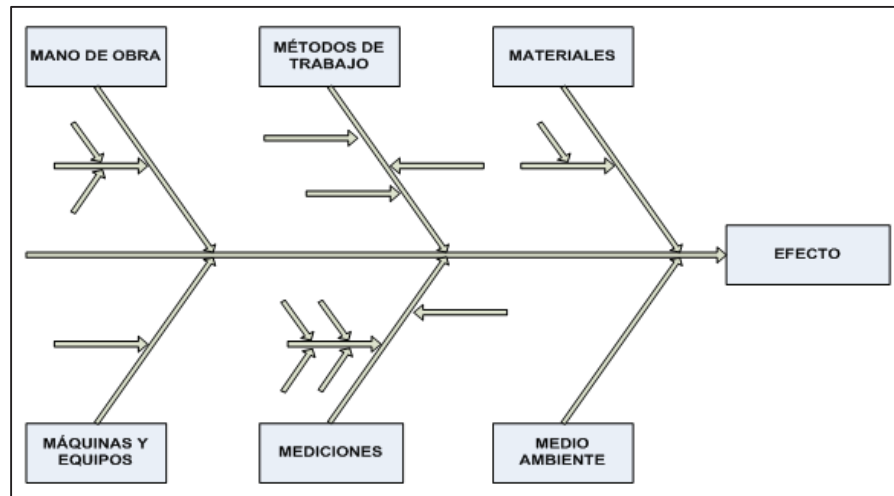


Figura 1.11. Ejemplo del diagrama de Ishikawa o causa – efecto

1.2.3.2 Análisis de modo y efecto de las fallas (AMEF)

La sistemática del análisis de modo y efecto de fallas (AMEF), permite identificar las fallas potenciales de un producto o proceso a partir de un análisis de las probabilidades de ocurrencia, sus maneras de localización y el efecto que producen; estas fallas se priorizan, y aquellas que quebrantan más la confiabilidad del producto o proceso será necesario generar acciones correctivas inmediatas que permitan subsanar la falla localizada.

La metodología estándar de esta herramienta se basa en el manual desarrollado para la industria automotriz por Ford, Chrysler y GM, hasta la fecha se han realizado cuatro actualizaciones de dicho manual. Esta metodología tiene dos objetivos el primero es dedicado hacia el área del diseño de productos y el segundo hacia el diseño de los procesos de la cadena de valor de las organizaciones (Gutiérrez y De La Vara, 2013, p. 382).

En la Figura 1.12, se demuestra un esquema general de la implementación de un proyecto AMEF en un proceso o producto de la organización.

1.2.4 HERRAMIENTAS FASE MEJORAR

En la fase mejorar se aplican herramientas que facilitan generar soluciones potenciales, seleccionar e integrar las acciones de mejora y validar las soluciones propuestas en el proyecto de implementación “Six Sigma” (Rajadell, 2010, p. 256).

1.2.4.1 Lluvia de ideas

La tormenta de ideas (lluvia de ideas o *brainstorming*) es una técnica orientada en el pensamiento creativo, implementada para incrementar la realización de un eminente número de opiniones, por parte de un equipo de trabajo de una organización, que trata de una dificultad y de sus soluciones, en general, sobre un tema que requiere de ideas originales y prácticas.

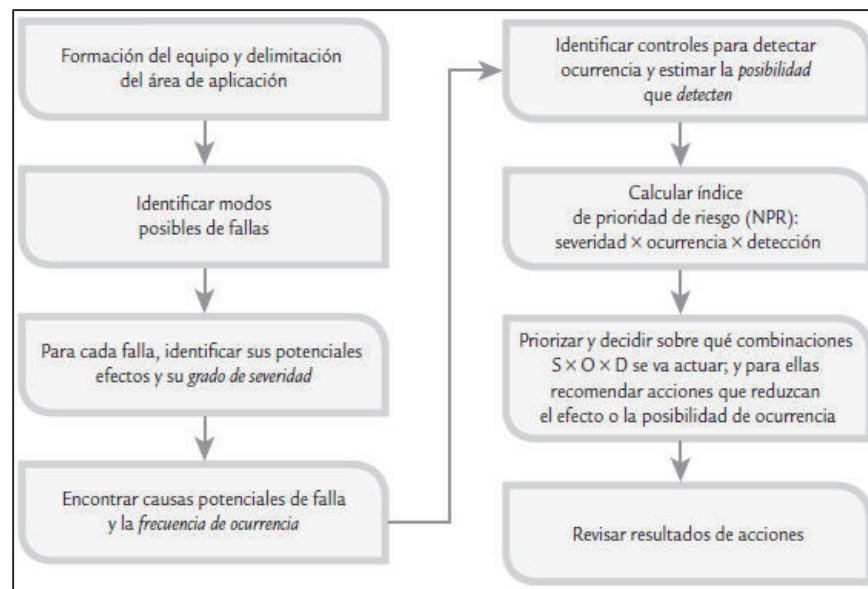


Figura 1.12. Esquema general de actividades para realizar un AMEF
(Gutiérrez y De La Vara, 2013, p. 383)

De forma general se presentan las fases que contiene una sesión de lluvia de ideas:

- Presentación del objetivo de la sesión de la tormenta de ideas.
- Generación de ideas.
- Mejora de las ideas planteadas.
- Evaluación de las ideas escogidas.

Con la implementación de las fases antes mencionadas, se pretende obtener la solución de un problema primordial que mantiene la empresa dentro de sus procesos, ya sean estos de la cadena de valor, fundamentales o de apoyo.

En la Figura 1.13, se observa un ejemplo de la herramienta de lluvia de ideas.

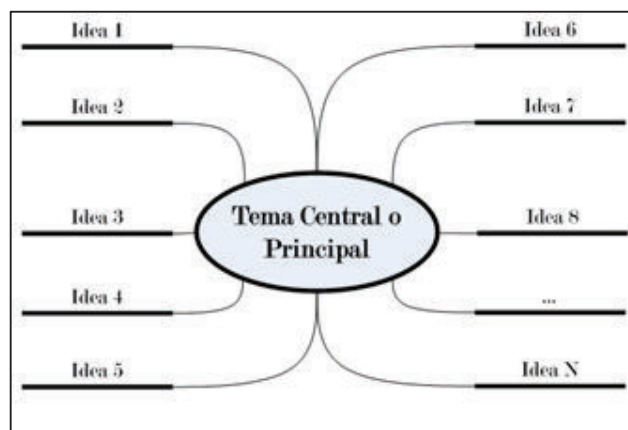


Figura 1.13. Ejemplo de la metodología de Lluvia de Ideas

1.2.4.2 Control estadístico de procesos

El objetivo de las cartas de control, es dar a conocer de una manera gráfica y sencilla el comportamiento de un proceso a través del tiempo, así se puede evidenciar si un proceso ha mantenido variaciones por causas comunes o especiales (atribuibles), por tal motivo, las cartas de control son herramientas que ayudan a entender y mejorar el estado actual de un proceso con base a los datos obtenidos del mismo a través de mediciones o análisis de aceptación de un cierto producto (Navarro, Jiménez y Vargas, 2010, p. 43).

Cuando se estudia el análisis de un proceso, se refiere normalmente al análisis de las variables de salida de un proceso o característica de calidad de un producto en particular, sin embargo el estudio también tiene la capacidad de abarcar el análisis de las variables de entrada o de control en general de un proceso (Gutiérrez y De La Vara, 2013, p. 176).

En la Figura 1.14, se demuestra una carta de control típica, donde se explica que es lo que se busca analizar, en este caso se manifiesta o lo que se pretende

analiza es de donde a donde varía el estadístico W en el tiempo, a través de los límites de control y su promedio en la línea central de la gráfica.

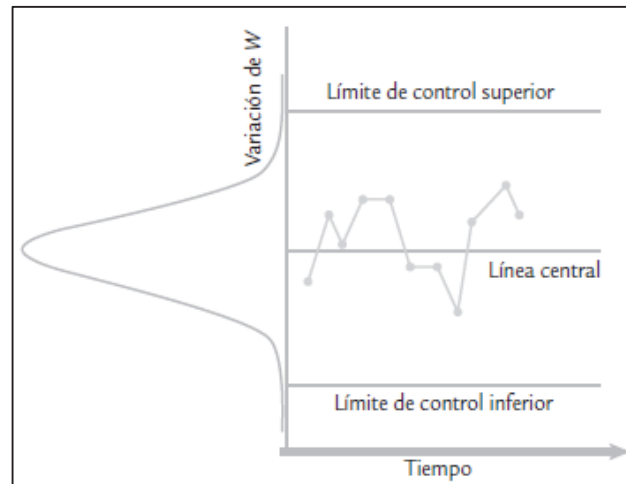


Figura 1.14. Idea y elementos de una carta de control
(Gutiérrez y De La Vara, 2013, p. 177)

Los límites de control de una carta no son las especificaciones o tolerancias de un proceso y que hayan sido impuestas por solicitud del cliente o por requerimientos de la maquinaria o entre otros; más bien los límites de control de un proceso son aquellos que se calculan a partir de la variación del estadístico que en este caso es W , de esta forma lo que se busca es cubrir cierto porcentaje de la variación natural del proceso.

Los límites de la carta de control y su línea central se calculan de la siguiente manera (Díaz, 2009, p. 86):

$$\text{LCI} = \mu - 3\sigma \quad [1.7]$$

$$\text{Línea central} = \mu \quad [1.8]$$

$$\text{LCS} = \mu + 3\sigma \quad [1.9]$$

Dónde:

μ : es la media del estadístico

σ : es la desviación estándar del estadístico

Con estos límites y bajo condiciones de control estadístico se mantiene una alta probabilidad de que los valores del estadístico W , se encuentren dentro de ellos (Gutiérrez y De La Vara, 2013, p. 177).

Se conoce que existen dos tipos de cartas de control, la primera es una carta de control para variables y que se aplican a características de calidad de naturaleza continua, es decir, que se puede acoger a un valor entre dos datos enteros; y las cartas de control por atributos, que se aplican al monitoreo de características de calidad del tipo “pasa o no pasa”, o donde se cuenta el número de no conformidades que tienen los productos analizados (Gutiérrez y De La Vara, 2013, p. 178).

1.2.5 HERRAMIENTAS FASE CONTROLAR

En la fase controlar se aplican herramientas que permiten estandarizar las mejoras encontradas en las anteriores fases y finalizar el proyecto de mejora de implementación “Six Sigma” (Rajadell, 2010, p. 267).

Las herramientas de la fase controlar, permiten observar el comportamiento de los procesos mejorados a través del tiempo con el fin de confirmar si las estrategias o herramientas implementadas en el proyecto “Six Sigma” son las adecuadas, por este motivo, las herramientas de la fase controlar pertenecen a ciertas herramientas que fueron estudiadas en anteriores fases como por ejemplo:

- Diagramas SIPOC
- Control estadístico de procesos
- Análisis de capacidad y estabilidad de procesos.

Existen otro tipo de herramientas implementables en la fase de control como son las herramientas de Lean Manufacturing, mapa de flujo de valor, ente otros; que en la presente tesis no serán mencionados.

1.3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

1.3.1 CONCEPTOS Y DISTRIBUCIONES BÁSICAS DE PROBABILIDAD

Los experimentos aleatorios son aquellos cuyo resultado no se puede anticipar debido a que ningún experimento no es igual a otro, aunque se replique exactamente bajo las mismas condiciones.

La probabilidad y la estadística emplean modelos que admiten estudiar la variación que existe en la salida de un sistema; estos se aprovechan para predecir la respuesta de un experimento aleatorio (Peña, 2010, p. 19).

Para modelar y analizar un experimento aleatorio se necesita entender y comprender los posibles resultados de un experimento, este conjunto de posibles respuestas se las conoce como espacio muestral del experimento y un evento es un subconjunto del espacio muestral de un experimento aleatorio (Gutiérrez y De La Vara, 2008, p. 44).

Los valores que toma una variable aleatoria depende del resultado de un experimento aleatorio, a estas variables aleatorias se las pueden clasificar en discretas y continuas.

La distribución de probabilidad de X valores o distribución de una variable aleatoria X , es una representación del conjunto de valores posibles de X , acompañado a la distribución asociada a cada uno de estos valores.

Las distribuciones que más se utilizan en el campo del control de calidad y diseño de experimentos son la binomial y la normal.

1.3.1.1 Distribución binomial

La distribución binomial es una distribución de probabilidad discreta, esta se basa en el experimento de Bernoulli, donde se describe solo dos tipos de resultados “éxito” y “fracaso”.

La función de probabilidad de la distribución binomial se describe con la siguiente fórmula (Galindo, 2006, p. 71):

$$P(X) = \left[\frac{n!}{x!(n-x)!} \right] p^x (1-p)^{n-x}; x = 1, 2, \dots, n \quad [1.10]$$

Dónde:

n : número de ensayos

x : número de éxitos

p : probabilidad de éxito en cada ensayo

Si X es una variable aleatoria con distribución binomial (n,p) , entonces su media y varianza son:

$$\mu = np \quad [1.11]$$

$$\sigma^2 = np(1-p) \quad [1.12]$$

En la Figura 1.15, se demuestra un ejemplo de la gráfica de una distribución binomial.

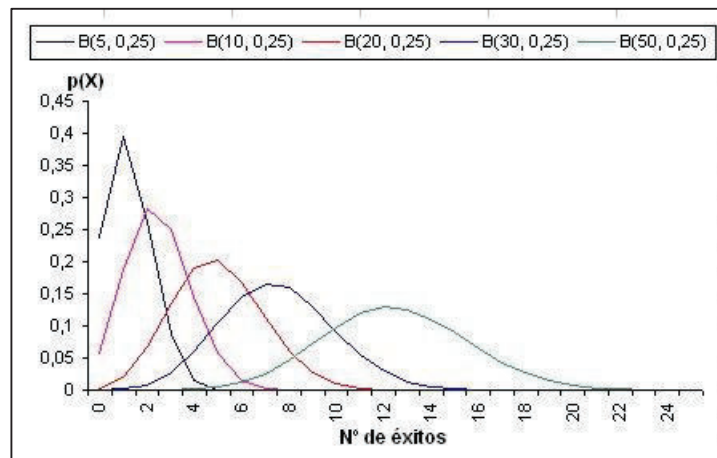


Figura 1.15. Ejemplo distribución binomial

1.3.1.2 Distribución Normal

La distribución normal, es una distribución continua y talvez la distribución más importante de la estadística teórica y aplicada. El campo de aplicación de esta distribución se evidencia desde la ocurrencia de efectos en la naturaleza hasta efectos artificiales producidos por el hombre.

Si X es una variable aleatoria normal, su función de densidad es el siguiente:

$$Y = f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad [1.14]$$

Dónde: μ es la media, y σ es la desviación estándar; al graficar $f(x)$ se obtiene una gráfica simétrica y unimodal con forma similar a una campana, el centro del gráfico coincide con μ , y la amplitud está dada por σ (Gutiérrez y De La Vara, 2013, p. 49).

Según el teorema del límite central, cualquier muestra aleatoria independientemente de su distribución, se apega a una distribución normal cuando la cantidad de la muestra crece (Montgomery, 2004, p. 32).

Cualquier distribución normal puede convertirse en una distribución normal estándar, restando la media a cada observación y dividiéndola sobre su propia desviación estándar, utilizando ahora el valor Z que se calcula con la siguiente fórmula:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad [1.15]$$

En la Figura 1.16, se aprecia un ejemplo de la distribución normal.

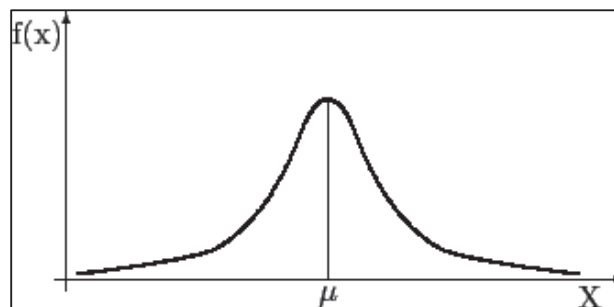


Figura 1.16. Ejemplo distribución Normal

1.3.2 CONCEPTOS BÁSICOS DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS

1.3.2.1 Definición del diseño de experimentos

El diseño de experimentos radica en realizar un acumulado de pruebas con el fin de determinar datos que al ser analizados estadísticamente, suministren evidencias objetivas que consientan dar una respuesta a las preguntas planteadas por el experimentador sobre determinado escenario en estudio (Gutiérrez y De La Vara, 2008, p. 5).

1.3.2.2 Experimento

Es un cambio en los contextos de una operación o procesos que se encuentra en estudio, y se lo ejecuta con el objetivo primordial de medir el efecto del cambio en una o varias variables del producto o resultado (Montgomery, 2004, p. 41).

1.3.2.3 Unidad experimental

Es el conjunto de piezas o muestras que se manipulan para obtener un valor que sea honorífico y representativo del resultado de la prueba (Díaz, 2009, p. 28).

1.3.2.4 Variable de respuesta

Por medio de esta variable se conoce el efecto o los resultados de las pruebas experimentales, mismas que pueden corresponder a una característica de salida de calidad o el estado de un proceso (Gutiérrez y De La Vara, 2008, p. 7).

1.3.2.5 Factores controlables

Son variables del proceso y/o características de los productos que se encuentran en análisis que se les puede dar un valor de acuerdo a las necesidades del experimentador, estas se las puede establecer por niveles dados (Peña, 2010, p. 16).

1.3.2.6 Factores no controlables

Son aquellas variables que no se las puede definir de acuerdo a las necesidades del experimentador, es decir, no se las puede manipular durante el experimento u operación normal del proceso (Peña, 2010, p. 18).

1.3.2.7 Factores estudiados

Son las variables que están siendo analizadas en el experimento y que permitirán obtener información sobre la variable de respuesta (Vilar, 2005, p. 33).

1.3.2.8 Niveles y Tratamientos

Los distintos valores que se le otorgan a los factores estudiados en el experimento, se los conoce como niveles, y la combinación de niveles de los distintos factores estudiados se los llama tratamiento o puntos de diseño (Gutiérrez y De La Vara, 2008, p. 8).

1.3.2.9 Error aleatorio

Es aquella variabilidad que se observa y que no puede ser explicada por los factores estudiados; esto es resultado de los factores no controlables y el error de experimentación (González y Luceño, 2004, p. 54).

1.3.2.10 Error experimental

El error experimental es aquel que se conforma del error aleatorio que son resultado de los errores del experimentador al momento de realizar la planeación y ejecución del experimento (Montgomery, 2004, p. 47).

1.3.3 DISEÑO FACTORIAL

El objetivo de un diseño factorial es comprender el efecto de algunos factores sobre las variables de respuesta del experimento y determinar la mejor combinación de los niveles de los factores estudiados para mejorar el proceso (Peña, 2010, p. 41).

La experimentación factorial se utiliza cuando existen algunos factores de interés de un experimento. La característica de un experimento factorial, es que en cada réplica del experimento se analice todas las posibilidades de combinaciones de los niveles de los factores. Por ejemplo, si hay dos factores A y B con “a” niveles del factor A y “b” niveles del factor B. Cada réplica contiene toda combinación $a \times b$ posible. Al experimento resultante, se conoce como experimento factorial completo (Gutiérrez y De La Vara, 2008, p. 128).

El número de factores a analizar debe ser optimizado lo máximo posible, porque de otra manera, el costo puede ser exagerado. Dentro de los diseño factoriales los experimentos de dos niveles o 2^k factoriales son muy utilizados.

1.3.4 DISEÑO FACTORIAL 2^3

Con el diseño factorial 2^3 , se estudian tres factores con dos niveles cada factor, para esto consta de $2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8$ tratamientos diferentes. En la Figura 1.17, se observa la representación geométrica de los tratamientos del diseño factorial 2^3 .

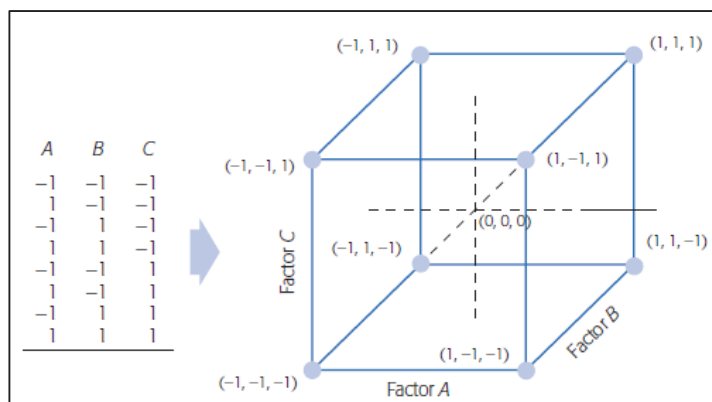


Figura 1.17. Diseño factorial 2^3 y su representación geométrica
(Gutiérrez y De La Vara, 2008, p. 184)

La región experimental es un cubo regular que se centra en su origen en el punto $(0,0,0)$; cuyos vértices son los 8 tratamientos. La matriz de diseño factorial se construye de la forma que se alteren los signos de la primera columna, se coloca dos menos y dos más en la segunda columna; y cuatro menos y cuatro más en la tercera columna; el diseño resulta acomodado en el orden estándar o de Yates (Gutiérrez y De La Vara, 2008, p. 183).

Con este modelo de diseño se puede estudiar $2^3 - 1 = 7$ efectos, los cuales tres pertenecen a efectos principales A, B, C; tres interacciones dobles AB, AC y BC y una interacción triple ABC. Por lo general se estudian especialmente los efectos principales y las interacciones dobles.

1.4 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

1.4.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

La Corporación Ecuatoriana de Aluminio S.A. Cedal, es una empresa constituida en el año 1974, con el objetivo de producir y comercializar perfiles de aluminio de la familia 6000 y con aleaciones 6063, 6005 y 6061.

La empresa Cedal cuenta con una planta de producción en la ciudad de Latacunga provincia de Cotopaxi; además cuenta con oficinas y centro de ventas

en las ciudades de Quito y Durán, también se han incorporado desde el año 2009, locales propios de venta directa al consumidor final llamados Alumax, los cuales se encuentran en las principales ciudades del Ecuador.

Cedal, mantiene una sólida presencia en el país vecino de Colombia, a través de su empresa filial Vitral, la cual se encuentra en las ciudades de Bogotá y Cali. Se mantiene una red exclusiva de 65 distribuidores directos a nivel nacional.

1.4.2 ESTRATEGIA EMPRESARIAL

La Corporación Ecuatoriana de Aluminio S.A Cedal es una empresa que basa su estrategia empresarial en la realización de la visión, misión y principios corporativos que tiene el fin de guiar a la empresa para alcanzar sus objetivos estratégicos.

1.4.2.1 Visión

Ser una empresa referente a nivel latinoamericano en la producción y comercialización de extrusiones de aluminio y productos complementarios, reconocida por la competitividad de sus productos, la calidad en su servicio y la excelencia de sus trabajadores.

1.4.2.2 Misión

Somos una empresa líder en la producción y comercialización de extrusiones de aluminio y productos complementarios, para la industria de la construcción, que buscamos el crecimiento y desarrollo de nuestros clientes, colaboradores y accionistas, enmarcados en el cumplimiento de las leyes, aportes a la comunidad y al medio ambiente.

1.4.2.3 Principios Corporativos

- Valorar al ser humano y contribuir a su desarrollo.
- Actuar siempre con integridad.
- Buscar la satisfacción de los clientes.
- Procurar la excelencia en toda actividad.

- Participar proactivamente y agregando valor en el desarrollo de la empresa, la comunidad y el país.
- Tener visión y compromiso a largo plazo.

1.4.3 ESTRATEGIA DE MERCADO

La Corporación Ecuatoriana de Aluminio S.A. Cedal, es una empresa que mantiene un mercado muy amplio, ya que los clientes que utilizan el material de aluminio varían de industria como por ejemplo: Construcción, Carpintería de Aluminio, Automotriz, manufactura en general, entre otros.

Cedal Aluminio mantiene una estrategia de mercado a través de distribuidores independientes de la empresa que tiene locales ubicados a lo largo y ancho del territorio ecuatoriano, los distribuidores mantienen un contrato de exclusividad con la marca Cedal Aluminio y a su vez Cedal no vende directamente su producto al mercado o al cliente final para que no exista una competencia desigual entre la empresa productora Cedal y sus distribuidores independientes; sin embargo, Cedal solicita a sus distribuidores implementen ciertas políticas de compra como por ejemplo que exista pedidos mínimos de material en el mes, es decir, deben comprar perfilería para llenar un presupuesto mensual, Cedal también se compromete con el apoyo de la publicidad a los locales de los distribuidores colocando logos de la empresa, pintando el interior de los locales con los colores de la empresa Cedal.

Cedal premia a los distribuidores que mayores ventas tenga a nivel nacional, estos premios consisten en descuentos por kilos de material que compren a Cedal, entrega de artículos variados para la decoración de los locales de los distribuidores, entre otros.

Cedal Aluminio tiene conocimiento de su participación y aceptación en el mercado ya que la empresa realiza de manera anual un estudio de mercado para conocer su posicionamiento de la marca en el mercado y estar al tanto de la competencia, se puede decir que Cedal Aluminio es la marca más reconocida en el país en el campo de la producción de aluminio abarcando un 78% del mercado

internacional, la empresa competidora de Cedal es FISA (Fundiciones Industriales S.A.) que tiene un mercado de 18% del país.

Estos estudios de mercado ayudan a la empresa a tomar medidas correctivas de ser el caso en el tema de su publicidad, costos de la perfilería o promociones para los clientes finales a través de sus distribuidores.

1.4.4 PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE PERFILES DE ALUMINIO

Cedal, en el proceso de producción de perfilería de aluminio, observa normas nacionales e internacionales de operación, calidad, seguridad industrial y ambiente, tales como: INEN 2250:2013, ISO 9001:2008, ISO 14001:2004, OHSAS 18001:2007, ASTM B-119, ASTM B-221, entre otras.

En el Anexo I, se evidencia el mapa de procesos de la cadena de valor de la empresa Cedal.

1.4.4.1 Fundición

Para el proceso de fundición se utiliza aluminio primario que tiene una concentración del 99,9% de pureza, el cual, combinado con remanentes de aluminio de los propios procesos de la cadena de valor de Cedal, sirven para ser nuevamente fundidos y moldeados en forma cilíndrica conocidos como tochos o lingotes, que serán utilizados como materia prima en el proceso de extrusión. Se evidencia en la Figura 1.18 una fotografía del horno de fundición de la empresa Cedal.



Figura 1.18. Fotografía del horno del proceso de fundición

1.4.4.2 Materia Prima

Los tochos que se demuestran en la Figura 1.19, son utilizados como materia prima para la fabricación de perfiles de aluminio son catalogados de acuerdo al tipo de aleación o composición metalográfica que los identifica. Así tenemos la aleación 6005 y 6061 que son utilizados para la fabricación de perfilera de uso estructural y la aleación 6063 cuyo uso principal es la manufactura y fabricación de carpintería de aluminio de uso arquitectónico y decorativo.



Figura 1.19. Fotografía de un tocho de aluminio

1.4.4.3 Extrusión

La extrusión es un proceso de deformación plástica, en donde un bloque de materia prima, sea este un lingote o tocho de aluminio, o de otras materias primas, son forzadas por compresión a pasar a través de la abertura de un molde (matriz) que tiene un área seccional menor a la del bloque del material utilizado. La extrusión puede ser un proceso en frío o caliente.

Cedal, utiliza un proceso de extrusión en caliente. El ariete de la prensa hidráulica genera una fuerza directa de compresión que empuja a un lingote o tocho cilíndrico de aluminio, previamente calentado a (430 – 480 grados centígrados), a través de la abertura de un molde de acero conocida como matriz, formando una pieza larga de sección recta constante denominada “perfil”, que adoptará la forma establecida en la matriz. La sección transversal del perfil extruido puede ser sólida

o hueca y puede variar de una simple forma circular hasta complejas formas geométricas.

En la Figura 1.20, se observa la prensa de extrusión de perfiles de aluminio de la empresa Cedal.



Figura 1.20. Fotografía de prensa hidráulica de extrusión

El temple es un proceso de endurecimiento del perfil de aluminio extruido, a través de un proceso de envejecimiento artificial realizado en un horno. El envejecimiento se lo ejecuta luego del proceso de estirado y dimensionamiento del perfil. La nomenclatura que Cedal utiliza para los diferentes temple es:

- T0 (sin temple)
- T5 (para aleación arquitectónica 6063)
- T6 (para aleación estructural 6061 o 6005)

1.4.4.4 Anodizado

El anodizado comprende un proceso electroquímico por el cual se forma sobre la superficie del perfil un recubrimiento de óxido de aluminio, al mismo que se le puede incorporar varias tonalidades cromáticas, empleando distintos parámetros de corriente, soluciones químicas, tiempo de anodizado y sales minerales.

En la Figura 1.21, se evidencia las tinas de anodizado de la empresa Cedal.



Figura 1.21. Fotografía del proceso de anodizado

1.4.4.5 Pintura Electroestática

Es un proceso de acabado superficial que incorpora al perfil de aluminio una capa de pintura en polvo depositada electro-estáticamente y que luego es fundida y curada en un horno.

En la Figura 1.22, se demuestra el horno de pintura de la empresa Cedal.



Figura 1.22. Fotografía del proceso de pintura

1.4.4.6 Empaque

Cedal, empaqueta todos sus perfiles de aluminio, con envolturas y/o fundas de polietileno de baja densidad, con el fin de evitar que las piezas estén sujetas a rozamiento o fricción durante el transporte y almacenamiento.

En la Figura 1.23, se evidencia el proceso de empaque de la empresa Cedal.



Figura 1.23. Fotografía del proceso de empaque

1.4.5 PRODUCTOS

Cedal, principalmente fabrica y comercializa perfileria de aluminio para uso arquitectónico y estructural, cuyos diseños son proporcionados para satisfacer las necesidades de sus clientes y del mercado de carpintería de aluminio. La perfileria producida es sometida a un control de calidad y tolerancias dimensionales para asegurar su diseño y propiedades del metal.

Cedal produce perfileria de aluminio en los siguientes acabados:

- Mill Finish (01)
- Natural (02)
- Bronce Claro (03)
- Bronce Medio (04)
- Negro (06)
- Champagne Claro (09)
- Champagne (10)
- Dorado (12)
- Pintura Blanca (20)

Acabados especiales:

- Maderado (31)
- Dorado Pulido (15)
- Plateado Pulido (16)

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN INICIAL

En el diagnóstico inicial del proceso de extrusión de la planta industrial de la empresa Cedal, se consideró el análisis de cuatro indicadores claves de desempeño que verifica la gerencia de la organización, con los cuales se mide la productividad del proceso de extrusión.

Los indicadores claves de desempeño considerados fueron los siguientes:

- Cantidad de rechazos de material no conforme
- Productividad de la fabricación de perfiles extruidos
- Eficacia de la producción en el proceso de extrusión
- Eficiencia del tiempo de entrega de perfiles extruidos

El periodo de estudio de los indicadores claves de desempeño mencionados, correspondieron al primer semestre del año 2015.

2.1.1 SITUACIÓN INICIAL DE LA CANTIDAD DE RECHAZOS DE MATERIAL NO CONFORME

Para calcular el indicador clave de desempeño de la cantidad de rechazos de material no conforme, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Rechazos} = \frac{\text{Peso del material extruido no conforme}}{\text{Peso neto de material extruido}} \left(\frac{kg}{kg} \right) * 100\% \quad [2.1]$$

El peso del material extruido no conforme y el peso neto de material extruido se tomaron del sistema ERP INFOR, que utiliza la empresa para llevar el control de la producción neta y no conforme de los procesos de la cadena de valor de la organización.

Con base a los datos del volumen de producción de productos no conformes, se determinó por medio de un diagrama de Pareto, los defectos principales que producen el 80% de rechazos de material en el proceso de extrusión.

2.1.2 SITUACIÓN INICIAL DE LA PRODUCTIVIDAD EN LA FABRICACIÓN DE PERFILES EXTRUIDOS

Para calcular el indicador clave de desempeño de la productividad en la fabricación de perfiles extruidos, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Peso neto extruido}}{\text{horas - hombre laboradas}} \left(\frac{kg}{h-h} \right) \quad [2.2]$$

El peso neto extruido se los tomó del sistema informático ERP INFOR que utiliza la empresa Cedal para registrar la producción de material a lo largo de los procesos de la cadena de valor.

Las horas – hombre laboradas se determinaron multiplicando el número de personas que laboran en el proceso de anodizado por las horas totales trabajadas de manera mensual en el primer semestre del año 2015.

Se aplicó la metodología de la recopilación de datos de tiempo según expertos del personal del proceso de extrusión para determinar el tiempo estándar y de ciclo del proceso, además con base a los datos de tiempo recopilados, se analizó la capacidad de producción del proceso de extrusión.

Se realizó un cursograma analítico del proceso de extrusión para determinar las actividades que agregan valor al proceso de extrusión por medio del ratio de operación.

2.1.3 SITUACIÓN INICIAL DE LA EFICACIA DE LA PRODUCCIÓN EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN

Para calcular el indicador clave de desempeño de la eficacia de la producción en el proceso de extrusión, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Eficacia} = \frac{\text{Peso neto producido}}{\text{Peso de material programado}} \left(\frac{kg}{kg} \right) * 100\% \quad [2.3]$$

El peso neto producido se lo tomó del sistema informático ERP INFOR que utiliza la empresa Cedal para registrar la producción de material a lo largo de los procesos de la cadena de valor.

El peso de material programado se lo estableció al explicar la manera que el departamento de la planificación realiza el pronóstico de la producción para el proceso de extrusión, siendo el método de suavizamiento exponencial con $\alpha = 0,9$ el mejor método de pronóstico.

2.1.4 SITUACIÓN INICIAL DE LA EFICIENCIA DEL TIEMPO DE ENTREGA DE PERFILES EXTRUIDOS

Para calcular el indicador clave de desempeño de la eficiencia del tiempo de entrega de perfiles extruidos, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Tiempo planificado de entrega de material}}{\text{Tiempo real de entrega de material}} \left(\frac{\text{días}}{\text{días}} \right) * 100\% \quad [2.4]$$

El tiempo planificado de entrega de material a los procesos de anodizado y pintura por parte del proceso de extrusión de la empresa Cedal, se tomaron del cuadro de planificación de la producción del departamento del mismo nombre.

El tiempo real de entrega del material del proceso de extrusión a los siguientes procesos de la cadena de valor, fue recolectado del sistema informático ERP INFOR que mantiene la empresa para el control de la producción.

2.2 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE RECHAZOS POR PRODUCTOS NO CONFORMES

Para la determinación de la cantidad de rechazos por productos no conformes se aplicó las fases de la metodología “Six Sigma”, lo cual permitió el análisis del problema hasta que se determinó las soluciones aplicables al mismo.

2.2.1 FASE DEFINIR

En la fase definir se propuso el desarrollo de un diagrama SIPOC macro para determinar las fronteras del proceso de extrusión, se identificó por medio de un diagrama de Pareto la potencial causa de defecto de calidad que influye en el proceso de extrusión siendo este el defecto de dureza, seguido se estableció las CTS (critical to satisfaction) del proceso de extrusión, donde se detectó que los

defectos de extrusión y el tratamiento térmico que se le aplica al aluminio son los principales puntos críticos para el cliente interno del proceso de extrusión, a partir de la identificación de los CTS se derivan los CTY (critical to product), donde se estableció que el punto crítico del producto son las fallas de extrusión del material, con base a los datos de los CTY, se identificó los CTQ (critical to quality) donde se definió que la variable de calidad de dureza del material, es el punto crítico de calidad del producto.

2.2.2 FASE MEDIR

Se utilizó en la fase medir de la metodología “Six Sigma”, el estudio de repetibilidad y reproducibilidad con el fin de validar el sistema de medición de la variable crítica de calidad dureza del material, seguido se realizó un estudio de capacidad y estabilidad del proceso de extrusión en cuanto a la variable crítica de calidad dureza.

2.2.3 FASE ANALIZAR

Para la fase analizar, se desarrolló un diagrama de espina de pescado o Ishikawa, que determinó las causas potenciales dentro de las 6M's analizadas que generan el efecto de dureza como el principal defecto de calidad en el proceso de extrusión; se identificó que 3 causas potenciales producen el efecto antes mencionado, los cuales son:

- Temperatura del horno de envejecimiento
- Tiempo dentro del horno de envejecimiento
- Número de canastillas en el horno

2.2.4 FASE MEJORAR

Para la fase de mejorar, se ejecutó un diseño de experimentos 2^3 , es decir, un diseño de tres factores con dos niveles cada uno, con el fin de maximizar el porcentaje de lotes aceptados en cuanto a la variable crítica de calidad dureza del material, seguido se desarrolló una evaluación de la solución propuesta, donde se calculó la capacidad y estabilidad del proceso con las medidas correctivas implementadas.

2.2.5 FASE CONTROLAR

En la fase controlar, se desarrolló una carta de control de medias y rangos para la variable crítica de calidad dureza del material, que dio a conocer si el proceso se encontró en control estadístico posterior a la implementación de las mejoras en el proceso de extrusión, y si la mejora se mantiene en el tiempo.

2.3 ESTUDIO DE LA PRODUCTIVIDAD EN LA FABRICACIÓN DE PERFILES EXTRUIDOS

Se determinó para el estudio de la productividad en la fabricación de perfiles extruidos, la implementación de las fases consideradas en la metodología “Six Sigma”, donde se desarrolló herramientas de mejora continua, con el fin de maximizar la productividad en la fabricación de perfiles extruidos de la empresa Cedal.

2.3.1 FASE DEFINIR

En la fase definir, se planteó los problemas existentes en el proceso de extrusión, los cuales fueron el tiempo de ciclo del proceso por cada tonelada de material fabricado, y el ratio de operación del proceso de extrusión con base a los datos del cursograma analítico de operaciones, con el fin de determinar las actividades que agregan valor al proceso.

2.3.2 FASE MEDIR

En la fase medir, se desarrolló un diagrama SIPOC detallado, con el fin de conocer los límites del proceso y las actividades que se ejecutan en el mismo, de igual manera se analizaron los posibles problemas en las actividades que no agregan valor en el proceso de extrusión.

2.3.3 FASE ANALIZAR

Para la fase analizar, se desarrolló un diagrama de espina de pescado o Ishikawa, que determinó las causas potenciales dentro de las 6M's analizadas, que generan el efecto de bajo valor agregado de las actividades del proceso de extrusión; se identificó que 2 causas potenciales producen el efecto antes mencionado, los cuales son:

- Layout inadecuado
- Actividades innecesarias dentro del proceso

2.3.4 FASE MEJORAR

Para la fase de mejorar, se ejecutó un cambio en el layout del proceso que permitió mejorar el tiempo de transporte de materia prima al proceso de extrusión, además se realizó un análisis de las actividades que de acuerdo al cursograma analítico de operaciones eran innecesarias y no generaban valor al proceso de extrusión, seguido se realizó un estudio de tiempos de las actividades del proceso, que permitió calcular el tiempo de ciclo por cada tonelada de material fabricado y la capacidad de producción del proceso, posterior a la implementación de las mejoras realizadas, donde se determinó el ratio de operación del proceso de extrusión de Cedal.

2.3.5 FASE CONTROLAR

En la fase controlar, se realizó un cambio al procedimiento de trabajo del proceso de extrusión, donde se estandarizó los cambios propuestos en las fases anteriores de la metodología “Six Sigma”.

2.4 ANÁLISIS DE LA EFICACIA DE LA PRODUCCIÓN EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN

Se determinó para el análisis de la eficacia de la producción en el proceso de extrusión, la implementación de las fases consideradas en la metodología “Six Sigma”, donde se desarrolló herramientas de mejora continua, con el fin de maximizar la eficacia de la producción en el proceso de extrusión de la empresa Cedal.

2.4.1 FASE DEFINIR

En la fase definir, se determinó el nivel de incumplimiento del proceso de extrusión en cuanto al indicador clave de desempeño de eficacia de la producción, donde se consideró que el límite mínimo de aceptación del indicador es del 85% de la planificación de producción y el promedio del KPI actual es del 71%.

2.4.2 FASE MEDIR

En la fase medir, se desarrolló un diagrama SIPOC macro, con el fin de conocer los límites del proceso, seguido se realizó un estudio de la determinación de la planificación de la producción en el proceso de extrusión, donde se analizó el

mejor método de pronóstico de planificación, siendo el suavizado exponencial el mejor método empleado.

2.4.3 FASE ANALIZAR

Para la fase analizar, se desarrolló un diagrama de espina de pescado o Ishikawa, que determinó las causas potenciales dentro de las 6M's analizadas, que generan el efecto de la disminución de la eficacia en el proceso de extrusión; se identificó que 2 causas potenciales producen el efecto antes mencionado, los cuales son:

- Alto porcentaje de productos no conformes
- Falta en de mediciones del tiempo de ciclo del proceso

2.4.4 FASE MEJORAR

Para la fase de mejorar, se determinó las soluciones de las causas potenciales identificadas en la fase analizar, por consiguiente, se consideró que el porcentaje de productos no conformes se redujo al implementar las soluciones propuestas para el mejoramiento del indicador clave de desempeño de cantidad de rechazos de material no conforme, de igual manera en la medición del tiempo de ciclo del proceso de extrusión, donde se determinó el tiempo de ciclo cuando se empleó un estudio de tiempos con el método de muestreo del trabajo, con el fin de incrementar el indicador clave de desempeño de productividad de la fabricación de perfiles extruidos.

2.4.5 FASE CONTROLAR

En la fase controlar, se consideró que el control a las mejoras implementadas en el proceso de extrusión, deben ser monitoreadas en el cumplimiento del porcentaje de la eficacia de la producción, por medio del uso del indicador clave de desempeño de la eficacia de la producción en el proceso de extrusión, donde el promedio del indicador en el tiempo debe ser mayor a la exigencia del proceso, la cual es estar sobre el 85% del cumplimiento.

2.5 ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL TIEMPO DE ENTREGA DE PERFILES EXTRUIDOS

Se determinó para el análisis de la eficiencia del tiempo de entrega de perfiles extruidos, la implementación de las fases consideradas en la metodología "Six Sigma", donde se desarrolló herramientas de mejora continua, con el fin de

optimizar la eficiencia del tiempo de entrega en el proceso de extrusión de la empresa Cedal.

2.5.1 FASE DEFINIR

En la fase definir, se determinó el nivel de incumplimiento del proceso de extrusión en cuanto al indicador clave de desempeño de eficiencia del tiempo de entrega de perfiles extruidos, donde se consideró que el límite mínimo de aceptación del indicador es del 90% del tiempo de entrega del producto y el promedio del KPI actual es del 76%.

2.5.2 FASE MEDIR

En la fase medir, se procedió a la toma de datos de la variable tiempo de entrega real de producción en el proceso de extrusión, con el fin de conocer su capacidad y estabilidad dentro del proceso, para lo cual se realiza un estudio de capacidad utilizando el índice de capacidad potencial del proceso (C_p) y el índice de capacidad real del proceso (C_{pk}).

Con respecto al estudio de estabilidad de la variable crítica de producción, se emplea el uso de cartas de control por medias y rangos, puesto que la variable crítica analizada en el proceso de extrusión es una variable continua.

2.5.3 FASE ANALIZAR

Para la fase analizar, se desarrolló un diagrama de espina de pescado o Ishikawa, que determinó las causas potenciales dentro de las 6M's analizadas, que generan el efecto de incumplimiento de la eficiencia del tiempo de entrega de material; se identificó una causa potencial produce el efecto antes mencionado, la cual fue:

- Tiempo excesivo en la liberación de lotes de producción por cumplimiento a la norma NTE INEN 2250, en cuanto a ensayos mecánicos de los perfiles extruidos.

2.5.4 FASE MEJORAR

Para la fase de mejorar, se realizó un análisis de correlación de las variables Resistencia a la Tracción y Dureza del material correspondiente a perfiles de aluminio, ambas variables son reconocidas como características de salida de calidad del horno de envejecimiento, donde el material adquiere sus propiedades termo mecánicas finales, es decir, adquiere dureza y la resistencia a la tracción,

después de un determinado temple, en el cual depende de los requerimientos del cliente final del producto, por tal motivo, se consideró adecuado realizar un análisis de correlación, utilizando una gráfica de dispersión y un factor de correlación de las variables antes presentadas, para desarrollar un modelo matemático del comportamiento de la resistencia a la tracción, en función de la variable dureza, empleando para el mismo una regresión lineal, seguido se desarrolló una evaluación de la solución propuesta, donde se calculó la capacidad y estabilidad del proceso con las medidas correctivas implementadas.

2.5.5 FASE CONTROLAR

En la fase controlar, se desarrolló una carta de control de medias y rangos para la variable crítica del tiempo de entrega del material, que dio a conocer si el proceso se encontró en control estadístico posterior a la implementación de las mejoras en el proceso de extrusión y si la mejora se mantiene en el tiempo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN INICIAL

CEDAL, considera dentro de la gestión gerencial, el uso de indicadores claves de desempeño o KPI (Key Performance Indicator) dentro de los procesos de la cadena de valor de la empresa, el objetivo de estos KPI es dar a conocer de manera rápida y visual, cual es el estado de una o varias variables de producción que tienen una incidencia directa con la productividad de los procesos.

En el proceso de extrusión de la empresa Cedal, se identificó 4 indicadores claves de desempeño, los cuales ayudan a medir la productividad del proceso; a continuación se presentan los indicadores propuestos:

- Cantidad de rechazos de material no conforme
- Productividad de la fabricación de perfiles extruidos
- Eficacia de la producción en el proceso de extrusión
- Eficiencia del tiempo de entrega de perfiles extruidos

Los datos recolectados para el desarrollo de la presente tesis, corresponden al primer semestre del año 2015, por lo tanto, con base a los datos de producción, tiempos de producción, rechazo por producto no conforme y tiempo de entrega de la producción de material extruido a los posteriores procesos y cliente, se desarrolló el diagnóstico de la situación actual del proceso de extrusión de la empresa Cedal.

3.1.1 SITUACIÓN INICIAL DE LA CANTIDAD DE RECHAZOS DE MATERIAL NO CONFORME

En el proceso de extrusión de la empresa Cedal, se registra mensualmente la cantidad de rechazo de material no conforme versus la cantidad de material procesado o extruido en el mismo mes, por tal razón, con base a los datos obtenidos, se construye el primer KPI propuesto para el presente trabajo.

Los datos son recolectados por el personal del departamento de calidad y extrusión, los cuales, son ingresados dentro del sistema ERP INFOR que mantiene la empresa, con el fin de controlar la producción que se ejecutan en los procesos de la cadena de valor de la organización.

El rechazo de material no conforme dentro del proceso de extrusión, se debe estrictamente a la falta de cumplimiento de parámetros o estándares de calidad que exige el cliente interno de la organización, dichos defectos se encuentran en el Catalogo de Calidad de Cedal, el mismo se lo evidencia en el Anexo II.

3.1.1.1 Rechazo de material por causa

Con base en los estudios realizados por la empresa Cedal, dentro del departamento de calidad, se registra que los potenciales defectos de calidad que se producen en el proceso de extrusión, son los siguientes:

- Dimensional
- Dureza
- Exceso
- Corte
- Rayadura – Prensa
- Torsión
- Burbuja – Hueco
- Pitting
- Piel Naranja
- Descuadrada
- Rasgada
- Corrosión con agua
- Error de largo
- Ondulación

En la Tabla 3.1, se observa la cantidad de material no conforme que se produjo en el proceso de extrusión, dentro del primer semestre del año 2015.

En la Figura 3.1, se describe el Pareto de comportamiento del 20% de las causas vitales que generan el 80% de los rechazos de material en el proceso de extrusión.

En la Figura 3.1 se evidencia que en el primer semestre del año 2015, el 20% de las causas que generan el 80% de los rechazos de productos en el proceso de extrusión de la empresa Cedal, corresponden a los problemas de calidad de dureza y rasgadas.

3.1.1.2 Producción neta vs. Producción no conforme

Con base en los datos obtenidos en el departamento de extrusión, en la Tabla 3.2 se establece la información sobre la producción neta de perfiles extruidos en el primer semestre del año 2015.

En relación a la Tabla 3.2, se puede decir que, en el mes de mayo, existe una disminución de la producción neta de perfiles extruidos, debido a una para de producción por tema de mantenimiento de maquinaria en la segunda quincena del mes, caso similar se aprecia en la Tabla 3.3, donde se reduce en el mismo mes los rechazos de producto no conforme por la misma causa.

3.1.1.3 Indicador actual de rechazos de material no conforme

Con base a los datos recopilados en las Tablas 3.2 y 3.3, se desarrolla el indicador clave de desempeño, cuyo nombre es rechazos de material no conforme; este indicador de desempeño tiene la función de dar a conocer de manera rápida y objetiva, el estado actual del proceso de extrusión en cuanto a la cantidad de material que no ha cumplido con los estándares de calidad que mantiene Cedal para la fabricación de sus productos.

En la Tabla 3.4, se demuestra los datos acumulados del primer semestre del año 2015, correspondientes a las variables de peso del material extruido no conforme y peso neto extruido.

Tabla 3.1. Cantidad de material no conforme del proceso de extrusión en el primer semestre del año 2015

Causa de defecto	Mes 2015						Total (kg)
	Enero (kg)	Febrero (kg)	Marzo (kg)	Abril (kg)	Mayo (kg)	Junio (kg)	
Dimensional	3061,84	413,32	654,53	115,20	466,60	613,70	5325,20
Dureza	14824,18	15841,38	21621,96	16258,74	14633,22	21437,32	104616,79
Exceso	43,90	101,92	14,59	48,98	35,36	46,54	291,29
Corte	1001,93	185,64	59,11	336,86	784,99	214,50	2583,03
Rayadura Prensa	2417,88	2441,09	1035,00	1913,89	1412,19	946,46	10166,51
Torsión	7,90	25,55	36,13	19,49	37,76	43,29	170,11
Burbuja Huecos	3548,21	7217,22	3186,89	3576,20	3183,80	2057,91	22770,23
Pitting	97,50	158,34	211,04	205,19	376,16	313,56	1361,79
Piel Naranja	1665,18	1279,94	915,62	223,58	1044,69	1328,03	6457,05
Descuadrada	21,25	33,10	225,49	34,24	65,76	59,04	438,88
Rasgada	8891,41	8436,85	6123,17	7316,56	5170,26	4805,61	40743,86
Corrosión Agua	279,20	202,99	1462,40	2089,33	1186,85	1046,11	6266,87
Error de Largo	354,33	15,64	270,10	296,82	512,56	756,46	2205,90
Ondulación	34,43	922,26	17,18	932,68	1263,84	122,77	3293,16
Total	36249,14	37275,24	35833,19	33367,76	30174,03	33791,31	

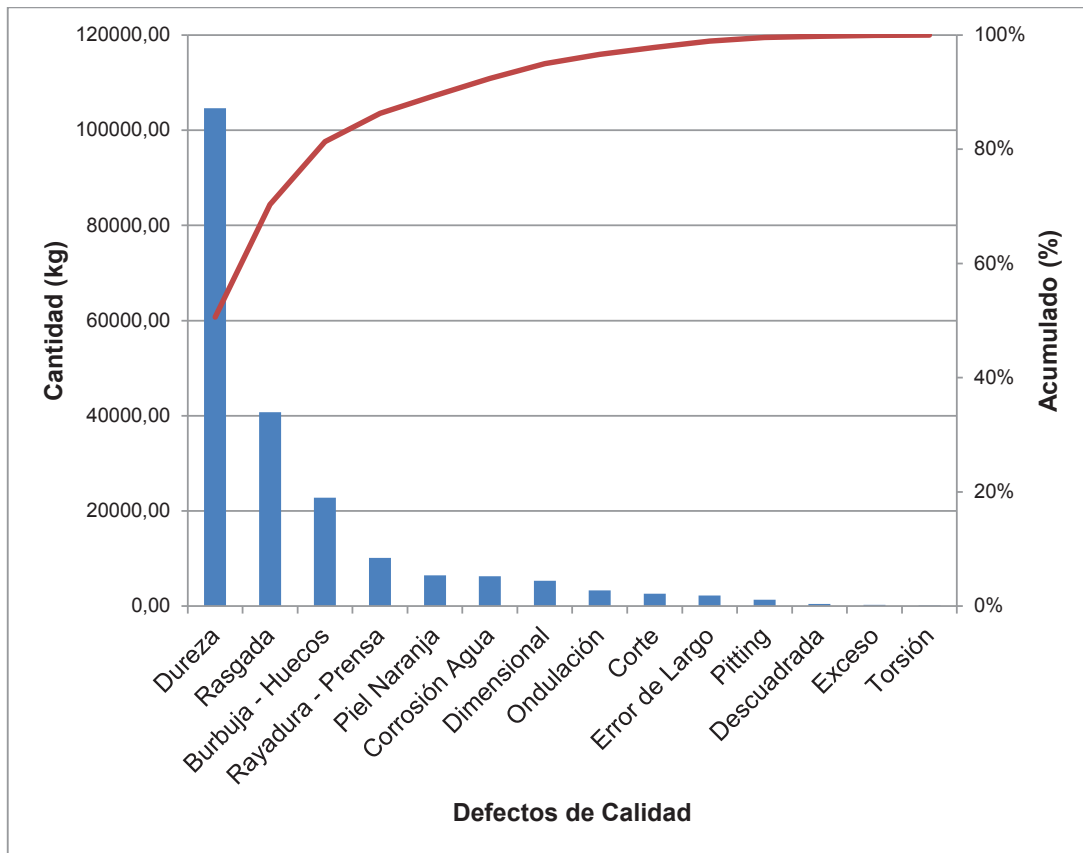


Figura 3.1. Pareto de los defectos de calidad por causa del primer semestre del año 2015 en el proceso de extrusión

Tabla 3.2. Producción neta de perfiles extruidos en el primer semestre del año 2015

Mes/2015	Producto neto extruido (kg)
enero	667598,56
febrero	723512,87
marzo	633698,45
abril	612458,49
mayo	507677,10
junio	522909,50
Total	3667854,97

Tabla 3.3. Producto no conforme de perfiles extruidos en el primer semestre del año 2015

Mes/2015	Producto no conforme (kg)
enero	36249,14
febrero	37275,24
marzo	35833,19
abril	33367,76
mayo	30174,03
junio	33791,31
Total	206690,67

Con base a los datos de la Tabla 3.4, se obtiene y demuestra en la Tabla 3.5, la aplicación de la fórmula 2.1, en cuanto al KPI de rechazos, el cual indica de forma diferencial y acumulada el comportamiento de la tendencia del KPI en el tiempo.

Por lo tanto, en este contexto, se puede observar en la Figura 3.2, el desenvolvimiento del indicador en el tiempo por medio de la tendencia.

Se observa en la Figura 3.2, que la tendencia en los últimos 3 meses del primer semestre del 2015, se encuentran con una tendencia al alza, es decir, a medida que el indicador de cantidad de rechazos de material no conforme aumente, se disminuye la productividad del proceso de extrusión de la empresa Cedal.

3.1.2 SITUACIÓN INICIAL DE LA PRODUCTIVIDAD EN LA FABRICACIÓN DE PERFILES EXTRUIDOS

Para la determinación de la productividad en la fabricación de perfiles de aluminio, se toma en consideración 2 aspectos fundamentales, los cuales son: Número de personas que laboran en el proceso de extrusión y total del peso neto extruido.

En la Tabla 3.6, se presenta el comportamiento de los aspectos antes mencionados, evaluados en las primeras 24 semanas del año 2015.

Como se demuestra en la Tabla 3.6, se determina el total de trabajadores del proceso de extrusión, los cuales laboran en los tres turnos de producción diario

Tabla 3.4. Datos acumulados del material extruido no conforme y producción neta

Mes/2015	Producto no conforme (kg)	Producto no conforme acumulado (kg)	Producto neto extruido (kg)	Producto neto extruido acumulado (kg)
enero	36249,14	36249,14	667598,56	667598,56
febrero	37275,24	73524,38	723512,87	1391111,43
marzo	35833,19	109357,57	633698,45	2024809,88
abril	33367,76	142725,33	612458,49	2637268,37
mayo	30174,03	172899,36	507677,10	3144945,47
junio	33791,31	206690,67	522909,50	3667854,97

Tabla 3.5. Indicador de rechazos diferencial y acumulado en el primer semestre del año 2015

Mes/2015	Indicador rechazos de material no conforme	Indicador rechazos de material no conforme acumulado
enero	5,43%	5,43%
febrero	5,15%	5,29%
marzo	5,65%	5,40%
abril	5,45%	5,41%
mayo	5,94%	5,50%
junio	6,46%	5,64%

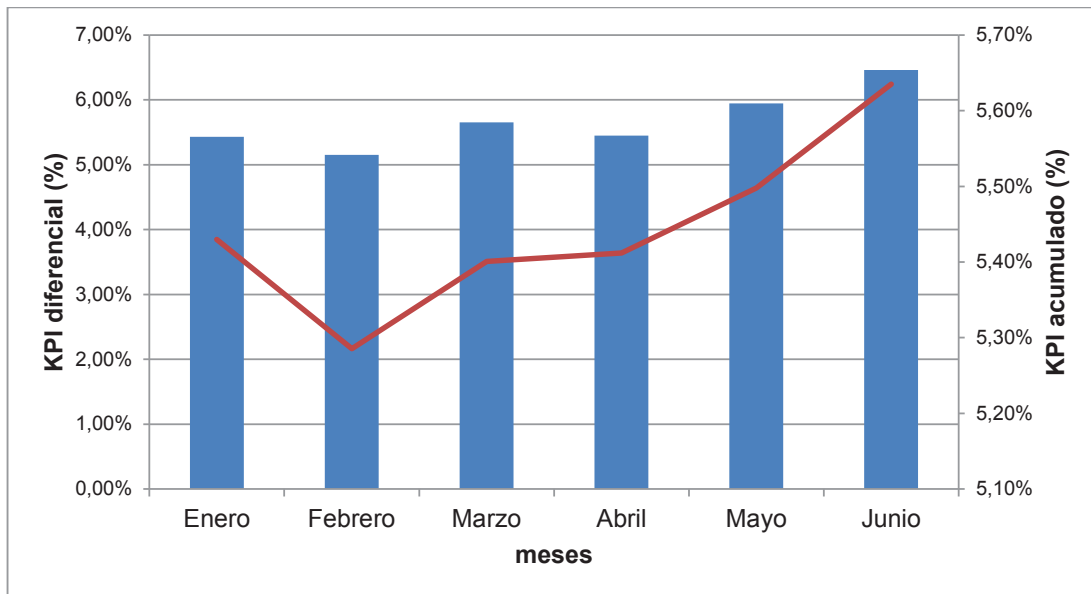


Figura 3.2. Análisis de tendencia del KPI rechazos en el primer semestre del año 2015

que maneja la empresa Cedal, de igual manera, se puede evidenciar que con el personal que se describe en el proceso, se realiza un total de 600 h-h trabajadas por semana.

3.1.2.1 Indicador actual de productividad del proceso de extrusión

El indicador de productividad de la fórmula 2.2, tiene como objetivo, el reconocimiento rápido y conciso para la representación de la eficiencia del recurso mano de obra y la eficacia en el cumplimiento del plan de producción del proceso de extrusión de la empresa Cedal.

En la Tabla 3.7, se demuestra los datos acumulados del primer semestre del año 2015, correspondientes a las variables kg netos extruidos y las hora – hombre trabajadas.

Con base a los datos de la Tabla 3.7, se obtiene y demuestra en la Tabla 3.8, la aplicación de la fórmula 3.2, en cuanto al KPI de productividad, el cual indica de forma diferencial y acumulada el comportamiento de la tendencia del KPI en el tiempo.

Una vez, obtenida de forma diferencial y acumulada el indicador de productividad, la Figura 3.3, revela el comportamiento del indicador en el tiempo, el mismo se representa por la línea de tendencia.

Tabla 3.6. Horas – Hombre trabajadas y peso neto extruido en el primer semestre 2015

Mes	Semana	Nº de personas	Horas Laboradas por semana	Horas-hombre trabajadas (h-h)	Peso neto extruido (kg)
enero	1	15	40	600	158974,12
enero	2	15	40	600	162852,39
enero	3	15	40	600	171236,24
enero	4	15	40	600	174535,81
febrero	5	15	40	600	183547,25
febrero	6	15	40	600	177258,32
febrero	7	15	40	600	178741,46
febrero	8	15	40	600	183965,84
marzo	9	15	40	600	156981,37
marzo	10	15	40	600	157357,18
marzo	11	15	40	600	158723,11
marzo	12	15	40	600	160636,79
abril	13	15	40	600	151589,88
abril	14	15	40	600	153964,87
abril	15	15	40	600	149785,24
abril	16	15	40	600	157118,50
mayo	17	15	40	600	138125,31
mayo	18	15	40	600	125987,57
mayo	19	15	40	600	121582,82
mayo	20	15	40	600	121981,40
junio	21	15	40	600	128951,54
junio	22	15	40	600	131574,86
junio	23	15	40	600	129365,64
junio	24	15	40	600	133017,46

Se evidencia en la Figura 3.3, que la productividad tiene una tendencia a la baja, a partir de la octava semana de producción en el año 2015, esto se debe a la baja generación de perfiles netos extruidos, la cual no cumple con lo dispuesto en el plan de producción de la empresa.

Tabla 3.7. Datos acumulados de las variables peso neto extruido y hora-hombre trabajadas en el primer semestre del año 2015

Mes	Semana	Horas-hombre Trabajadas (h-h)	Horas-hombre trabajadas acumuladas (h-h)	Peso neto extruido (kg)	Peso neto extruido acumulado (kg)
enero	1	600	600	158974,12	158974,12
enero	2	600	1200	162852,39	321826,51
enero	3	600	1800	171236,24	493062,75
enero	4	600	2400	174535,81	667598,56
febrero	5	600	3000	183547,25	851145,81
febrero	6	600	3600	177258,32	1028404,13
febrero	7	600	4200	178741,46	1207145,59
febrero	8	600	4800	183965,84	1391111,43
marzo	9	600	5400	156981,37	1548092,8
marzo	10	600	6000	157357,18	1705449,98
marzo	11	600	6600	158723,11	1864173,09
marzo	12	600	7200	160636,79	2024809,88
abril	13	600	7800	151589,88	2176399,76
abril	14	600	8400	153964,87	2330364,63
abril	15	600	9000	149785,24	2480149,87
abril	16	600	9600	157118,50	2637268,37
mayo	17	600	10200	138125,31	2775393,68
mayo	18	600	10800	125987,57	2901381,25
mayo	19	600	11400	121582,82	3022964,07
mayo	20	600	12000	121981,40	3144945,47
junio	21	600	12600	128951,54	3273897,01
junio	22	600	13200	131574,86	3405471,87
junio	23	600	13800	129365,64	3534837,51
junio	24	600	14400	133017,46	3667854,97

Tabla 3.8. Indicador de productividad diferencial y acumulada en el primer semestre del año 2015

Mes	Semana	Indicador de productividad (kg/h-h)	Indicador de productividad Acumulado (kg/h-h)
enero	1	264,96	264,96
enero	2	271,42	268,19
enero	3	285,39	273,92
enero	4	290,89	278,17
febrero	5	305,91	283,72
febrero	6	295,43	285,67
febrero	7	297,90	287,42
febrero	8	306,61	289,81
marzo	9	261,64	286,68
marzo	10	262,26	284,24
marzo	11	264,54	282,45
marzo	12	267,73	281,22
abril	13	252,65	279,03
abril	14	256,61	277,42
abril	15	249,64	275,57
abril	16	261,86	274,72
mayo	17	230,21	272,10
mayo	18	209,98	268,65
mayo	19	202,64	265,17
mayo	20	203,30	262,08
junio	21	214,92	259,83
junio	22	219,29	257,99
junio	23	215,61	256,15
junio	24	221,70	254,71

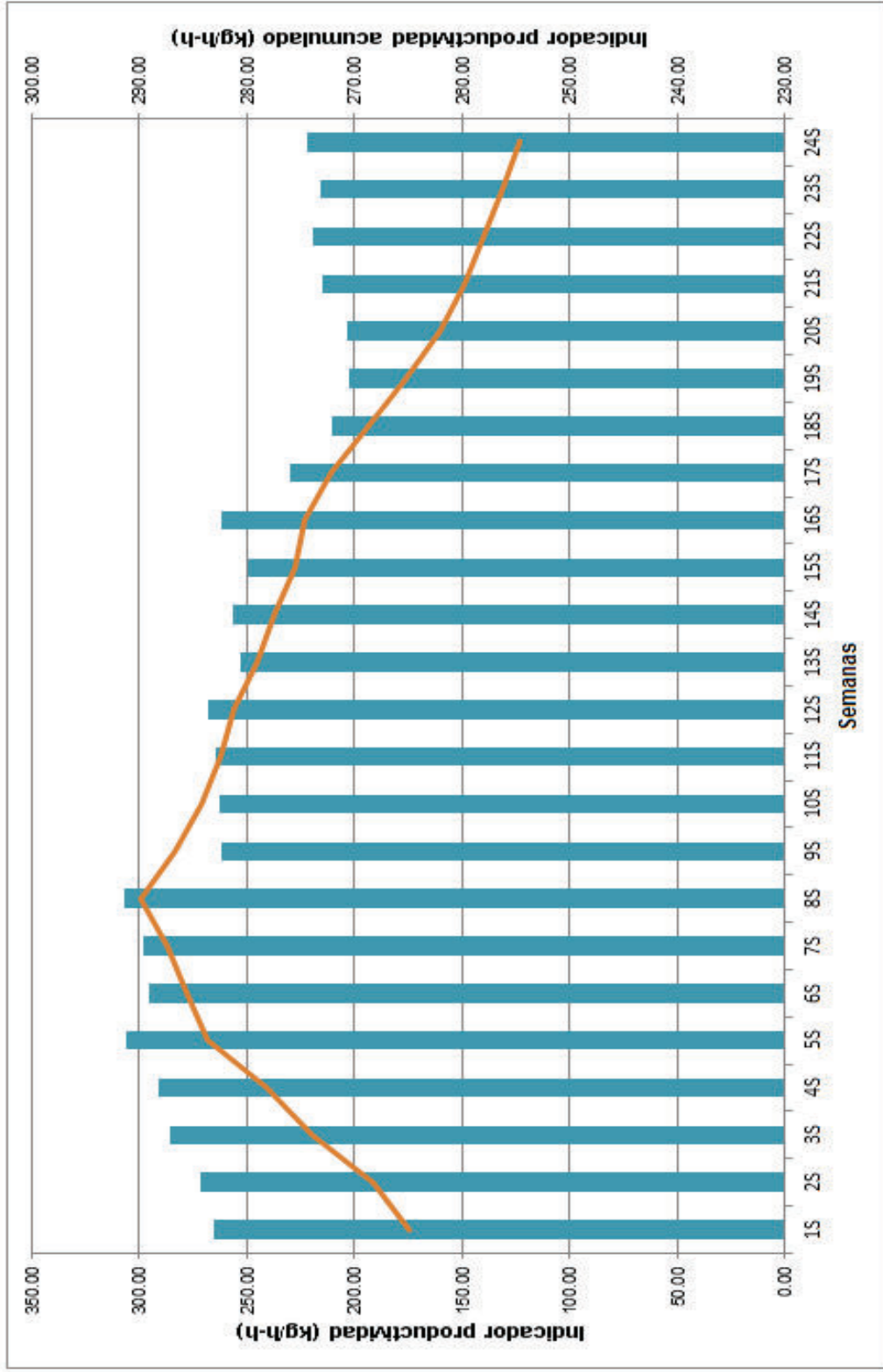


Figura 3.3. Análisis de tendencia del KPI Productividad en el primer semestre del año 2015

3.1.2.2 Diagrama de flujo actual del proceso de extrusión

En la Figura 3.4, se demuestra el diagrama de flujo actual del proceso de extrusión de la empresa Cedral.

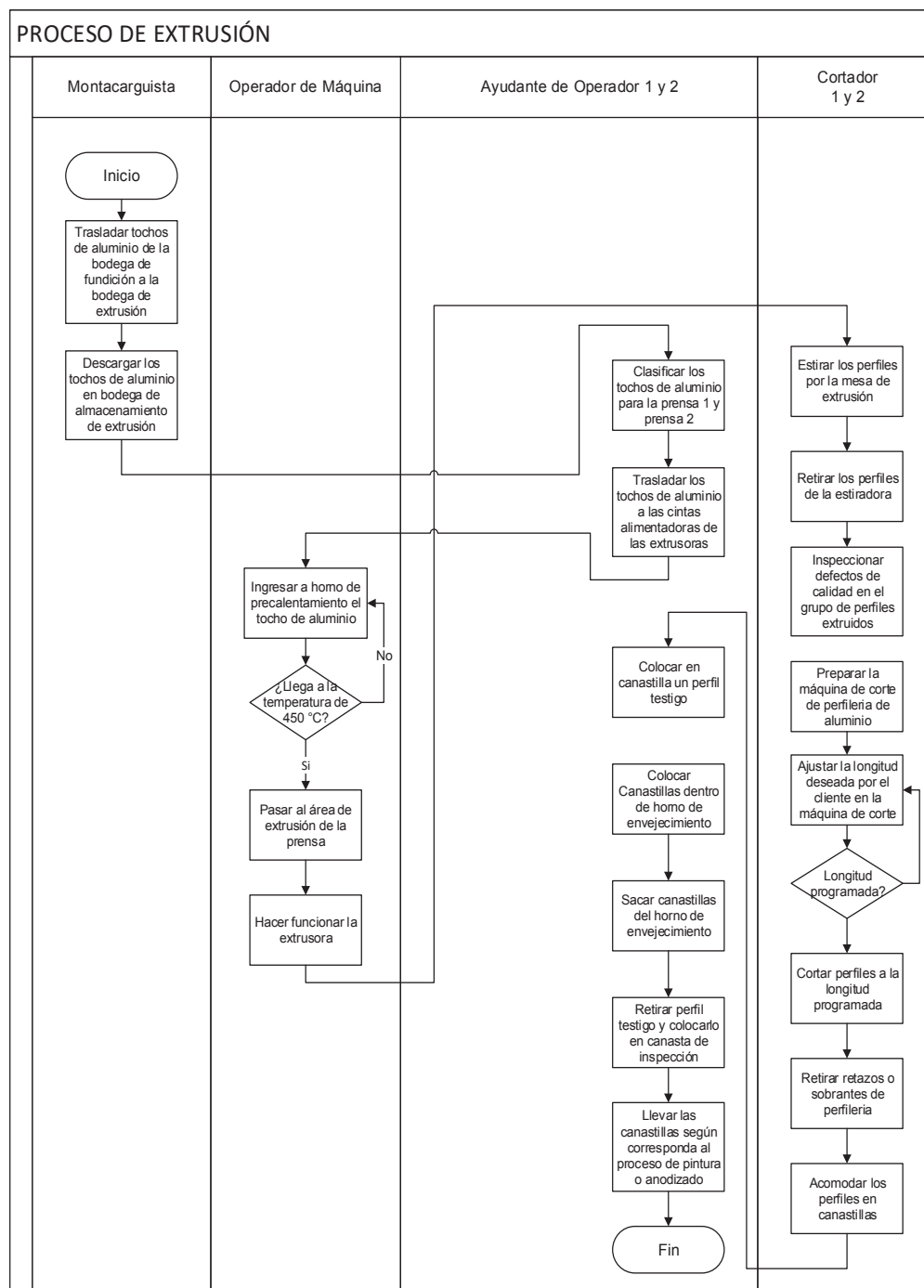


Figura 3.4. Diagrama de Flujo actual del proceso de extrusión

El diagrama de flujo del proceso de extrusión, toma en consideración, la participación del personal involucrado en un turno de trabajo, el mismo se conforma por 5 trabajadores.

El montacarguista es considerado dentro del diagrama de flujo de operaciones, debido a que la actividad de transportar la materia prima desde la bodega de fundición al área de extrusión, se considera el comienzo del proceso.

3.1.2.3 Tiempo estándar de las actividades actuales del proceso de extrusión

En la empresa Cedal, no se ha realizado estudios en el que se involucren tiempos estándar en las actividades que se realizan, por tal motivo, no se cuenta con datos que sustenten el tiempo que se demoran los operadores en realizar el trabajo en cada uno de los procesos de la cadena de valor de la empresa.

Se considera, para el desarrollo de la presente tesis, la utilización del método de recopilación de datos de tiempo según expertos, es decir, se consulta la opinión de los trabajadores con mayor experiencia en la ejecución de las actividades.

Se toma en cuenta la opinión de 4 trabajadores del proceso de extrusión, que poseen un tiempo mayor de 5 años en su puesto de trabajo, tiempo suficiente para realizar un promedio de los tiempos estándar de cada una de las actividades que se realizan en el proceso.

En la Tabla 3.9, se demuestra los tiempos estándar y tiempo de ciclo de las actividades del proceso de extrusión, para la misma se realizó un promedio simple y desviación estándar de los tiempos consultados a los 4 trabajadores.

El tiempo estándar considerado en la Tabla 3.9, de cada una de las actividades del proceso de extrusión, se considera el tiempo empleado para producir 1 tonelada de producto extruido.

Tabla 3.9. Recopilación de tiempos estándar de las actividades del proceso de extrusión según expertos

Actividad	tiempos estándar consultados a cada trabajador				Promedio (min/ton)	Desv. Estándar (min/ton)
	tiempo trabajador 1 (min/ton)	tiempo trabajador 2 (min/ton)	tiempo trabajador 3 (min/ton)	tiempo trabajador 4 (min/ton)		
Trasladar tochos de aluminio de la bodega de fundición a la bodega de extrusión	5,00	4,00	6,00	5,50	5,13	0,85
Descargar los tochos de aluminio en bodega de almacenamiento de extrusión	3,00	2,50	3,50	3,00	3,00	0,41
Clasificar los tochos de aluminio para la prensa 1 y prensa 2	3,00	4,00	3,50	4,00	3,63	0,48
Trasladar los tochos de aluminio a las cintas alimentadoras de las extrusoras	3,50	3,00	3,00	3,00	3,13	0,25
Ingresar a horno de precalentamiento el tocho de aluminio	2,50	2,00	2,00	3,00	2,38	0,48
Pasar al área de extrusión de la prensa	1,50	1,00	2,00	1,50	1,50	0,41
Hacer funcionar la extrusora	1,00	1,50	1,00	1,00	1,13	0,25
Estirar los perfiles por la mesa de extrusión	4,00	5,00	4,80	5,00	4,70	0,48

Tabla 3.9. Recopilación de tiempos estándar de las actividades del proceso de extrusión según expertos (continuación...)

Inspeccionar defectos de calidad en el grupo de perfiles extruidos	6,00	5,00	5,00	5,50	5,38	0,48
Preparar la máquina de corte de perfilera de aluminio	4,00	3,00	3,00	4,00	3,50	0,58
Ajustar la longitud deseada por el cliente en la máquina de corte	1,00	1,00	0,50	1,00	0,88	0,25
Cortar perfiles a la longitud programada	2,00	2,00	3,00	2,00	2,25	0,50
Retirar retazos o sobrantes de perfilera	0,50	1,00	0,80	1,00	0,83	0,24
Acomodar los perfiles en canastillas	8,00	7,00	9,00	8,00	8,00	0,82
Colocar en canastilla un perfil testigo	0,50	1,00	0,50	0,50	0,63	0,25
Colocar Canastillas dentro de horno de envejecimiento	4,50	4,00	4,00	5,00	4,38	0,48
Sacar canastillas del horno de envejecimiento	6,00	6,50	7,00	6,00	6,38	0,48
Retirar perfil testigo y colocarlo en canasta de inspección	0,50	0,50	1,00	1,00	0,75	0,29
Llevar las canastillas según corresponda al proceso de pintura o anodizado	4,00	5,00	5,00	6,00	5,00	0,82
Tiempo de Ciclo:					62,53	<i>min/ton</i>

3.1.2.4 Cursograma analítico de operaciones actual del proceso de extrusión

En el cursograma analítico de operaciones del proceso de extrusión, se reconoce y evidencia las actividades de trabajo que realizan los operadores del proceso, en cuanto a tiempo y desplazamiento recorrido para efectuar dichas actividades, en el mismo se representa por un gráfico que demuestra secesión en las actividades, por lo tanto, se utiliza la simbología básica de registro, el cual consta de gráficos como: operación, inspección, transporte, espera y almacenamiento.

El tiempo estándar que se considera en cada actividad, dentro del cursograma analítico de operaciones, corresponde al indicado en la Tabla 3.9, donde se incluye el tiempo de ciclo de las actividades del proceso de extrusión.

En la Figura 3.5, se puede observar el cursograma analítico de operaciones del proceso de extrusión actualmente.

Se puede observar en el cursograma analítico de operaciones, que las actividades desarrolladas en el proceso de extrusión, son distribuidas dentro de la simbología básica de registro, siendo la simbología de transporte de material la de mayor número de actividades.

Se evidencia de igual manera, que por motivo de layout de la planta industrial de Cedal, la actividad que requiere de un mayor desplazamiento, corresponde a la transportación de materia prima para el proceso de extrusión, la cual es recogida en otro punto de la planta, específicamente del proceso de fundición.

Es decir, con base a los datos registrados en la Figura 3.5, se puede argumentar, que las actividades del proceso de extrusión de la empresa Cedal, pueden ser mejoradas en el tiempo de ejecución de las mismas.

Por lo tanto, al conocer el tiempo de ciclo del proceso de producción, se puede definir la capacidad de producción del proceso de extrusión.

Cursograma Analítico										
Diagrama Num.	1	Hoja Num.	1 de 1	Resumen						
Objeto:	Conocer la situación actual del diagrama de operaciones del proceso de extrusión de la empresa Cedral			Actividad	Actual	Propuesta	Economía			
Actividad:	Lista de Actividades del proceso de extrusión de la empresa Cedral			Operación	○	4				
Metodo :	Actual / Propuesto Actual			Transporte	⇒	9				
Lugar:	Proceso de extrusión			Inspeccion	□	1				
Operario (s) :	5		Ficha Num.	1		Almacenamiento	▽	4		
Compuesto por:	Ing. Luis Garcés		Fecha:	20/07/15		Demora	D	1		
Aprobado por:	Ing. Iván Granda		Fecha:	20/07/15		Distancia (m)	485			
				Tiempo de ciclo (min)					62.53	
				Simbolo						
Descripcion	Cantidad (kg)	Distancia (m)	Tiempo (min)	○	⇒	D	□	▽	Observaciones	
Trasladar tochos de aluminio de la bodega de fundición a la bodega de extrusión	1000	366	5.13		X					
Descargar los tochos de aluminio en bodega de almacenamiento de extrusión	1000	25	3.00					X		
Clasificar los tochos de aluminio para la prensa 1 y prensa 2	1000	5	3.63					X		
Trasladar los tochos de aluminio a las cintas alimentadoras de las extrusoras	1000	3	3.13		X					
Ingresar a horno de precalentamiento el tocho de aluminio	1000	2	2.38	X						
Pasar al área de extrusión de la prensa	1000	3	1.50		X					
Hacer funcionar la extrusora	1000	0	1.13	X						
Estirar los perfiles por la mesa de extrusión	1000	26	4.70	X						
Inspeccionar defectos de calidad en el grupo de perfiles extruidos	1000	8	5.38					X		
Preparar la máquina de corte de perfilera de aluminio	1000	0	3.50	X						
Ajustar la longitud deseada por el cliente en la máquina de corte	1000	0	0.88	X						
Cortar perfiles a la longitud programada	1000	0	2.25	X						
Retirar retazos o sobrantes de perfilera	1000	0	0.83					X		
Acomodar los perfiles en canastillas	1000	10	8.00	X						
Colocar en canastilla un perfil testigo	1000	0	0.63		X					
Colocar Canastillas dentro de horno de envejecimiento	1000	15	4.38	X						
Sacar canastillas del horno de envejecimiento	1000	5	6.38	X						
Retirar perfil testigo y colocarlo en canasta de inspección	1000	2	0.75		X					
Llevar las canastillas según corresponda al proceso de pintura o anodizado	1000	15	5.00		X					
Total		485	62.53	9	6	1	2	1		

Figura 3.5. Cursograma analítico de operaciones actual del proceso de extrusión

3.1.2.5 Capacidad de producción actual del proceso de extrusión

Con base a los datos obtenidos en la Tabla 3.9, se determina la capacidad de producción del proceso de extrusión de Cedal, ya que se recopiló los tiempos estándar de fabricación de las actividades desarrolladas en el proceso de extrusión para una producción de 1000 kg.

El tiempo de ciclo del proceso corresponde a 62.53 min/ 1000 kg o 0.062 min/ kg. Para la determinación de la capacidad de producción, se utiliza la fórmula 3.1, la cual indica lo siguiente:

$$C_p = \frac{1}{T_c} = \frac{1}{0.062 \text{ min/kg}} = 15,99 \text{ kg/min} \quad [3.1]$$

La capacidad de producción actual del proceso, corresponde entonces, a 15,99 kg/min, el cual debe ser mejorado, por medio de la reducción del tiempo estándar de las actividades del proceso.

3.1.2.6 Tasa de operación actual del proceso de extrusión

Para determinar la tasa de operación de las actividades que agregan valor en el proceso de extrusión de la empresa Cedal, se considera lo dispuesto en el cursograma analítico de operaciones de la Figura 3.5, donde se determina de acuerdo a la simbología básica de registro que actividades del proceso corresponden a operaciones, transporte, demoras, inspecciones y almacenajes.

Con base a los datos recopilados en la Figura 3.5, se desarrolla la Tabla 3.10, que resume el número de actividades de acuerdo a la simbología básica de registro.

En función de los datos resumen de la Tabla 3.10, se aplica la fórmula 3.2, la cual busca determinar el porcentaje de valor agregado actual de las actividades del proceso de extrusión de la empresa Cedal.

$$TO = \frac{\text{Operaciones}}{\text{Operación+transporte+demoras+inspecciones+almacenajes}} * 100\% \quad [3.2]$$

$$\text{Tasa de Operación} = \frac{9}{19} * 100\% = 47,36 \%$$

Con base a los resultados de la aplicación de la fórmula 3.4, se puede evidenciar que el proceso de extrusión de la empresa Cedal, genera un 47,36 % de valor agregado en las actividades que realiza, es decir, que las actividades del proceso de extrusión deben ser mejoradas, con el objetivo de generar un mayor valor agregado a la empresa.

Tabla 3.10. Resumen de actividades del proceso de extrusión según la simbología básica de registro

Simbología básica de registros	Número de Actividades
Operación	9
Transporte	6
Demora	1
Inspección	2
Almacenaje	1
Total	19

3.1.3 SITUACIÓN ACTUAL DE LA EFICACIA DE LA PRODUCCIÓN EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN

En la empresa Cedal, maneja un departamento de planificación de la producción, en el cual, se determina con anterioridad, a través de un plan de producción, el material que será fabricado, el plan de producción es aplicado a los proceso de la cadena de valor de la empresa.

Para el desarrollo de la presente tesis, se consideró el plan de producción en el proceso de extrusión, utilizando los datos del primer semestre del año 2015.

El plan de producción se lo realiza, con base a los datos obtenidos en un pronóstico de ventas y producción, en el cual, se fabrica la perfileria de aluminio para complemento de inventario de seguridad en las bodegas o cuando se recibe un pedido puntual de un cliente externo o interno de la empresa; este último

método, debe ser incluido al plan de producción, alternado en ciertas circunstancias, la planificación de producción en los distintos procesos, de acuerdo a las necesidades del cliente.

El plan de producción estimado, es comparado mensualmente con lo neto producido en los procesos de la cadena de valor, para determinar que la eficacia de la planificación, no sufra un desvío importante que altere los pedidos de los clientes de la empresa.

3.1.3.1 Planificación de la producción en el proceso de extrusión

La planificación de la producción del proceso de extrusión y de los demás procesos de la empresa Cedal, se los centraliza en el departamento del mismo nombre, donde por medio de modelos de pronósticos se determina la producción de la planta industrial por un periodo de un año, donde los mismos se los puede modificar de acuerdo a la demanda del mercado nacional e internacional.

Los modelos de pronósticos utilizados, son elaborados en función de un histórico de producción, dicho histórico de producción se lo toma en función del último año de manufactura de la fábrica.

La determinación del mejor modelo o pronóstico de producción, se lo considera, por medio de métodos de series de tiempo, la cual considera en alto grado los datos históricos de la demanda que se hayan recolectado en los distintos departamentos de la cadena de valor de la empresa.

En Anexo III, se muestra los modelos de series de tiempo empleados para la determinación del mejor pronóstico de producción para el año 2015, la misma se presenta de manera mensual para dicho año.

En la Figura A III.1, se evidencia la gráfica de los métodos de series de tiempo empleadas para determinar el pronóstico de producción en el proceso de extrusión de la empresa Cedal, para el año 2015.

Con base a los datos presentados en el Tabla A III.1, se determina cual es el mejor método de pronóstico que empleará Cedal para la programación de la producción del proceso de extrusión para el año 2015, con este propósito, se desarrolla la Tabla A III.2, donde se explica por medio del error del pronóstico, cual es el método más adecuado para la programación.

Los errores de pronóstico que se analizan en la Tabla A III.2, corresponden al error cuadrático medio (MSE), y la desviación media absoluta (MAD).

El método de suavizado exponencial con $\alpha = 9$, es el método que fue escogido por Cedal para la programación de la producción en el proceso de extrusión, debido a su bajo error cuadrático medio y desviación media absoluta, es decir, el método de suavizado exponencial, es el que mejor se ajusta a la demanda real de producción en el proceso de extrusión.

Una vez, que se explica cómo el proceso de extrusión de la planta de Cedal, realiza su planificación y/o programación de la producción, se compara entonces con los datos reales obtenidos en el primer semestre del año 2015, con el fin de conocer la el nivel de cumplimiento de la eficacia de la producción en el proceso de extrusión.

3.1.3.2 Indicador actual de la eficacia de producción del proceso de extrusión

Con base en los datos obtenidos en la Tabla A III.2, se desarrolla el indicador de eficacia de la producción en el proceso de extrusión, para lo cual se utiliza la fórmula 2.3.

En este contexto, se presenta en la Tabla 3.11, el peso neto producido y el peso de material programado de forma diferencial y acumulada en la producción del proceso de extrusión de la empresa Cedal correspondiente al primer semestre del año 2015.

En el cual, el peso programado corresponde a los datos calculados con el método de pronóstico de la producción de suavizamiento exponencial con un $\alpha = 9$.

Tabla 3.11. Resumen del peso neto producido y el peso de material programados del primer semestre del 2015

Periodo	Peso neto producido (kg)	Peso neto producido acumulado (kg)	Peso de material programado (kg)	Peso de material programado acumulado (kg)	Indicador de eficacia	Indicador de eficacia acumulado
ene-15	667598,56	667598,56	861725,00	861725,00	77%	77%
feb-15	723512,87	1391111,43	867991,00	1729716,00	83%	80%
mar-15	633698,45	2024809,88	866718,00	2596434,00	73%	78%
abr-15	612458,49	2637268,37	869081,00	3465515,00	70%	76%
may-15	507677,10	3144945,47	867411,00	4332926,00	59%	73%
jun-15	522909,50	3667854,97	868650,00	5201576,00	60%	71%

Con base a los datos obtenidos en la Tabla 3.11, se ejecuta la fórmula del indicador de eficacia de la producción para el primer semestre del año 2015, donde se busca determinar el porcentaje promedio de cumplimiento del indicador, a través de la línea de tendencia.

En la Figura 3.6, se detalla el comportamiento del indicador o KPI de la eficacia de la producción de los 6 primeros meses del año 2015.

Se evidencia que, el porcentaje promedio de cumplimiento o eficacia de la producción del periodo analizado, corresponde al 71 % de lo programado, donde se toma como línea base al mes de junio, esto puede deberse a temas de rechazo de material extruido no conforme y a la capacidad de producción del proceso de extrusión de la empresa.

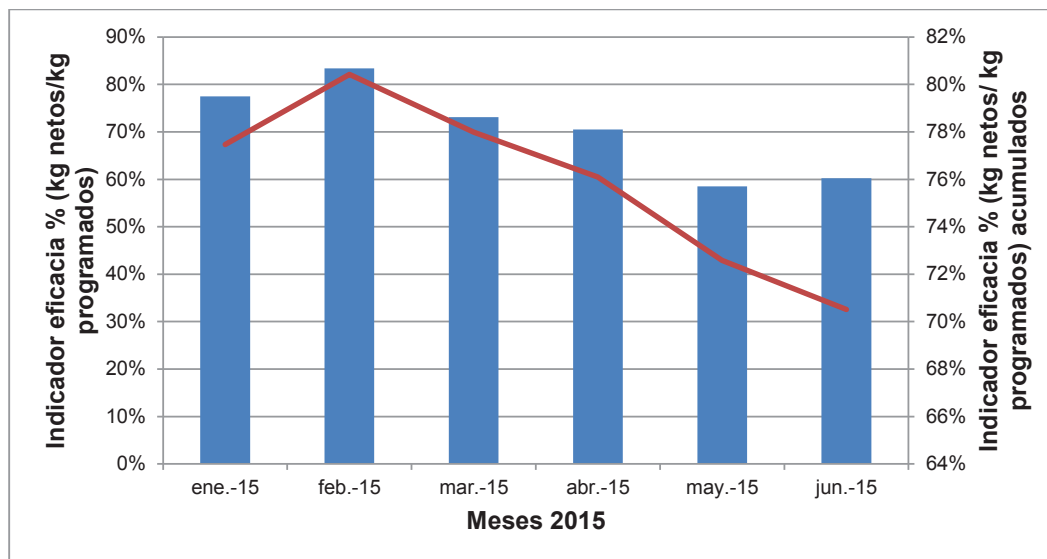


Figura 3.6. KPI eficacia de la producción del proceso de extrusión del primer semestre 2015

De igual manera, se evidencia que en el mes de mayo, se obtiene el porcentaje de eficacia de producción del proceso de extrusión bajo, debido al paro de mantenimiento de las máquinas extrusoras de aluminio en la planta de producción de Cedal.

Con los resultados provistos en la Figura 3.6, se puede considerar que la eficacia de la producción del proceso de extrusión de Cedal, requiere de una mejora inmediata, ya que los porcentajes promedios observados en los últimos 6 meses, no sobrepasan del estándar de producción, que es del 85% en el cumplimiento de entrega al siguiente proceso de anodizado o pintura.

3.1.4 SITUACIÓN ACTUAL DE LA EFICIENCIA DEL TIEMPO DE ENTREGA DE PERFILES EXTRUIDOS

Para determinar la eficiencia de entrega de los perfiles extruidos siguientes procesos de la cadena de valor de la empresa Cedal, se reconoce una planificación de tiempos de entrega en función del tiempo de ciclo del proceso de extrusión, el cual se conoce es 62.53 min/1000 kg, es decir, es el tiempo que se demora el proceso en producir un lote de 1000 kg, de una cierta referencia o tipo de producto.

Los procesos de anodizado y pintura, requieren como un lote mínimo para su funcionamiento de 3000 kg de perfil extruido, debiendo así, completar 3 lotes de producción del proceso de extrusión, para que se ponga en funcionamiento los procesos subsiguientes.

De acuerdo, a lo estipulado en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2250:2013 “*Aluminio. Perfiles, barras, varillas y tubos extruidos. Requisitos e Inspección*”, los perfiles, barras, varillas y tubos extruidos de aluminio cuando se encuentran en su estado termo mecánico final, es decir, cuando han recibido el tratamiento de temple, deben ser sometidos a un ensayo mecánico previo a la entrega a los siguientes procesos de anodizado o pintura, esto con el fin de determinar su cumplimiento con los parámetros de la norma en cuanto a resistencia a la tracción (MPa), límite de fluencia (MPa) y alargamiento a 50 mm (%).

Cedal, es una empresa que se encuentra certificada bajo ocho sellos de calidad INEN (Servicio Ecuatoriano de Normalización), los mismos que han sido emitidos a los siguientes productos:

- Perfiles de aluminio, Tipo Arquitectónico
- Perfiles de aluminio. Tipo Estructural
- Barras de aluminio. Tipo Arquitectónico
- Barras de aluminio. Tipo Estructural
- Varillas de aluminio. Tipo Arquitectónico
- Varillas de aluminio. Tipo Estructural
- Tubos de aluminio. Tipo Arquitectónico
- Tubos de aluminio. Tipo Estructural

Por tal motivo, Cedal se encuentra obligada a realizar, para la conformidad del producto, todos los requisitos que solicite la NTE INEN 2250:2013.

La afectación que esto produce a la eficiencia de entrega de los perfiles de aluminio, corresponde a que, los lotes de producción que genera el proceso de extrusión y que se encuentran en su estado termo mecánico final, deben ser

mantenidos en el proceso de producción de extrusión, hasta que haya la aceptación por parte del laboratorio de calidad de Cedal, es decir, que no se puede liberar el material a los procesos de anodizado y pintura respectivamente, y deben permanecer aislados e identificados hasta el resultado del laboratorio de calidad.

3.1.4.1 Tiempo planificado de entrega de perfiles extruidos

La planificación de tiempo de entrega de perfiles extruidos, se encuentra a cargo del departamento de planificación de la producción, los mismos realizan una planificación semanal en cuanto al número de días en que debe ser entregado un lote mínimo de producción, al proceso subsiguiente de anodizado o pintura.

La planificación del tiempo de entrega del material, se mantiene en un estándar de 5 días para la entrega, debido a que se encuentra planificada la producción del proceso de extrusión, según los métodos de pronóstico de series de tiempo que utiliza la empresa Cedal.

En la Tabla 3.12, se puede evidenciar la planificación del tiempo de entrega del material de forma semanal y considerando que el número de días planificados para la entrega de los lotes de material es de 5 días, correspondiente al primer semestre del año 2015.

3.1.4.2 Tiempo de entrega real en la producción de perfiles extruidos

En la Tabla 3.13, se demuestra el número de días reales, que utilizó el proceso de extrusión para entregar el material a los procesos de anodizado y pintura, se considera el número de días planificados en una constante de 5 días.

Con base a los datos de la Tabla 3.13, se evidencia que se mantiene un promedio de entrega de material de días, con una desviación estándar de días, es decir, no se cumple con la entrega de material en los días planificados por el departamento, ya que existen retrasos en la liberación de los lotes de perfilera en el proceso de extrusión de la empresa Cedal, esto implica un retraso en la entrega

del material al cliente externo, reduciendo así la productividad del proceso de extrusión y de la planta en general.

Tabla 3.12. Planificación del tiempo de entrega de perfiles extruidos en el primer semestre del 2015

Semana de Producción	Lote mínimo de entrega (kg)
1	158974,00
2	162852,00
3	171236,00
4	174536,00
5	183547,00
6	177258,00
7	178741,00
8	183966,00
9	156981,00
10	157357,00
11	158723,00
12	160637,00
13	151590,00
14	153965,00
15	149785,00
16	157119,00
17	138125,00
18	1259880,00
19	121583,00
20	121981,00
21	128952,00
22	131575,00
23	129366,00
24	133017,00

Se debe tomar en consideración, que el proceso de anodizado de Cedal, es el proceso cuello de botella, por tal razón, dicho proceso no puede permanecer sin

un flujo continuo de material para su alimentación, ya que el proceso de anodizado marca la producción en la planta industrial de Cedal.

Tabla 3.13. Tiempo de entrega real y planificado acumulado de perfiles extruidos en el primer semestre del 2015

Semana de Producción	Lote mínimo de entrega (kg)	Número de días reales	Número de días reales acumulados	Número de días planificados acumulados	Indicador de eficiencia	Indicador de eficiencia acumulado
1	158974,00	6	6	5	83%	83%
2	162852,00	7	13	10	71%	77%
3	171236,00	7	20	15	71%	75%
4	174536,00	5	25	20	100%	80%
5	183547,00	8	33	25	63%	76%
6	177258,00	7	40	30	71%	75%
7	178741,00	7	47	35	71%	74%
8	183966,00	8	55	40	63%	73%
9	156981,00	8	63	45	63%	71%
10	157357,00	7	70	50	71%	71%
11	158723,00	5	75	55	100%	73%
12	160637,00	6	81	60	83%	74%
13	151590,00	7	88	65	71%	74%
14	153965,00	5	93	70	100%	75%
15	149785,00	8	101	75	63%	74%
16	157119,00	6	107	80	83%	75%
17	138125,00	7	114	85	71%	75%
18	125988,00	7	121	90	71%	74%
19	121583,00	6	127	95	83%	75%
20	121981,00	6	133	100	83%	75%
21	128952,00	5	138	105	100%	76%
22	131575,00	6	144	110	83%	76%
23	129366,00	8	152	115	63%	76%
24	133017,00	5	157	120	100%	76%

3.1.4.3 Indicador actual de la eficiencia del tiempo de entrega de perfiles extruidos

Con base en los datos obtenidos en la Tabla 3.12 y 3.13, se desarrolla el indicador de eficiencia del tiempo de entrega de perfiles extruidos de la fórmula 2.4. En la Figura 3.7 se demuestra el desarrollo del porcentaje de cumplimiento de la eficiencia del tiempo de entrega de los perfiles extruidos de aluminio.

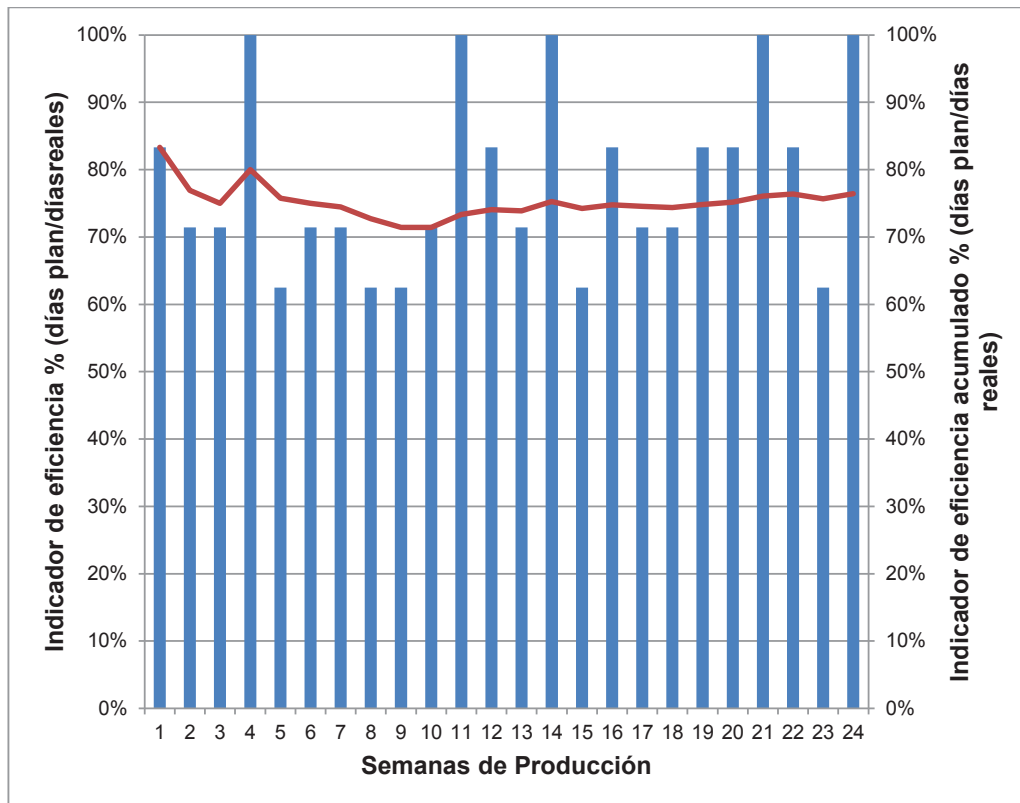


Figura 3.7. KPI de eficiencia en el tiempo de entrega de perfiles extruidos en el primer semestre del 2015

Con los resultados provistos en la Figura 3.7, se puede considerar que la eficiencia del tiempo de entrega de material extruido de Cedal, requiere de una mejora inmediata, ya que los porcentajes observados en las primeras 24 semanas de producción del año 2015, tienen un promedio de cumplimiento del tiempo de entrega del 76%, considerando como línea base la última semana de producción del mes de julio.

3.2 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE RECHAZOS POR PRODUCTOS NO CONFORMES

Con base a los datos obtenidos en la situación inicial de la organización, con respecto a la cantidad de rechazos por productos no conformes en el proceso de extrusión de Cedal, se desarrolló la implementación de las fases utilizadas en la metodología "Six Sigma", en cada una de las fases se explica el proceso de la

mejora en el proceso de extrusión, en cuanto a los productos no conformes producidos en la empresa.

3.2.1 FASE DEFINIR

En la fase definir, con lo que respecta a la determinación de la cantidad de rechazos por productos no conformes, se realizó un análisis de Pareto, el cual se evidencia en la Figura 3.1, donde se conoce que los principales defectos que generan el 80% de los rechazos de perfiles producidos por el proceso de extrusión de la empresa Cedal, corresponden a dureza y rasgadas.

Los defectos de calidad detectados en el análisis de Pareto, mantienen un porcentaje de defectos del 51% para dureza y un 19% para el defecto de rasgadas, por lo tanto, se considera por el grado de impacto en los rechazos de producto a los defectos de dureza como el defecto principal para el estudio “Six Sigma” de rechazos de productos no conformes.

Se desprecia para la realización de esta tesis, el defecto de rasgadas, debido a que es un defecto visual de calidad, es decir, es un defecto por atributos del material.

En la Figura 3.8, se observa un diagrama SIPOC macro por sus siglas en inglés, donde se evidencia de manera general, las fronteras del proceso de extrusión de la empresa Cedal, en el diagrama SIPOC se detalla el flujo del proceso de extrusión de manera sintética, es decir, con lo que respecta a proveedores, entradas, proceso, salida y clientes, de las etapas básicas del proceso.

Con base a los datos recopilados de la Figura 3.8, se considera las CTS (Critical To Satisfaction), que en base al diagrama de proceso y el objetivo de mejora del proyecto “Six Sigma”, es el defecto de calidad generado en la perfilera al momento de la extrusión del material y el tratamiento térmico proporcionado al material, de las CTS se derivan las CTY (Critical To Product), que se relaciona con las fallas de extrusión del material; en función de las CTY, se encuentran las

CTQ (Critical To Quality), las cuales son los principales defectos de calidad de la perfilería de aluminio, la cual corresponde a la dureza del material.

Por lo tanto se concluye que la variable crítica a analizar es:

Y1: Dureza del material.

3.2.2 FASE MEDIR

Con base a los datos recopilados en la fase definir, se procedió a la toma de datos de la variable crítica de producción en el proceso de extrusión que corresponde a la dureza del material a la salida del horno de envejecimiento, con el fin de conocer su capacidad y estabilidad dentro del proceso, para lo cual se realiza un estudio de capacidad utilizando el índice de capacidad potencial del proceso (C_p) y el índice de capacidad real del proceso (C_{pk}).

Con respecto al estudio de estabilidad de la variable crítica de producción, se emplea el uso de cartas de control por medias y rangos, puesto que la variable crítica analizada en el proceso de extrusión es una variable continua.

En esta fase de medición se conoce de mejor manera el proceso, para lo cual en la Figura 3.4, se muestra en detalle, las actividades que se ejecutan en el proceso de extrusión de la empresa Cedal.

Además, por la manera de obtención de los datos del defecto crítico de calidad en el proceso de extrusión. Se procedió a validar las mediciones de la dureza del material, a través de un estudio R&R (repetibilidad & reproducibilidad).

3.2.2.1 Estudio de repetibilidad & reproducibilidad

En el estudio de repetibilidad & reproducibilidad, utilizado para la validación del sistema de medición de la variable crítica de calidad, que es la dureza, en el caso del proceso de extrusión de Cedal, se desarrolló un estudio por medio de ANOVA, con el fin de determinar la variabilidad total del estudio como lo expresa la siguiente fórmula:

$$\sigma_{\text{total}}^2 = \sigma_{\text{parte}}^2 + \sigma_{\text{operador}}^2 + \sigma_{\text{operador x parte}}^2 + \sigma_{\text{instrumento}}^2 \quad [3.4]$$

En la Tabla 3.14, se evidencia la manera de obtener los datos para la realización del estudio R&R, donde, se ejecutó con la ayuda de 3 operadores del proceso de extrusión la toma de 15 mediciones de dureza en piezas distintas escogidas al azar, con 2 réplicas de mediciones realizadas en las piezas antes mencionadas, dando un total de 90 corridas o mediciones realizadas para el estudio.

El instrumento utilizado para la toma de mediciones de la variable crítica de calidad es un Durómetro Webster para uso de aluminios duros y semiduros.

Se realizó un orden aleatorio para la toma de mediciones o corridas de los distintos operadores, además, se diferenció cada pieza a ser medida para que no exista una duplicación de mediciones entre operadores.

Con base a los datos que se obtuvieron en la Tabla 3.14, se procedió a utilizar el software estadístico Minitab 16, donde se procede a ingresar los datos de manera aleatoria como se realizó las mediciones; se recurrió al uso del estudio de repetibilidad & reproducibilidad (R&R) cruzado, con la opción del uso del método de ANOVA (análisis de la varianza).

En la Figura 3.9, se demuestra el desarrollo del estudio R&R, en base a los datos obtenidos en la Tabla 3.14.

En la Figura 3.9, se evidencia que en la Tabla ANOVA del estudio de R&R, se obtuvo un porcentaje de variación debido a la repetibilidad y reproducibilidad del 19.95%; se debe considerar que las reglas generales de la validación de mediciones, indica que el porcentaje de la variación debido a R&R clasifican a un sistema de medición como aceptable si el porcentaje de variación total de R&R es menor que 10%, aunque hasta 30% puede ser aceptable para algunas situaciones, es decir, que el sistema de medición que se aplica a la dureza del material en el proceso de extrusión de Cedal, se encuentra en un rango aceptable.

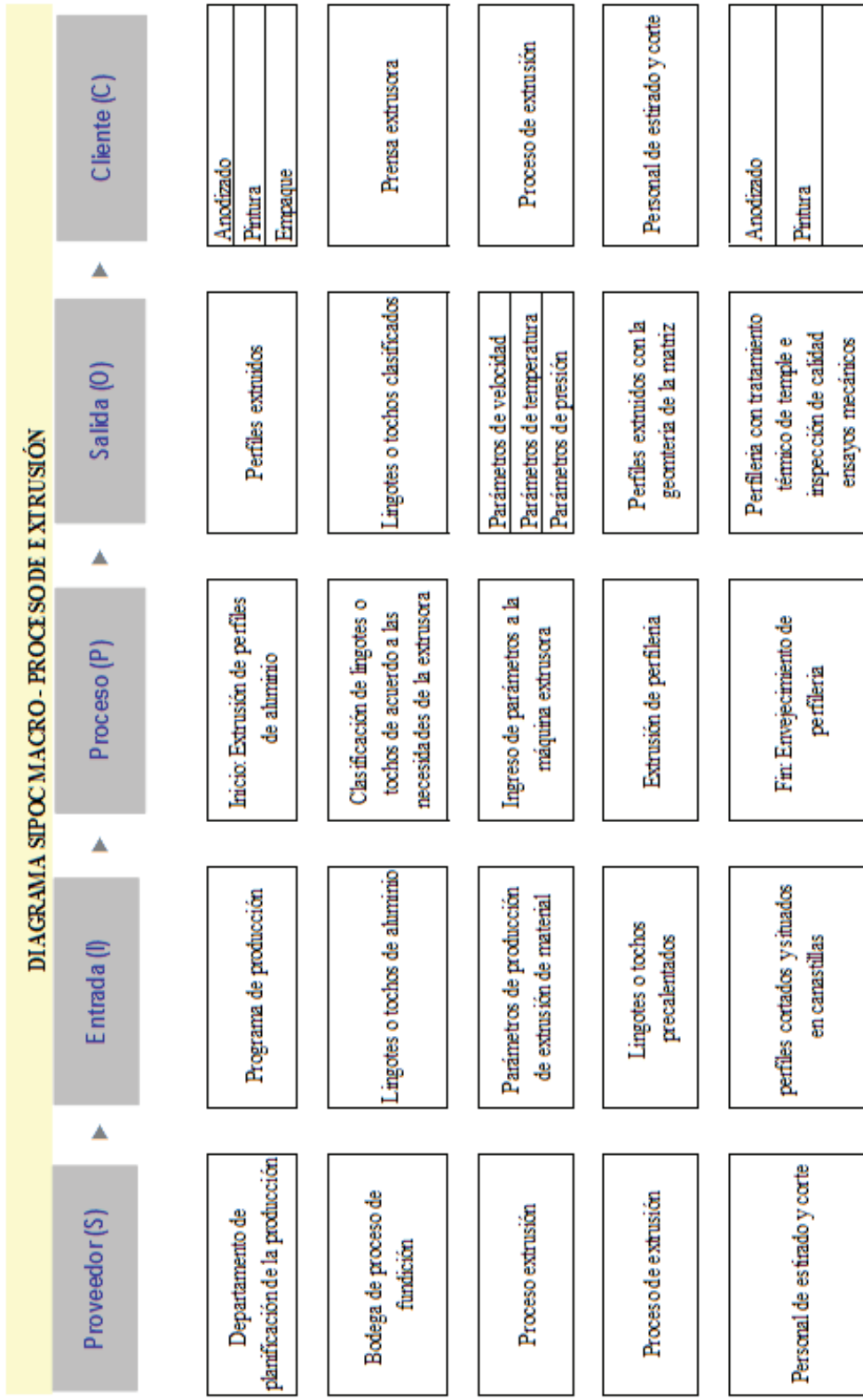


Figura 3.8. Diagrama SIPOC Macro del proceso de extrusión

Tabla 3.14. Recolección de datos para estudio R&R de la variable dureza

Número de pieza	Operador 1		Operador 2		Operador 3	
	Medición 1 Grados Webster	Medición 2 Grados Webster	Medición 1 Grados Webster	Medición 2 Grados Webster	Medición 1 Grados Webster	Medición 2 Grados Webster
1	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,12
2	10,02	10,00	10,00	10,00	10,09	10,00
3	9,98	10,00	9,93	9,99	9,95	10,06
4	10,01	10,02	9,95	9,92	10,00	10,07
5	10,00	10,01	10,01	9,97	10,07	10,00
6	10,00	10,02	10,03	10,02	10,03	10,00
7	10,03	9,97	10,00	10,08	10,00	10,00
8	10,01	9,99	10,00	10,00	10,00	9,98
9	9,99	10,00	10,00	9,91	10,00	9,99
10	9,98	10,00	9,99	10,03	9,99	10,01
11	10,00	10,03	10,04	10,00	9,98	10,03
12	10,00	10,02	10,05	9,98	10,00	10,00
13	10,00	10,04	10,00	9,90	10,02	10,00
14	10,02	9,99	10,00	10,00	10,01	9,97
15	10,03	10,00	9,96	10,00	10,00	9,96

R&R del sistema de medición		
Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
Gage R&R total	0.0011065	96.60
Repetibilidad	0.0010462	91.33
Reproducibilidad	0.0000603	5.26
Operadores	0.0000603	5.26
Parte a parte	0.0000390	3.40
Variación total	0.0011455	100.00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 * DE)	%Var. estudio (%VE)
Gage R&R total	0.0332641	0.199584	98.28
Repetibilidad	0.0323454	0.194072	95.57
Reproducibilidad	0.0077636	0.046582	22.94
Operadores	0.0077636	0.046582	22.94
Parte a parte	0.0062441	0.037465	18.45
Variación total	0.0338451	0.203070	100.00

Figura 3.9. ANOVA del estudio R&R de la variable Dureza con el uso del software

MINITAB 16

En las Figuras 3.10 a 3.12, se observa el comportamiento de las variables atribuidas a las mediciones dentro del estudio R&R.

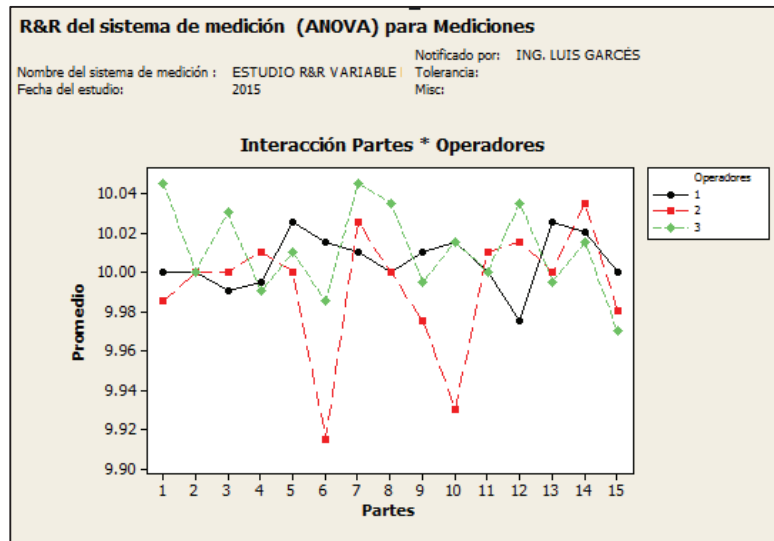


Figura 3.10. Gráfica de interacción entre partes y operadores en estudio R&R con el uso del software MINITAB 16

En la Figura 3.10, se evidencia que las mediciones realizadas por el operador 2, en las piezas o partes 6, 9 y 10 tienen un menor valor de medición de dureza a comparación del resto de operadores.

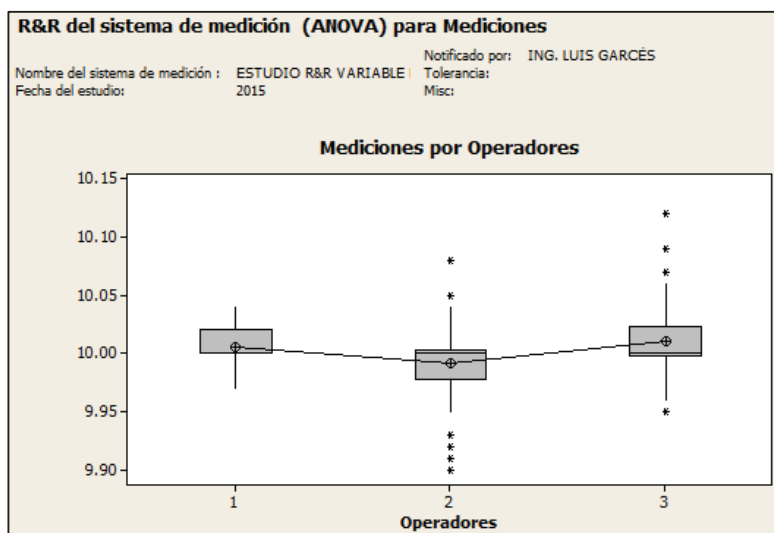


Figura 3.11. Gráfica de interacción por operador en estudio R&R con el uso del software MINITAB 16

En la Figura 3.11, se presenta que la variabilidad de las mediciones de cada operador según los diagramas de cajas no es significativa al igual que el desplazamiento de la media aritmética en las mediciones realizadas.

En la Figura 3.12, se observa que las mediciones de los operadores 1 y 3, se encuentran bajo un control estadístico en cuanto a la tendencia central o gráfica de X-barra, ya que no existe la presencia de puntos fuera de los límites de control, al contrario del operador 2, que mantiene 2 puntos fuera de los límites de control de la carta.

En cuanto a la gráfica de la variabilidad de las mediciones en la carta de control de rangos, se evidencia que el operador 1 mantiene un control estadístico; sin embargo, los operadores 2 y 3, mantienen puntos fuera de los límites de control.

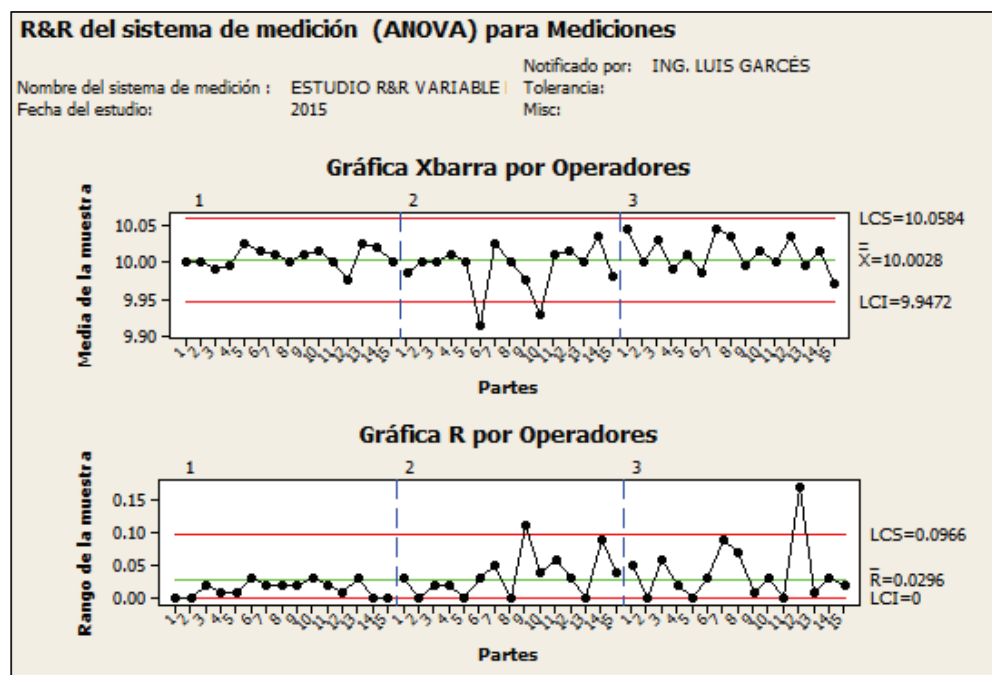


Figura 3.12. Gráfica de medias y rangos por operador en estudio R&R con el uso del software MINITAB 16

Con base a los resultados del estudio R&R, se concluye que el sistema de medición que se utiliza en la medición de la variable dureza es aceptada

estadísticamente y se puede continuar con la siguiente actividad del proyecto “Six Sigma”.

3.2.2.2 Estudio de capacidad y estabilidad

El desarrollo de un estudio de capacidad y estabilidad, procede a determinar la línea base para la variable dureza (Y1). Se planteó el estudio de capacidad y estabilidad utilizando una carta de control \bar{X} -R, con un tamaño de subgrupo igual a 4, hasta cumplir 20 subgrupos repartidos en periodos dilatados de tiempo para que se evidencie una variación a largo plazo.

Los datos fueron recolectados en un tiempo de 2 horas con el objetivo de completar un subgrupo en cada turno de trabajo, en un plazo de una semana de producción continua.

La variable dureza mantiene un valor nominal según estándares de la empresa de 10 grados Webster, con una tolerancia aceptada de $\pm 1,5$ grados Webster.

En la Tabla 3.15, se observa los datos recolectados de la variable dureza en el tiempo dispuesto para el estudio.

Con base a los datos de la Tabla 3.15, se conoce que la \bar{X} es de 10,5 grados Webster y el \bar{R} tiene un valor de 4,2 grados Webster.

En la Figura 3.13, se observa un análisis de la capacidad y estabilidad del proceso en cuanto a su variable de salida de dureza (Y1).

Se analiza la Figura 3.13, en cuanto a las especificaciones de la variable dureza (Y1), se conoce que la EI = 8,5 y la ES = 11,5 grados Webster. Del histograma se evidencia que los resultados de las mediciones de dureza tienden a estar cargados hacia la especificación superior, es decir, que los perfiles de aluminio poseen una dureza alta, lo que provoca un quiebre del perfil cuando se exponen a cargas de compresión o torsión del material; además, la desviación estándar a corto plazo que es igual a 1,22 grados Webster, origina que se mantenga una

capacidad a corto plazo igual a $Z_c = 3 * C_{pk} = 3 * 0,27 = 0,81$ sigmas, que es mucho menor a la meta de seis sigma planteada en el proyecto.

Tabla 3.15. Subgrupos de las mediciones de dureza en la perfileria

Subgrupo	Mediciones				Media	Rango
1	11,40	11,70	9,90	10,90	11,00	4,50
2	11,30	9,80	11,70	11,80	11,20	3,30
3	11,60	9,10	11,10	10,90	10,70	4,50
4	11,20	12,10	10,70	12,30	11,60	3,70
5	10,40	12,90	9,50	10,30	10,80	4,60
6	12,10	9,50	9,60	10,90	10,50	4,90
7	9,30	12,70	9,90	8,40	10,10	5,50
8	8,80	9,30	11,70	8,20	9,50	3,50
9	9,50	11,20	8,90	8,30	9,50	5,20
10	7,00	11,60	11,10	8,90	9,70	5,20
11	9,70	11,30	9,80	9,10	10,00	5,80
12	11,80	9,70	8,30	11,90	10,40	5,20
13	10,90	11,10	8,50	8,10	9,70	3,00
14	11,30	11,70	11,60	10,50	11,30	1,80
15	9,00	10,90	11,30	11,70	10,70	3,90
16	10,20	11,10	9,70	11,40	10,60	3,30
17	10,80	10,40	11,20	11,30	10,90	4,30
18	10,30	9,60	8,90	10,90	9,90	5,60
19	11,30	10,40	9,70	10,90	10,60	3,10
20	11,50	10,50	10,90	12,60	11,40	3,30

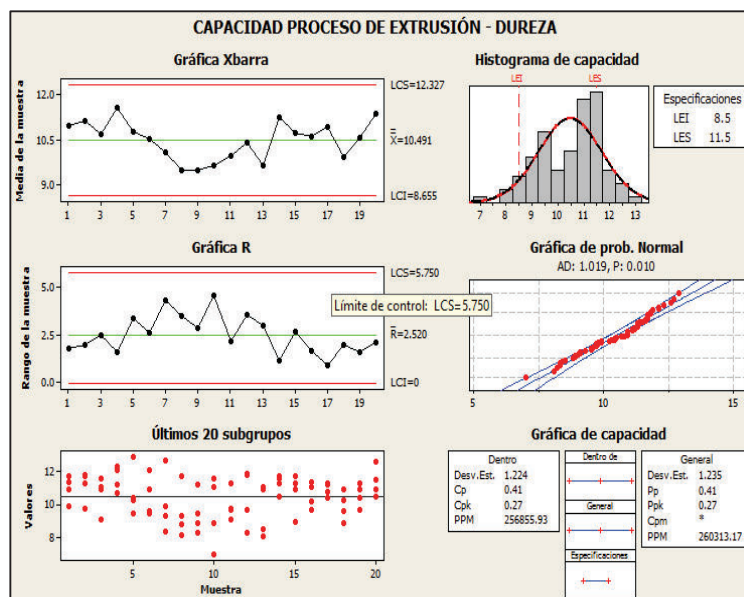


Figura 3.13. Gráfica de la capacidad y estabilidad del proceso de extrusión con el uso del software MINITAB 16

La variación real del proceso o a largo plazo, se obtiene calculando la desviación estándar de los 80 datos de la muestra de la Tabla 3.15, siendo la desviación estándar a largo plazo igual a 1,23 grados Webster, con este dato se calcula la capacidad a largo plazo de la variable Y1, la cual es $ZI = 3 * Ppk = 3 * 0,27 = 0,81$ sigmas, siendo igual la capacidad de corto y largo plazo en el proceso para la variable dureza, además, al conocer la capacidad a largo plazo que es igual a 0,27 o 0,81 sigma, entonces se determina que existan 260313 ppm defectuosas.

Como se observa en la Figura 3.13, el índice de capacidad potencial del proceso (Cp) tiene un valor de 0,41; esto quiere decir, que el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones técnicas requeridas para la variable dureza dentro del proceso de extrusión de la planta industrial de Cedal, ya que se conoce que un CP adecuado dentro de la industria para considerarlo adecuado debe ser igual o mayor a 1,33 y si se busca una calidad "Six Sigma", el Cp debe encontrarse en un valor igual o mayor a 2, situación que no sucede actualmente con la capacidad de la variable dureza.

Con respecto al índice de capacidad real del proceso (Cpk), se conoce que su valor es igual 0,27; es decir, que el centrado del proceso es insatisfactorio en cuanto al cumplimiento de las especificaciones del mismo, se considera para un proceso existente y maduro, que su Cpk se igual o mayor a 1,25.

En cuanto a la estabilidad del proceso, se observa que las cartas de control de medias y rangos se encuentra en control estadístico, ya que no se encuentra ningún punto fuera de los límites de control, además, se evidencia que no existe patrón alguno sobre la aleatoriedad de la gráfica de los puntos en ambas cartas, por lo tanto, se considera que el proceso es estable.

En suma, se considera de acuerdo a la Figura 3.13 que el proceso de extrusión en cuanto a su variable de dureza (Y1), es estable pero incapaz, puesto que, el proceso se encuentra descentrado en cuanto a su tendencia central.

3.2.3 FASE ANALIZAR

En la fase analizar, su busca identificar las X potenciales que afectan directamente al problema de la variable dureza (Y1), ya que a partir de esta identificación se separan la X vitales que realmente influyen en la variable Y1.

Se consideró realizar una análisis de causa raíz, por medio del uso de un diagrama de espina de pescado o Ishikawa, el cual analiza las causas que generan el efecto en la variable dureza, esto se puede estudiar al analizar las 6 M's del diagrama, las cuales se atribuyen a maquinaria, métodos, medio ambiente, mediciones, mano de obra y materiales.

En la Figura 3.14, se observa el diagrama de Ishikawa con su respectivo análisis de causas.

Las causas que se observan en la Figura 3.14, se desarrollaron a partir de una lluvia de ideas, realizadas con el personal técnico del proceso de extrusión de la planta de Cedal, en las mismas se acotaron las X potenciales que influyen en la variable crítica de dureza (Y1) en la perfleria de aluminio, de estas se resolvieron adoptar tres principales causas o factores que intervienen como variables de entrada y tienen un vital efecto sobre la variable de salida dureza, las mismas son:

- Temperatura del horno de envejecimiento
- Tiempo dentro del horno de envejecimiento
- Número de canastillas en el horno

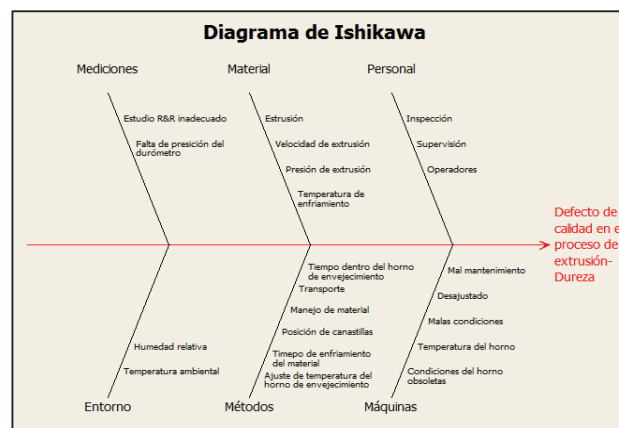


Figura 3.14. Diagrama de Ishikawa del defecto de dureza del proceso de extrusión con el uso del software MINITAB 16

Los tres factores vitales detallados poseen dos niveles por cada uno de los mismos, con la identificación de las X vitales del proceso, se procede continuar con la siguiente actividad del proceso “Six Sigma”.

3.2.4 FASE MEJORAR

En la fase mejorar se plantea las estrategias que permiten una solución a los problemas encontrados en las fases anteriores del proyecto “Six Sigma”, la solución que se propuso para la mejoría del descentrado de la media del proceso en cuanto a la variable crítica de salida dureza, fue el de aplicar un diseño de experimentos, considerando los factores con mayor dominio, los cuales ya se resolvieron en la fase de análisis, al separar las X vitales que influyen en la variable de salida.

3.2.4.1 Diseño de experimentos para la variable dureza

En el diseño de experimentos, se busca encontrar la mejor combinación de los factores vitales que influyen en la variable de salida, para el estudio se ha propuesto el uso de tres factores con dos niveles cada uno como se explica en la Tabla 3.16; además, se corrió 2 réplicas en cada experimento dentro del estudio.

Con base a los datos provistos en la Tabla 3.16, se procedió a realizar un diseño de experimento multinivel 2^3 , en dicho experimento se utilizó la ayuda del software estadístico STATGRAPHICS para su resolución.

Tabla 3.16. Niveles de los factores vitales de la variable dureza

FACTOR	UNIDAD	NIVEL BAJO	NIVEL ALTO
Temperatura horno de envejecimiento	°C	190	210
Tiempo dentro del horno de envejecimiento	min	150	180
Número de la canastillas en el horno	u	4	5

A continuación se describe el modelo general del diseño de experimento 2^3 , donde se evidencia los efectos de los factores principales y sus interacciones; por otro lado, se considera la media y el error del experimento.

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \xi_{ijkl} \quad [3.3]$$

En el desarrollo del diseño de experimento, se debe considerar las pruebas de hipótesis de los efectos de los factores principales y de sus interacciones; donde, la hipótesis nula supone que la suma de los factores principales o sus interacciones es igual a cero y la hipótesis alternativa considera que al menos uno de los factores o sus interacciones es distinta a cero.

Para τ_i :

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \tau_1 + \dots + \tau_a = 0 \\ H_1: \text{al menos una } \tau \text{ es diferente de } 0. \end{array} \right.$$

Para β_j :

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \beta_1 + \dots + \beta_b = 0 \\ H_1: \text{al menos una } \beta \text{ es diferente de } 0 \end{array} \right.$$

Para γ_k :

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \gamma_1 + \dots + \gamma_c = 0 \\ H_1: \text{al menos una } \gamma \text{ es diferente de } 0 \end{array} \right.$$

Para $(\tau\beta)_{ij}$:

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: (\tau\beta)_{11} + \dots + (\tau\beta)_{ij} = 0 \\ H_1: \text{al menos una } (\tau\beta) \text{ es diferente de } 0 \end{array} \right.$$

Para $(\tau\gamma)_{ik}$

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: (\tau\gamma)_{11} + \dots + (\tau\gamma)_{ik} = 0 \\ H_1: \text{al menos una } (\tau\gamma) \text{ es diferente de } 0 \end{array} \right.$$

Para $(\beta\gamma)_{jk}$

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: (\beta\gamma)_1 + \dots + (\beta\gamma)_{jk} = 0 \\ H_1: \text{al menos una } (\beta\gamma) \text{ es diferente de } 0 \end{array} \right.$$

Para $(\tau\beta\gamma)_{ijk}$:

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: (\tau\beta\gamma)_1 + \dots + (\tau\beta\gamma)_{ijk} = 0 \\ H_1: \text{al menos una } (\tau\beta\gamma) \text{ es diferente de } 0 \end{array} \right.$$

El diseño de experimentos 2^3 , consiste en un total de 8 pruebas que son realizadas de manera aleatoria de acuerdo a los niveles bajos y altos de los factores explicados en la Tabla 3.16, sin embargo, el estudio actual consta de 16 pruebas, debido a que se corren 2 réplicas para cada experimento.

Con la ayuda del software STATGRAPHICS, se procedió a generar una Tabla aleatorizada de las 16 pruebas, con la finalidad de obtener el resultado de la variable de respuesta según con el nivel de los factores investigados.

La variable de respuesta para el estudio de diseño de experimento, es el porcentaje de perfiles aceptados por la variable dureza, es decir, para el experimento se procedió a enviar lotes de 100 piezas, de las cuales se midió individualmente la variable de dureza, y se consideró como aceptadas los perfiles que se encontraban con un valor de dureza dentro de las tolerancias de $\pm 1,5$ grados Webster, con un valor nominal de 10 grados Webster; de esta manera se ejecutó las 16 pruebas del experimento.

En la Figura 3.15, se observa la aleatorización de las pruebas del experimento y el porcentaje de aceptación de los lotes de prueba, los datos fueron ingresados al software STATGRAPHICS para su análisis.

Se representa a los niveles bajos de los factores con el número (-1) y los niveles altos con el número (1).

En la Figura 3.16, se observa la estimación de los efectos principales y sus interacciones, también se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo.

	BLOQUE	Temperatura	Tiempo	Número	% Aceptadas
		°C	min		%
1	1	1.0	-1.0	-1.0	76.3
2	1	-1.0	-1.0	-1.0	76.4
3	1	-1.0	1.0	1.0	82.7
4	1	1.0	1.0	-1.0	77.9
5	1	1.0	-1.0	1.0	84.7
6	1	1.0	1.0	1.0	85
7	1	-1.0	-1.0	1.0	84.4
8	1	-1.0	1.0	-1.0	88.4
9	2	1.0	1.0	-1.0	79.6
10	2	1.0	-1.0	1.0	84.5
11	2	-1.0	-1.0	1.0	84.6
12	2	-1.0	1.0	-1.0	81
13	2	1.0	1.0	1.0	84.7
14	2	-1.0	1.0	1.0	83.2
15	2	-1.0	-1.0	-1.0	76.9
16	2	1.0	-1.0	-1.0	76.9

Figura 3.15. Aleatorización y resultados del porcentaje de aceptación del experimento con el uso del software STATGRAPHICS

Efectos estimados para % Aceptadas (%)			
<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
promedio	81.7	0.579281	
A:Temperatura	-1.0	1.15856	1.0
B:Tiempo	2.225	1.15856	1.0
C:Número	5.05	1.15856	1.0
AB	-1.025	1.15856	1.0
AC	2.0	1.15856	1.0
BC	-2.875	1.15856	1.0
bloque	-0.55	1.15856	1.0

Errores estándar basados en el error total con 8 g.l.

Figura 3.16. Efectos estimados con el uso del software STATGRAPHICS

En la Figura 3.17, se aprecia de mejor manera los efectos estimados por medio de un diagrama de Pareto Estandarizado, donde se puede observar que el efecto

principal de número de canastilla (C) y la interacción de tiempo de permanencia del material en el horno y el número de canastillas en el horno (BC) son significativos en el experimento.

En la Figura 3.18, se presenta la Tabla ANOVA de los efectos, donde se aprecia que los efectos que tienen un valor-p menor a 0,05, corresponden a los efectos de número de canastillas en el horno (C), y el efecto de la interacción del tiempo de permanencia en el horno y el número de canastillas en el horno de envejecimiento, esto demuestra lo ya mencionado en el diagrama de Pareto Estandarizado, por la tanto, se procedió a eliminar los efectos que no son significativos en el experimento, con el fin de crear un nuevo ANOVA.

La Tabla ANOVA de la Figura 3.18, particiona la variabilidad de % Aceptadas en piezas separadas para cada uno de los efectos, entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 2 efectos tienen una valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95%.

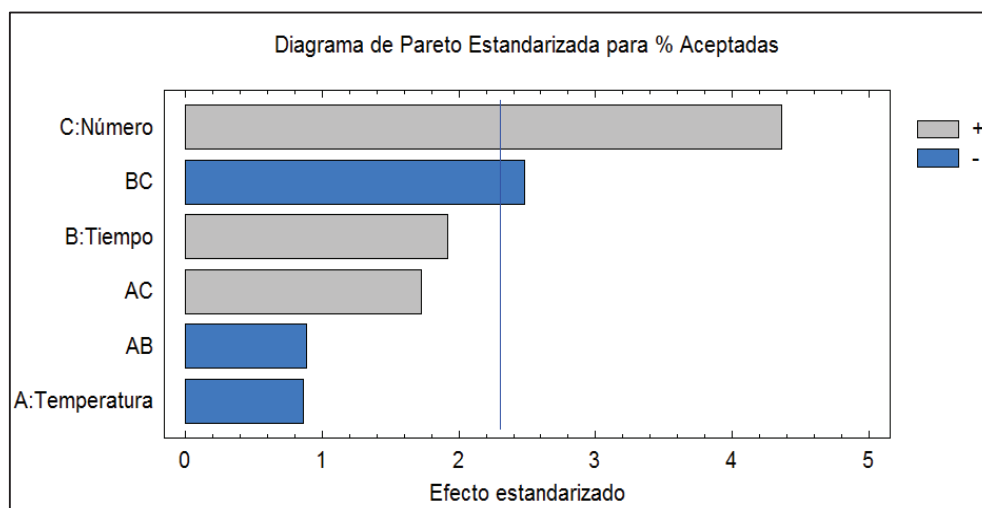


Figura 3.17. Diagrama de Pareto Estandarizado de los efectos estimados con el uso del software STATGRAPHICS

Análisis de Varianza para % Aceptadas					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Temperatura	4.0	1	4.0	0.75	0.4132
B:Tiempo	19.8025	1	19.8025	3.69	0.0910
C:Número	102.01	1	102.01	19.00	0.0024
AB	4.2025	1	4.2025	0.78	0.4021
AC	16.0	1	16.0	2.98	0.1226
BC	33.0625	1	33.0625	6.16	0.0380
bloques	1.21	1	1.21	0.23	0.6477
Error total	42.9525	8	5.36906		
Total (corr.)	223.24	15			

R-cuadrada = 80.7595 por ciento
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 67.9325 por ciento
Error estándar del est. = 2.31712
Error absoluto medio = 1.29062
Estadístico Durbin-Watson = 1.85597 (P=0.3693)
Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.0427471

Figura 3.18. ANOVA de los efectos significativos y no significativos con el uso del software STATGRAPHICS

En la Figura 3.19, se evidencia la Tabla ANOVA ajustada, es claro que los efectos A, B, AB, AC y ABC son no significativos, por lo que se eliminan y se mandan al error para obtener una nueva Tabla ANOVA.

Análisis de Varianza para % Aceptadas					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
C:Número	102.01	1	102.01	14.08	0.0028
BC	33.0625	1	33.0625	4.56	0.0540
bloques	1.21	1	1.21	0.17	0.6900
Error total	86.9575	12	7.24646		
Total (corr.)	223.24	15			

Figura 3.19. ANOVA de los efectos significativos con el uso del software STATGRAPHICS

Al eliminar los efectos no significativos, se ajusta el modelo matemático del diseño de experimento, donde queda de la siguiente manera:

$$Y_{ijkl} = \mu + \gamma_k + (\beta\gamma)_{jk} + \xi_{ijkl} \quad [3.4]$$

También se concluye que se aceptan las hipótesis nulas para γ_k y la interacción $\beta\gamma_{jk}$ y el resto de hipótesis nulas se rechazan ya que por lo menos uno de sus factores es distinto de 0.

En la Figura 3.20, se aprecia los coeficientes de regresión que se ajustan a los efectos significativos del diseño.

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	81.7
C:Número	2.525
BC	-1.4375

Figura 3.20. Coeficientes de regresión para la variable de salida con el uso del software STATGRAPHICS

Una vez determinados los coeficientes de regresión de la variable de salida % Aceptadas, se construye la ecuación que predice el porcentaje de perfiles que se encuentren dentro de la tolerancia aceptada de $\pm 1,5$ grados Webster y con un valor nominal de 10 grados Webster para la variable dureza.

$$\% \text{ Aceptadas} = 81,7 + 2,525 \cdot C - 1,4375 \cdot C \cdot B \quad [3.5]$$

Dónde:

B: Tiempo de permanencia del material en el horno

C: Número de canastillas dentro del horno

Para determinar la mejor combinación, para que se maximice el porcentaje de productos aceptados, se realiza un análisis de estimados ajustados como se indica en la Figura 3.21.

La mejor combinación de los factores evaluados en el estudio de diseño de experimentos, es la corrida número 5, la cual corresponden al factor de temperatura del horno de envejecimiento en nivel alto (210 °C), el tiempo dentro del horno de envejecimiento en nivel bajo (150 min) y el número de canastillas dentro del horno de envejecimiento en nivel bajo (4 canastillas).

Con la utilización de la mejor combinación dentro de la producción del proceso de extrusión de la empresa Cedal, se pretende conseguir un cumplimiento del 84,7%

de la producción, con respecto a la variable dureza, ya sea que se encuentren dentro de su valor nominal o dentro de las tolerancias exigidas por el proceso.

		<i>Deseabilidad</i>	<i>Deseabilidad</i>
<i>Fila</i>	<i>% Aceptadas</i>	<i>Prevista</i>	<i>Observada</i>
1	76.3	0.141529	0.0
2	76.4	0.141529	0.00826446
3	82.7	0.558884	0.528926
4	77.9	0.379132	0.132231
5	84.7	0.796488	0.694215
6	85.0	0.558884	0.719008
7	84.4	0.796488	0.669421
8	88.4	0.379132	1.0
9	79.6	0.333678	0.272727
10	84.5	0.751033	0.677686
11	84.6	0.751033	0.68595
12	81.0	0.333678	0.38843
13	84.7	0.51343	0.694215
14	83.2	0.51343	0.570248
15	76.9	0.0960744	0.0495868
16	76.9	0.0960744	0.0495868

Figura 3.21. Análisis de estimados ajustados con el uso del software STATGRAPHICS

3.2.4.2 Evaluar la solución propuesta

Para la evaluación y validación de la solución propuesta en el diseño de experimentos, en cuanto a la mejor combinación de los factores críticos en la variable de respuesta de dureza, se realizó una corrida de producción con la combinación propuesta, donde se obtuvieron 20 subgrupos de tamaño 4, es decir, cada 2 horas se midió la dureza del material con el fin de conocer la capacidad y estabilidad del proceso en cuanto a su variable dureza.

Con los datos de la Tabla 3.17, se hace un análisis de la capacidad y estabilidad del proceso, cuyos resultados se muestran en la Figura 3.22.

Se analiza en la Figura 3.22, que el histograma con los resultados de las mediciones de dureza después de la implementación de la mejora, tienden a estar

agrupados cerca del valor nominal de 10 grados Webster; además, la desviación estándar a corto plazo cambió de 1,22 en la línea base a 0,28 grados Webster, esto origina que se mantenga una capacidad a corto plazo igual a $Z_c = 3 \cdot C_{pk} = 3 \cdot 1,36 = 4,08$ sigmas, que es mucho mayor a la situación inicial del proceso en cuanto a su variable de dureza.

La desviación estándar a largo plazo en su estado inicial o línea base era igual a 1,23 grados Webster, con la implementación de las mejoras en el proceso, la misma es de 0.29 grados Webster, con este dato se calcula la capacidad a largo plazo de la variable Y1, la cual es $Z_l = 3 \cdot P_{pk} = 3 \cdot 1,33 = 3,99$ sigmas, entonces se determina que con la implementación de las mejoras existe por el momento 33 ppm defectuosas.

Como se observa en la Figura 3.22, el índice de capacidad potencial del proceso (C_p) tiene un valor de 1,76; esto quiere decir, que el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones técnicas requeridas para la variable dureza dentro del proceso de extrusión de la planta industrial de Cedal, ya que se conoce que un C_p adecuado dentro de la industria para considerarlo adecuado debe ser igual o mayor a 1,33 y si se busca una calidad "Six Sigma", el C_p debe encontrarse en un valor igual o mayor a 2, situación que no se logra hasta el momento en el proceso de extrusión, sin embargo, se realizarán las recomendaciones adecuadas para que se alcance el valor de C_p igual o mayor a 2 en el tiempo en el proceso de extrusión.

Con respecto al índice de capacidad real del proceso (C_{pk}), se conoce que su valor es igual 1,36; es decir, que el centrado del proceso es satisfactorio en cuanto al cumplimiento de las especificaciones del mismo.

En cuanto a la estabilidad del proceso, se observa que las cartas de control de medias y rangos se encuentra en control estadístico, además, se evidencia que los límites de control de las cartas de control cambiaron de nivel en comparación al estudio de línea base o situación inicial del proceso en cuanto a la medición de la variable de salida dureza, además, se observa que no existe patrón alguno

sobre la aleatoriedad de la gráfica de los puntos en ambas cartas, por lo tanto, se considera que el proceso es estable.

Tabla 3.17. Subgrupos de las mediciones de dureza con la implementación de mejoras

Subgrupo	Mediciones				Media	Rango
1	10,90	10,10	10,40	10,10	10,40	4,50
2	10,50	10,20	10,30	10,20	10,30	3,30
3	10,30	10,40	10,50	10,80	10,50	4,50
4	10,50	10,30	10,20	10,30	10,30	3,70
5	10,60	10,50	10,30	10,20	10,40	4,60
6	10,70	10,40	10,60	10,40	10,50	4,90
7	10,80	10,60	10,40	10,10	10,50	5,50
8	9,80	10,20	10,20	10,30	10,10	3,50
9	9,90	10,30	10,10	10,20	10,10	5,20
10	10,90	10,10	10,60	10,10	10,40	5,20
11	10,70	10,80	10,50	10,30	10,60	5,80
12	10,20	10,30	10,70	10,50	10,40	5,20
13	10,10	10,10	10,30	10,20	10,20	3,00
14	10,70	10,90	10,20	10,50	10,60	1,80
15	10,40	10,80	10,20	10,40	10,50	3,90
16	10,70	9,90	10,10	10,50	10,30	3,30
17	9,90	10,10	10,90	10,20	10,30	4,30
18	9,90	10,20	10,30	10,40	10,20	5,60
19	10,40	10,40	10,70	9,90	10,40	3,10
20	10,30	9,30	10,30	10,30	10,10	3,30

En suma, se considera que el proceso de extrusión en cuanto a su variable de dureza (Y1), es estable y capaz, puesto que, el proceso se encuentra centrado en cuanto a su tendencia central.

3.2.5 FASE CONTROL

En la etapa de control, se elaboraron mecanismos para que las soluciones encontradas en las fases anteriores, persistan en el tiempo; para esto se realizó un cambio en el procedimiento de trabajo del proceso de extrusión, donde consten los cambios analizados en cuanto al ingreso del material al horno de envejecimiento.

Con respecto al control de los cambios debido a la estabilidad del proceso, se estableció el uso de la carta de control por variables de medias y rangos, en el cual se calcula la variable dureza del material a la salida del horno de

envejecimiento, las mediciones se las realiza de manera diaria a la salida de cada lote de producción, es decir, se toman 8 mediciones en un día de producción continuo, las cuales se dividen en subgrupos de tamaño 4, por tal razón, a diario se grafican 2 puntos en las cartas de control; a continuación se presenta las cartas de control de la variable dureza tomadas de la tercera semana del mes de julio hasta la primera semana del mes de agosto del año 2015.

En la Tabla 3.18, se observa las mediciones tomadas en el periodo de tiempo mencionado.

En la Figura 3.23, se aprecia un comportamiento de las cartas en control estadístico, los límites de control de la carta de medias, se encuentran en valores menores que las tolerancias o especificaciones de la variable dureza, es decir, que la variable dureza cumple con las especificaciones en el tiempo.

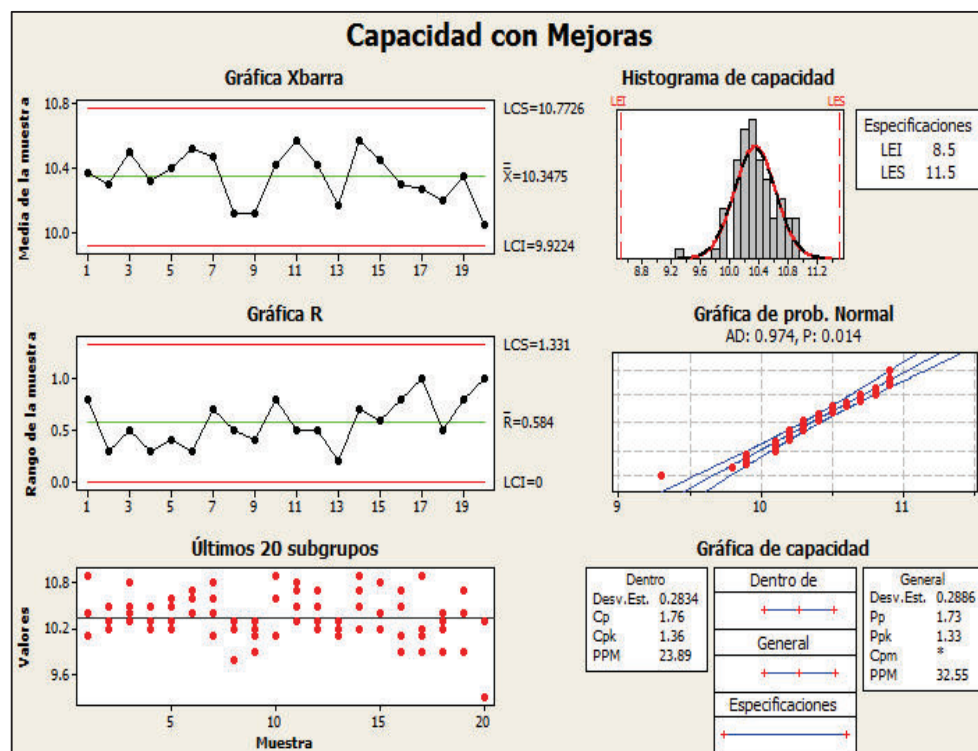


Figura 3.22. Gráfica de la capacidad y estabilidad del proceso de extrusión con implementación de mejoras con el uso del software MINITAB 16

El proceso de extrusión de la empresa Cedal, en cuanto a su variable dureza, se puede decir que tiene un comportamiento estable y capaz en el tiempo, debido a las mejoras implementadas en el proceso.

Tabla 3.18. Subgrupos de mediciones de dureza para fase de control

Subgrupo	Mediciones			
1	10,40	10,10	10,70	10,10
2	10,30	10,20	9,80	10,20
3	10,50	10,80	9,90	10,40
4	10,20	10,30	10,20	10,30
5	10,30	10,20	10,10	10,50
6	10,60	10,40	10,60	10,40
7	10,40	10,10	10,70	10,60
8	10,20	10,30	9,40	10,20
9	10,10	10,20	10,30	10,30
10	10,60	10,10	10,90	10,10
11	10,50	10,30	10,70	10,80
12	10,70	10,50	10,20	10,30
13	10,30	10,20	10,10	10,10
14	10,20	10,50	10,70	10,90
15	10,20	10,40	10,40	10,80
16	10,10	10,50	10,70	9,90
17	10,90	10,20	9,90	10,10
18	10,30	10,40	9,90	10,20
19	10,70	9,90	10,40	10,40
20	10,30	10,30	10,30	9,30
21	10,70	9,70	10,20	10,60

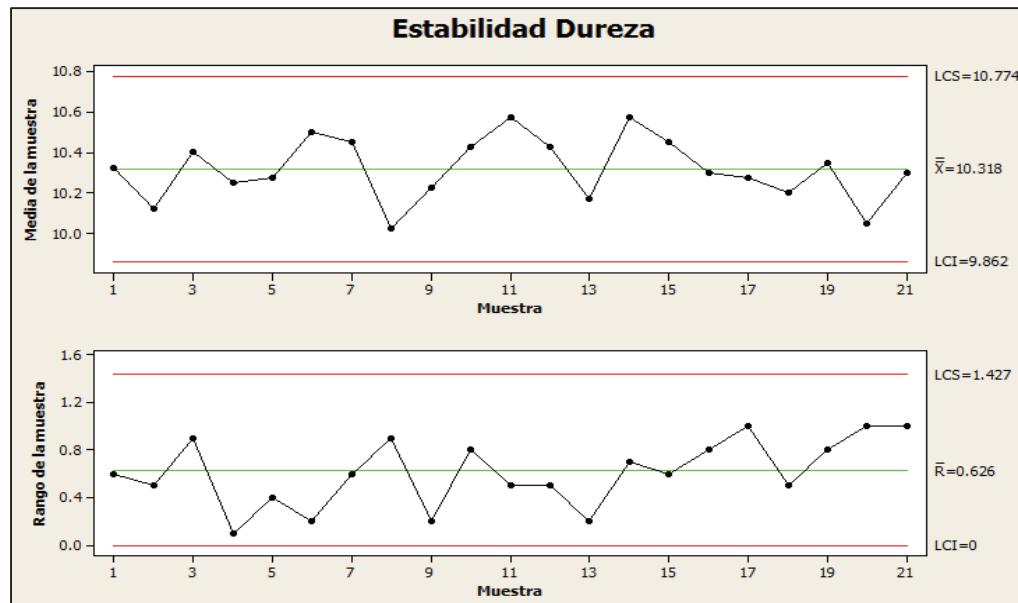


Figura 3.23. Carta de control de dureza en fase control con el uso del software MINITAB 16

3.2.6 RESULTADOS ALCANZADOS

En la Tabla 3.19, se resume el antes y el después para la variable dureza (Y1), en términos de los índices antes mencionados. Los estadísticos de largo plazo se colocaron suponiendo un escenario donde el proceso se desplaza 1,5 sigmas.

Tabla 3.19. Resultados alcanzados con la implementación de las fases DMAIC

ANTES	DESPUÉS
Cpk = 0,27	Cpk = 1,36
Ppk = 0,27	Ppk = 1,33
PPM = 260313	PPM = 32,55
Sigmas = 0,81	Sigmas = 4,08
ZI = 0,81	ZI = 3,99

Con base a los datos de la Tabla 3.19, se evidencia que no se alcanza un sistema de calidad de seis sigmas en el proceso de extrusión de la empresa Cedal, sin embargo, se alcanza un nivel de 4 sigmas en el mismo, que se encuentra cerca a la meta de ser un proceso con calidad de clase mundial.

3.2.7 SITUACIÓN DE LA CANTIDAD DE RECHAZOS DE MATERIAL NO CONFORME CON MEJORAS

La situación de la cantidad de rechazos de material no conforme, se analiza en el periodo de tiempo del segundo semestre del año 2015, posterior a las mejoras implementadas en las fases del proyecto “Six Sigma”, con lo anterior se considera en el segundo semestre los cambios existentes en los rechazos por defecto por medio de un diagrama de Pareto; además, se evalúa el comportamiento en el tiempo del KPI rechazos de material no conforme.

3.2.7.1 Rechazo de material actual por causa

En la Tabla 3.20, se observa la cantidad de material no conforme que se produjo en el proceso de extrusión, dentro del segundo semestre del año 2015., después de la implementación de la mejora al proceso.

En la Figura 3.24, se describe el Pareto de comportamiento de las causas vitales en el segundo semestre del año 2015 en el proceso de extrusión.

Se concluye, con base al diagrama de Pareto, que la principal causa de rechazos por defectos de calidad, sigue siendo el defecto de dureza, sin embargo, en comparación al porcentaje de rechazos por dureza del primer semestre que tuvo un valor igual al 51% y en el segundo semestre del año 2015 que tuvo el valor del 46%, se tiene entonces una reducción de rechazos por dureza de un 10%.

3.2.7.2 Producción neta vs. Producción no conforme del segundo semestre del 2015

Con base en los datos obtenidos por el departamento de extrusión, en la Tabla 3.21 se establece la información sobre la producción neta de perfiles extruidos en el segundo semestre del año 2015.

Con base a los datos de la Tabla 3.21, se observa que existe un aumento en la producción del 11 % en comparación del primer semestre del mismo año. En la Tabla 3.22, se evidencia la cantidad de peso de productos no conformes, generados en el segundo semestre del 2015.

Tabla 3.20. Cantidad de material no conforme del proceso de extrusión en el segundo semestre del año 2015

Causa de defecto	Mes 2015						Total
	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	
Dimensional	540,81	496,32	498,74	395,89	410,39	487,25	2829,40
Dureza	14569,32	11874,26	9874,12	8522,28	7429,41	6237,18	58506,57
Exceso	32,14	33,65	28,74	25,69	24,78	26,98	171,98
Corte	874,58	774,25	702,61	714,67	597,32	601,94	4265,37
Rayadura - Prensa	852,17	753,98	784,21	722,90	691,64	705,97	4510,87
Torsión	38,41	30,27	35,48	46,32	39,53	34,71	224,72
Burbuja - Huecos	1852,64	2045,36	1987,26	1785,21	1409,35	1574,93	10654,75
Pitting	201,11	184,36	195,27	205,19	198,15	202,36	1186,44
Piel Naranja	1002,54	985,21	924,25	1010,24	857,35	802,15	5581,74
Descuadrada	42,85	43,21	38,41	34,24	31,24	28,74	218,69
Rasgada	5054,87	6104,74	5874,23	5101,24	5247,36	4805,61	32188,05
Corrosión Agua	851,36	704,65	857,23	811,23	742,68	698,11	4665,26
Error de Largo	652,57	407,63	326,14	202,14	225,65	236,74	2050,87
Ondulación	91,35	101,25	94,23	88,27	82,64	85,41	543,15
Total	26656,72	24539,14	22220,92	19665,51	17987,49	16528,08	

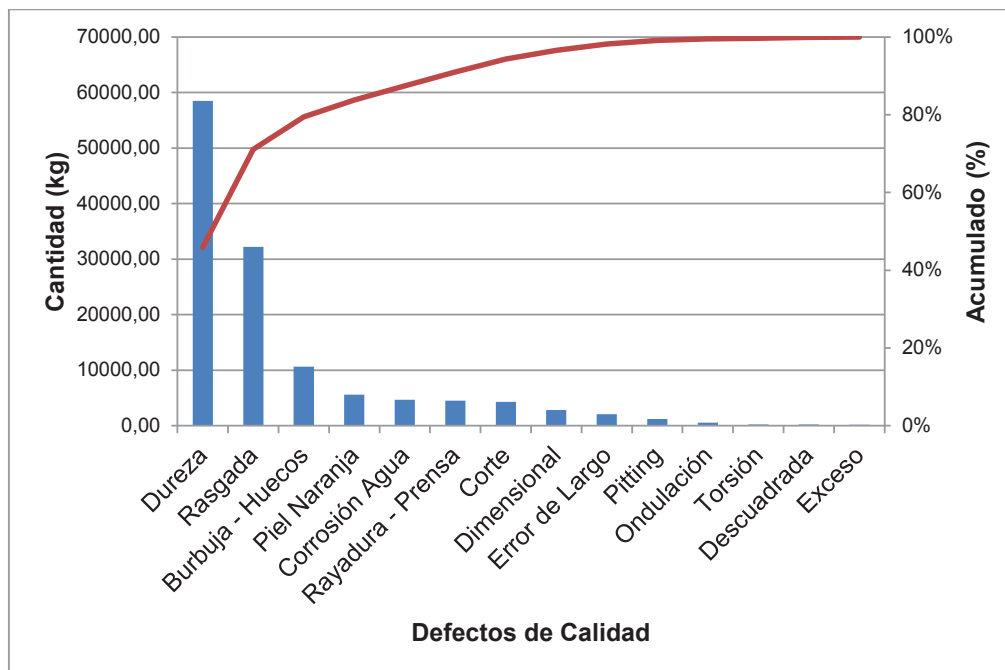


Figura 3.24. Pareto de los defectos de calidad por causa del segundo semestre del año 2015 en el proceso de extrusión

Tabla 3.21. Producción neta de perfiles extruidos en el segundo semestre del año 2015

Mes/2015	Producto neto extruido (kg)
julio	650232,00
agosto	642367,00
septiembre	698790,00
octubre	703541,00
noviembre	692634,00
diciembre	684689,00
Total	4072253,00

Tabla 3.22. Producción no conforme de perfiles extruidos en el segundo semestre del año 2015

Mes/2015	Producto no conforme (kg)
julio	26657,00
agosto	24539,00
septiembre	22221,00
octubre	19666,00
noviembre	17987,00
diciembre	16528,00
Total	127598,00

Con los datos proporcionados en la Tabla 3.22, se demuestra que existe una disminución del material no conforme en el segundo semestre del año 2015 en un 38% en relación al primer semestre del mismo año.

3.2.7.3 Indicador de rechazos de material no conforme para el año 2015

El indicador clave de desempeño de rechazos de material no conforme, fue calculado para el año 2015, con el fin de mantener los datos acumulados para conocer la tendencia del indicador.

En la Tabla 3.23, se demuestra los datos acumulados del primer y segundo semestre del año 2015, correspondientes a las variables peso de material extruido no conforme y peso neto extruido.

Tabla 3.23. Datos acumulados del material extruido no conforme y producción neta del año 2015

Mes/2015	Producto no conforme (kg)	Producto no conforme acumulado (kg)	Producto neto extruido (kg)	Producto neto extruido acumulado (kg)
enero	36249,14	36249,14	667598,56	667598,56
febrero	37275,24	73524,38	723512,87	1391111,43
marzo	35833,19	109357,57	633698,45	2024809,88
abril	33367,76	142725,33	612458,49	2637268,37
mayo	30174,03	172899,36	507677,10	3144945,47
junio	33791,31	206690,67	522909,50	3667854,97
julio	26656,72	233347,39	650231,70	4318086,67
agosto	24539,14	257886,53	642367,21	4960453,88
septiembre	22220,92	280107,45	698789,67	5659243,55
octubre	19665,51	299772,96	703541,39	6362784,94
noviembre	17987,49	317760,45	692634,24	7055419,18
diciembre	16528,08	334288,53	684689,11	7740108,29

Con base a los datos de la Tabla 3.23, se obtiene y demuestra en la Tabla 3.24, la aplicación de la fórmula 2.1, en cuanto al KPI de Rechazos, el cual indica de forma diferencial y acumulada el comportamiento de la tendencia del KPI en el tiempo.

Tabla 3.24. Indicador de rechazos diferencial y acumulado del año 2015

Mes/2015	Indicador rechazos de material no conforme	Indicador rechazos de material no conforme acumulado
enero	5,43%	5,43%
febrero	5,15%	5,29%
marzo	5,65%	5,40%
abril	5,45%	5,41%
mayo	5,94%	5,50%
junio	6,46%	5,64%
julio	4,10%	5,40%
agosto	3,82%	5,20%
septiembre	3,18%	4,95%
octubre	2,80%	4,71%
noviembre	2,60%	4,50%
diciembre	2,41%	4,32%

Por lo tanto, en este contexto, se puede observar en la Figura 3.25, el desenvolvimiento del indicador en el tiempo, por medio de la tendencia.

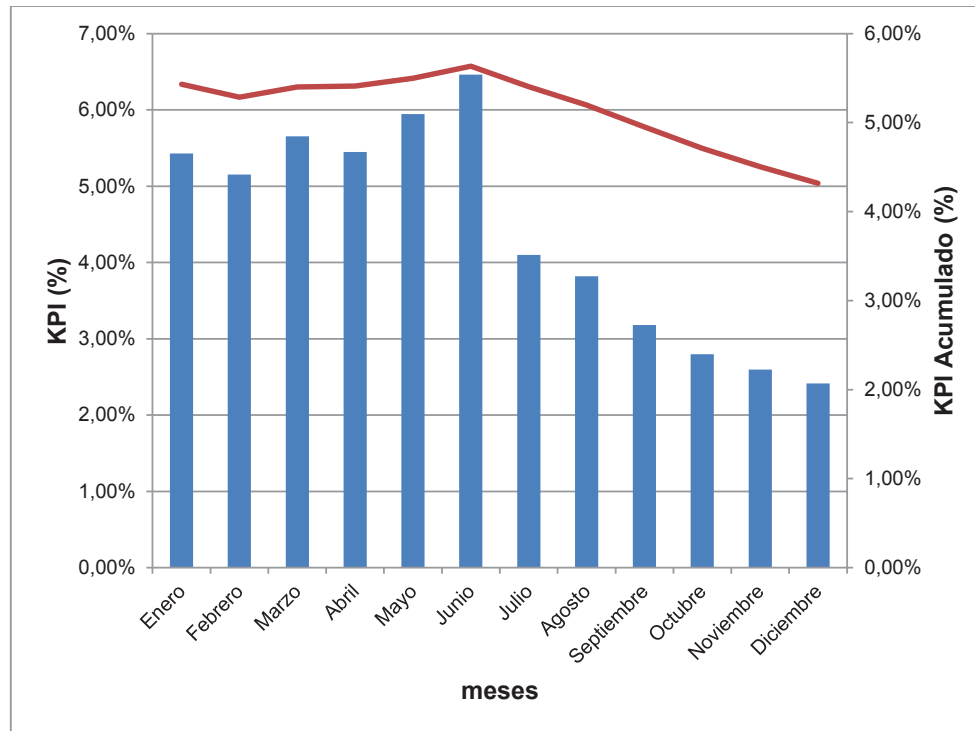


Figura 3.25. Análisis de tendencia del KPI rechazos en el año 2015

Se observa en la Figura 3.25, que la tendencia en la línea base correspondiente al mes de junio de 2015, se mantenía en un promedio de rechazo de producto no conforme del 5,64%, a partir del mes de julio que se implementó la mejora en el proceso de extrusión, en cuanto al defecto de dureza, que representó el 51% de los rechazos de productos; para el mes de diciembre de 2015, se mantiene una tendencia del 4,32%, es decir, se logró reducir un 23,40% los rechazos de material no conforme del proceso de producción de la planta Cedal.

En este contexto, se concluye que la disminución del KPI de rechazo de material no conforme, contribuye al aumento de la productividad general del proceso de extrusión y la productividad general de la planta de producción de la empresa Cedal, ya que existe un incremento del 23,40% de material que podrá ser vendido a los clientes externos de la organización.

3.3 ESTUDIO DE LA PRODUCTIVIDAD EN LA FABRICACIÓN DE PERFILES EXTRUIDOS

Conforme a los datos obtenidos en la situación actual de la productividad en la fabricación de perfiles extruidos, se efectuó las mejoras a la productividad, de acuerdo a la implementación de las fases del proyecto “Six Sigma”.

3.3.1 FASE DEFINIR

Se definió el enfoque de mejora de la productividad en la fabricación de perfiles extruidos, a la reducción del tiempo de ciclo del proceso de extrusión de la empresa Cedal, los datos iniciales se los presentó en la Tabla 3.9, donde se conoce que el tiempo de ciclo para la producción de una tonelada extruida de perfiles es igual a 60,53 minutos.

En la Figura 3.5, se presenta el cursograma analítico del proceso de extrusión, que con base a los datos de la misma, se evidencia que la tasa de operación de las actividades que agregan valor al proceso de extrusión es del 47,36 %, en el cual, el restante 52,64 % son desperdicios que genera el proceso, los cuales se los debe eliminar o mejorar, según sea el caso.

3.3.2 FASE MEDIR

En la Figura 3.4, se demuestra un mapa del proceso de extrusión o SIPOC detallado, esto permite entender de manera visual los límites del proceso bajo análisis, además se conoce del personal que desarrolla las actividades del proceso de extrusión.

El mapeo del proceso, permite conocer las actividades que generan valor o no en el proceso de extrusión, por tal razón, se realiza un análisis de cada una de las actividades que comprende el proceso de extrusión, para poder determinar qué actividades deben de cambiar, mejorar o eliminar.

3.3.3 FASE ANALIZAR

Para el análisis de las potenciales causas que generan actividades que no agregan valor al proceso de extrusión de la empresa Cedal y por ende un

aumento del tiempo de ciclo del proceso, se realizó una reunión de trabajo para generar una lluvia de ideas en conjunto con el personal responsable del proceso de extrusión, donde, en la Figura 3.26, se demuestra a través de un diagrama de espina de pescado o Ishikawa, las potenciales causas que intervienen actualmente en el proceso de extrusión.

En la Tabla 3.18, se observa las mediciones tomadas en el periodo de tiempo mencionado.

En la Figura 3.23, se aprecia un comportamiento de las cartas en control estadístico, los límites de control de la carta de medias, se encuentran en valores menores que las tolerancias o especificaciones de la variable dureza, es decir, que la variable dureza cumple con las especificaciones en el tiempo.

Con base a la información de la Figura 3.26, se considera las causas vitales que generan el efecto, las mismas corresponden a:

- Layout inadecuado
- Actividades Innecesarias

Una vez, identificadas las causas vitales que generan el efecto de bajo valor agregado de las actividades del proceso de extrusión, se procede a realizar las mejoras respectivas, con el personal crítico del proceso de extrusión de Cedal.

3.3.4 FASE MEJORAR

En la fase mejorar, se realizó un análisis de las causas determinadas en la fase anterior, se determina que con la mejora a las causas primarias que producen que exista un bajo valor agregado en la actividades que se realiza, se aumente el tiempo de ciclo del proceso y por consiguiente, se aumente la capacidad de producción del proceso de extrusión.

3.3.4.1 Layout Inadecuado

El principal problema en el layout del proceso de extrusión, corresponde al de no mantener un sitio específico para el almacenamiento de billets o tochos de

aluminio para el continuo funcionamiento de la extrusora de Cedal, al no mantener la bodega provisional de almacenamiento de tochos de aluminio genera una demora en el proceso, ya que el mismo debe ser trasladado por medio de montacargas desde el galpón del proceso de fundición hacia el proceso de extrusión, donde se considera una distancia de 366 m de desplazamiento del material y un tiempo aproximado de 6 min.



Figura 3.26. Diagrama de Ishikawa del efecto tiempo de ciclo extendido con el uso del software MINITAB 16

La mejora propuesta e implementada en el problema de falta de material en el proceso de extrusión, consistió en la fabricación de una bodega temporal como se lo evidencia en la Figura 3.27, la cual tiene una capacidad de almacenamiento de 5000 kg, los cuales se manejan por medio del uso de un “Kanban” de almacenamiento, es decir, son tarjetas que indican al personal del proceso de extrusión, en qué momento de la producción deben colocar nuevo material o tochos de aluminio sin detener el proceso de extrusión y así mantener el mismo en un flujo continuo y sin demoras.



Figura 3.27. Fotografía de la bodega del proceso de extrusión para almacenamiento temporal de tochos de aluminio

3.3.4.2 Actividades Innecesarias

En el cursograma analítico de la Figura 3.5, demuestra que existen actividades que no agregan valor al desarrollo del proceso de extrusión, por tal motivo, se realizó un análisis con el personal del proceso, para definir que dichas actividades deben ser cambiadas o modificadas, a continuación en la Tabla 3.25, se evidencia las actividades que fueron analizadas para la mejora.

Se demuestra en la Tabla 3.25, que se mantienen 2 actividades que deben ser eliminadas y 3 actividades que deben ser modificadas con el fin de disminuir el tiempo estándar de las mismas.

La actividad de trasladar los tochos de aluminio de la bodega del proceso de fundición al proceso de extrusión, debe ser eliminada, ya que con la implementación de la bodega temporal del proceso de extrusión, puesto que ahora se mantiene un Inventario de seguridad de 5000 kg. en la bodega de almacenamiento, la cual funciona a manera de supermercado, en donde, por medio de un “Kanban” de almacenamiento, se solicita al proceso de fundición,

envíe la materia prima faltante a la bodega de almacenamiento, esto permite mantener un flujo continuo dentro del proceso, ya que no existe demoras por falta de materia prima.

La actividad de descargue de tochos de aluminio en el proceso de extrusión, de igual manera que la primera actividad debe ser eliminada, puesto que al mantener la bodega de almacenamiento temporal, ya no se considera como actividad del proceso de extrusión el descargue de los tochos de aluminio, esto debido a que la actividad que la reemplaza es la alimentación de la materia prima en las máquinas extrusoras.

La actividad de clasificar los tochos de aluminio para la prensa 1 y prensa 2, debe ser eliminada debido a que, en la bodega de almacenamiento temporal de tochos de aluminio, estas se encuentran clasificadas, esto es posible ya que el Kanban de almacenamiento solicita al proceso de fundición, los dos tipos de características del tocho de aluminio que utilizan las prensas, es decir, que los dos tipos de tochos mantienen un inventario mínimo de funcionamiento para las prensas.

La bodega de almacenamiento temporal, ya no se considera como actividad del proceso de extrusión el descargue de los tochos de aluminio, esto debido a que la actividad que la reemplaza es la alimentación de la materia prima en las máquinas extrusoras.

La actividad de clasificar los tochos de aluminio para la prensa 1 y prensa 2, debe ser eliminada debido a que, en la bodega de almacenamiento temporal de tochos de aluminio, estas se encuentran clasificadas, esto es posible ya que el Kanban de almacenamiento solicita al proceso de fundición, los dos tipos de características del tocho de aluminio que utilizan las prensas, es decir, que los dos tipos de tochos mantienen un inventario mínimo de funcionamiento para las prensas.

Tabla 3.25. Análisis de las actividades del proceso de extrusión

ACTIVIDAD	○	⇒	D	□	▽	ELIMINAR	MODIFICAR	NO MODIFICAR
Trasladar tochos de aluminio de la bodega de fundición a la bodega de extrusión		X				1		
Descargar los tochos de aluminio en bodega de almacenamiento de extrusión					X	1		
Clasificar los tochos de aluminio para la prensa 1 y prensa 2				X		1		
Trasladar los tochos de aluminio a las cintas alimentadoras de las extrusoras		X						1
Ingresar a horno de precalentamiento el tocho de aluminio	X							1
Pasar al área de extrusión de la prensa		X						1
Hacer funcionar la extrusora	X							1
Estirar los perfiles por la mesa de extrusión	X							1
Inspeccionar defectos de calidad en el grupo de perfiles extruidos				X				1
Preparar la máquina de corte de perfilera de aluminio				X				1
Ajustar la longitud deseada por el cliente en la máquina de corte				X				1
Cortar perfiles a la longitud programada	X							1
Retirar retazos o sobrantes de perfilera			X					1
Acomodar los perfiles en canastillas		X						1
Colocar en canastilla un perfil testigo		X						1
Colocar Canastillas dentro de horno de envejecimiento		X						1
Sacar canastillas del horno de envejecimiento		X						1
Retirar perfil testigo y colocarlo en canasta de inspección		X						1
Llevar las canastillas según corresponda al proceso de pintura o anodizado		X				1		
	TOTAL					4	0	15

La actividad de llevar las canastillas según corresponda a los procesos de anodizado o pintura, debe ser eliminado de las actividades del proceso de extrusión, ya que a la salida del horno de envejecimiento, se ha designado un lugar de almacenamiento temporal, en la cual los procesos de anodizado y pintura retiren las canastillas correspondientes a cada proceso, esto permite que el proceso de extrusión elimine la actividad.

3.3.4.3 Cursograma analítico de actividades del proceso de extrusión con mejoras

El cursograma analítico de las actividades del proceso de extrusión de Cedal de la Figura 3.28, muestra la implementación de las mejoras en las actividades del proceso, esto evidencia una mejora en el tiempo de ciclo del proceso de extrusión.

Con base a los datos de la Figura 3.28, se determina que el tiempo de ciclo del proceso de extrusión tuvo una reducción de 17,53 min, esto representa una mejora del 26,75 %; además se redujo la distancia de recorrido del material en 411 m, la cual representa una reducción del 84,74 % de mejora en el recorrido del material dentro del proceso de extrusión de la planta Cedal.

3.3.4.4 Estudio de tiempo para determinar el tiempo de ciclo del proceso de extrusión con mejoras

Para determinar el tiempo de ciclo del proceso de extrusión, después de las mejoras implementadas en el proceso, se realizó un estudio de ingeniería de tiempos el cual se basa en el muestreo de trabajo, donde se considera lo que se ha producido en un determinado periodo de tiempo y también el porcentaje de tiempo empleado para realizar varias tareas.

Para el desarrollo de este método de muestreo de trabajo se determinó inicialmente un tamaño de muestra, el cual determine un valor significativo que indique cuando el proceso de extrusión se encuentre en una etapa de trabajo o parada en el tiempo de estudio.

Cursograma Analítico										
Diagrama Num.	2	Hoja Num.	1 de 1	Resumen						
Objeto:	Conocer el proceso de extrusión del diagrama de operaciones del proceso de extrusión de la empresa Cedral			Actividad	Actual	Propuesta	Economía			
Actividad:	Lista de Actividades del proceso de extrusión de la empresa Cedral			Operación	○	9	9	0		
Metodo :	Actual / Propuesto	Implementado	mejoras	Transporte	⇒	6	4	2		
Lugar:	Proceso de extrusión			Inspeccion	□	1	1	0		
Operario (s) :	5	Ficha Num.	2	Almacenamiento	▽	2	1	1		
Compuesto por:	Ing. Luis Garcés	Fecha:	21/08/2015	De mora	D	1	0	1		
Aprobado por:	Ing. Iván Granda	Fecha:	21/08/2015	Distancia (m)		485	74	411		
				Tiempo de ciclo (min)		62.53	45	17.53		
				Simbolo						
Descripcion	Cantidad (kg)	Distancia (m)	Tiempo (min)	○	⇒	D	□	▽	Observaciones	
Trasladar los tochos de aluminio de la bodega de almacenamiento a las cintas alimentadoras de las extrusoras	1000	3	2.35		X					
Ingresar a horno de precalentamiento el tocho de aluminio	1000	2	2.38	X						
Pasar al área de extrusión de la prensa	1000	3	1.50		X					
Hacer funcionar la extrusora	1000	0	1.13	X						
Estirar los perfiles por la mesa de extrusión	1000	26	4.70	X						
Inspeccionar defectos de calidad en el grupo de perfiles extruidos	1000	8	5.38				X			
Preparar la máquina de corte de perfilera de aluminio	1000	0	3.50	X						
Ajustar la longitud deseada por el cliente en la máquina de corte	1000	0	0.88	X						
Cortar perfiles a la longitud programada	1000	0	2.25	X						
Retirar retazos o sobrantes de perfilera	1000	0	0.83				X			
Acomodar los perfiles en canastillas	1000	10	8.00	X						
Colocar en canastilla un perfil testigo	1000	0	0.63		X					
Colocar Canastillas dentro de horno de envejecimiento	1000	15	4.38	X						
Sacar canastillas del horno de envejecimiento	1000	5	6.38	X						
Retirar perfil testigo y colocarlo en canasta de inspección	1000	2	0.75		X					
Total		74	45.00	9	4	1	1	0		

Figura 3.28. Cursograma analítico de actividades con implementación de mejoras

Por motivos del estudio y la experiencia de los trabajadores, se determinó que el porcentaje de tiempo inactivo (p) y el porcentaje de tiempo en marcha (q) del proceso de extrusión es del 20% y 80% respectivamente, en el cual se considera un error de muestreo del 10 %, y una confianza del 95 %.

Con estos datos obtenidos se puede calcular el tamaño de la muestra:

$$\frac{e}{2} = \sqrt{\frac{pq}{n}} \quad [3.6]$$

$$n = \frac{4*(0,2 * 0,8)}{(0,1)^2} = 64 \text{ muestras}$$

Con base al análisis de tamaño de muestra, se realizó una simulación de Montecarlo como se muestra en la Tabla 3.28, la cual se efectuó para un periodo de tiempo de 2 días o 48 horas de trabajo.

En el Anexo IV, se evidencia una simulación de Montecarlo, donde se obtuvo los números de manera aleatoria y cada número se convirtió en una hora en específico, con la cual se muestreó en el proceso, con el fin de determinar si el proceso de extrusión se encontraba operativo o detenido.

Los escenarios posibles en que se puede conocer si el proceso está operativo o detenido son los siguientes:

En Marcha:

- Máquina en extrusión (A)
- Alimentando material a la máquina (B)
- Estirando material extruido (C)
- Colocar perfiles en canastilla (D)

Paradas:

- Espera de arreglo por mantenimiento (E)
- Espera de materia prima (F)

- Espera por falta de canastillas (G)
- Inactivo (H)

Se puede evidenciar, con base a los datos de la Tabla A IV.1, que con las 64 observaciones que se realizó en 2 días de trabajo se obtuvo lo siguiente:

$$p = \frac{15}{64} = 0,23 = 23\%$$

$$q = \frac{49}{64} = 0,77 = 77\%$$

Una vez, que se tiene calculado el porcentaje de operatividad e inactividad del proceso, se procede a determinar el tiempo observado del proceso de extrusión.

El tiempo observado (T_o), se calcula con la siguiente fórmula:

$$T_o = \frac{\text{porcentaje del tiempo en marcha} * \text{tiempo de la observación}}{\text{peso de la producción en observación}} \left(\frac{\% * \text{min}}{\text{ton}} \right) \quad [3.7]$$

La producción del proceso de extrusión, en el periodo de tiempo del análisis para la toma de las 64 muestras, según la simulación de Montecarlo, ascendió a 61 ton, a partir de este dato se calcula el tiempo observado.

$$T_o = \frac{0,77 * 2880 \text{ min}}{61 \text{ ton}} = 36,35 \frac{\text{min}}{\text{ton}}$$

En el Anexo V, se muestra la metodología de calificación Westinghouse para el cálculo del factor de valoración (Fv), la misma califica los siguientes elementos en un trabajador calificado, en el cual se reconoce que tiene las aptitudes físicas necesarias, que posee la requerida inteligencia e instrucción y que ha adquirido la destreza y conocimientos necesarios para efectuar el trabajo en curso.

Con base a las observaciones realizadas en el muestreo de trabajo, se llega a la conclusión de calificar a los trabajadores seleccionados, con los siguientes valores:

Sistema Westinghouse para calificar habilidad:

B2 Excelente +0,08

Sistema Westinghouse para calificar esfuerzo:

C2 Bueno +0,02

Sistema Westinghouse para calificar condiciones:

C Bueno +0,02

Sistema Westinghouse para calificar consistencia:

Buena C +0,01

Con base a los datos analizados, a continuación se puede calcular el factor de valoración con la siguiente fórmula:

$$Fv = 1 + \text{Habilidad} + \text{esfuerzo} + \text{condiciones} + \text{consistencia} \quad [3.8]$$

$$Fv = 1 + 0,08 + 0,02 + 0,02 + 0,01$$

$$Fv = 1,13$$

El suplemento (S) para este estudio se consideró el valor (p), es decir, el nivel de inactividad del proceso de extrusión, cuyo valor corresponde a 0,23 o 23%.

Una vez, que se obtuvo los valores del tiempo observado (T_o), el factor de valoración (F_v) y el suplemento (S), se procede a aplicar la fórmula del tiempo de ciclo (T_c).

$$T_c = T_o + F_v + (1+S) \quad [3.9]$$

$$T_c = 36,35 \frac{\text{min}}{\text{ton}} + 1,13 + (1+0,23)$$

$$T_c = 38,71 \frac{\text{min}}{\text{ton}}$$

Por lo tanto, se concluyó que el tiempo de ciclo del proceso de extrusión, con la implementación de las mejoras y eliminación de actividades innecesarias es de 38,71 min por cada tonelada producida; se evidencia que el tiempo de ciclo ha disminuido en un 38 %.

3.3.4.5 Tasa de operación del proceso de extrusión con mejoras

Para determinar la tasa de operación de las actividades que agregan valor en el proceso de extrusión de la empresa Cedal, una vez se han implementado las mejoras al proceso, se considera lo dispuesto en el cursograma analítico de operaciones de la Figura 3.28.

Con base a los datos recopilados en la Figura 3.28, se desarrolla la Tabla 3.26, que resume el número de actividades de acuerdo a la simbología básica de registro.

En función de los datos resumen de la Tabla 3.10, se aplica la fórmula 3.4, la cual busca determinar el porcentaje de valor agregado actual de las actividades del proceso de extrusión de la empresa Cedal.

$$\text{Tasa de Operación} = \frac{9}{15} * 100\% = 60 \%$$

Tabla 3.26. Resumen de actividades del proceso de extrusión según la simbología básica de registro con mejoras implementadas al proceso de extrusión

Simbología básica de registros	Número de Actividades
Operación	9
Transporte	4
Demora	1
Inspección	1
Almacenaje	0
Total	15

Con base a los datos expuestos, se determina que existe una mejora en la capacidad de producción del proceso de extrusión en un 64 %, posterior a las mejoras implementadas

3.3.4.6 Capacidad de producción del proceso de extrusión con mejoras

El tiempo de ciclo del proceso de extrusión antes de la implementación de las mejoras, correspondía a 62,53 min/ 1000 kg o 0,062 min/ kg. El tiempo de ciclo del proceso, posterior a la implementación de las mejoras en el proceso es de 38,71 min/ 1000 kg o 0,038 min/kg. Esto implica una reducción en el tiempo de ciclo del 38 %, por consiguiente, existe un aumento en la capacidad de producción del proceso.

Se aplica la fórmula 3.3, para calcular la nueva capacidad de proceso de extrusión.

$$C_p = \frac{1}{T_c} = \frac{1}{0,038 \text{ min/kg}} = 26,31 \text{ kg/min}$$

Con base a los datos expuestos, se determina que existe una mejora en la capacidad de producción del proceso de extrusión en un 64 %, posterior a las mejoras implementadas

3.3.5 FASE CONTROL

En la etapa de control, se elaboraron mecanismos para que las soluciones encontradas en las fases anteriores, persistan en el tiempo, para esto se realizó un cambio en el procedimiento de trabajo del proceso de extrusión, donde conste las cambios analizados y se estandarice el método de trabajo en el proceso de extrusión.

3.3.6 RESULTADOS ALCANZADOS

En la Tabla 3.27, se resume el antes y el después de las actividades del proceso de extrusión, en términos de las variables que influyen en la productividad del proceso en cuanto al estudio de métodos y tiempos.

Tabla 3.27. Resultados alcanzados con la implementación de las fases DMAIC y el estudio de métodos y tiempos

ANTES	DESPUÉS
% de valor agregado = 47,36	% de valor agregado = 60
Tiempo de ciclo = 62,53 min/ton	Tiempo de ciclo = 38,71 min/ton
Capacidad de producción = 15,99 kg/min	Capacidad de producción = 26,31 kg/min
Números de actividades = 19	Números de actividades = 15
Desplazamiento del material = 485 m	Desplazamiento del material = 74 m

Con base a los datos de la Tabla 3.27, se evidencia que el proceso de extrusión, ha mejorado su productividad, después de la implementación de las herramientas de “Six Sigma”, y el estudio de métodos y tiempos.

3.3.7 INDICADOR DE PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN CON MEJORAS

En el Anexo VI, se demuestra los datos acumulados del primer y segundo semestre del año 2015, correspondientes a las variables peso neto extruido y las hora – hombre trabajadas.

Con base a los datos del Anexo VI, se obtiene y demuestra en el Anexo VII, la aplicación de la fórmula 3.2, en cuanto al KPI de productividad, el cual indica de forma diferencial y acumulada el comportamiento de la tendencia del KPI en el tiempo.

Una vez, obtenida de forma diferencial y acumulada el indicador de productividad, la Figura 3.29, demuestra el comportamiento del indicador en el tiempo, el mismo se representa por la línea de tendencia.

Se evidencia en la Figura 3.29, que la productividad tiene una tendencia a la baja, a partir de la octava semana de producción en el año 2015, esto se debe a la baja generación de perfiles netos extruidos, la cual no cumple con lo dispuesto en el plan de producción de la empresa.

Se observa en la Figura 3.29, que la tendencia en la línea base correspondiente al mes de junio de 2015, se mantenía en un promedio de productividad de 255 kg/h-h, a partir del mes de julio que se implementó la mejora en el proceso de extrusión, en cuanto a métodos y tiempos de trabajo; para el mes de diciembre de 2015, se mantiene una tendencia de 269 kg/h-h, es decir, se logró aumentar la productividad del proceso de extrusión de la planta Cedal en un 5,50 %.

En este contexto, se concluye que el aumento del KPI, contribuye al aumento de la productividad general del proceso de extrusión y la productividad general de la

planta de producción de la empresa Cedal, ya que existe un incremento del 5,50% más de material por cada hora – hombre empleada para la fabricación de perfiles de aluminio, mismo que será vendido a los clientes externos de la organización.

3.4 ANÁLISIS DE LA EFICACIA DE LA PRODUCCIÓN EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN

Conforme a los datos obtenidos en la situación actual de la eficacia de la producción en el proceso de extrusión, se ejecutó mejoras a la eficacia, de acuerdo a la implementación de las fases del proyecto “Six Sigma”.

3.4.1 FASE DEFINIR

Se definió en la Tabla 3.11, que la eficacia de la producción del proceso de extrusión, no es la adecuada, según los estándares dispuestos por la empresa Cedal, en cuanto al nivel de producción que debe ser entregado a los procesos posteriores al proceso de extrusión de la cadena de valor.

El estándar de Cedal se encuentra posicionado en que el porcentaje mínimo de producción planificado para los procesos de anodizado y pintura, corresponde al 85 % de la producción, y como se observa en la Figura 3.6, el promedio de porcentaje de cumplimiento del indicador de eficacia, se encuentra en el 71 % de la producción, manteniendo así, el inconveniente que el proceso de anodizado se encuentra subutilizado, puesto que es el cuello de botella de la cadena de valor, es decir, el proceso de anodizado, es el proceso que mantiene el ritmo de producción en la planta industrial de Cedal, y por este motivo, el proceso de anodizado debe estar siempre alimentado de material por parte del proceso de extrusión.

3.4.2 FASE MEDIR

En la Figura 3.8, se demuestra un mapa del proceso de extrusión o SIPOC Macro, esto permite entender de manera visual los límites del proceso bajo análisis, además se conoce del personal que desarrolla las actividades del proceso de extrusión.

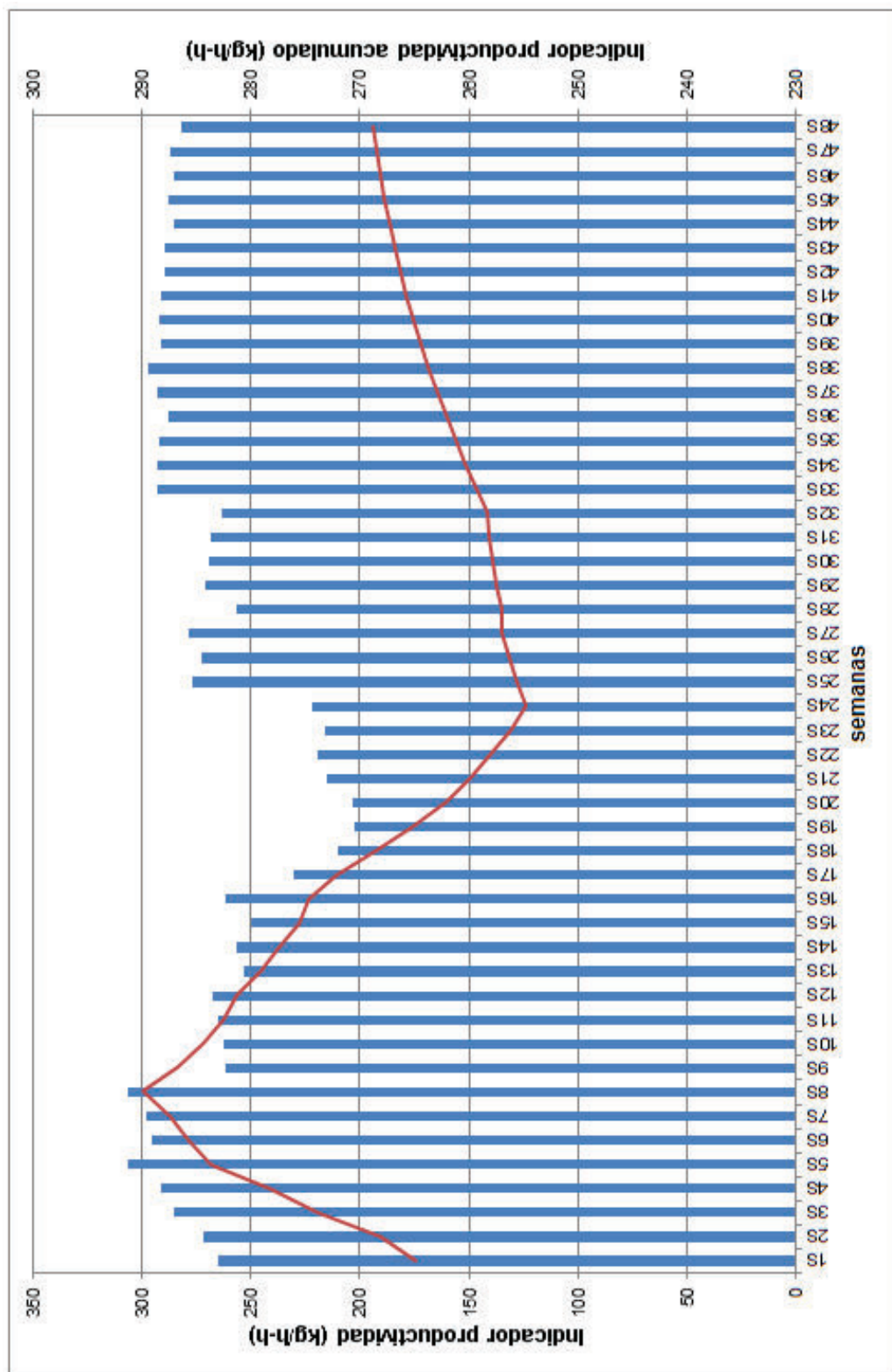


Figura 3.29. Análisis de tendencia del KPI productividad en el primer y segundo semestre del año 2015

En la Tabla A III.1, se evidencia la forma como el proceso de extrusión genera la planificación de la producción de forma anual; además, en la Figura 3.6, se demuestra la medición del indicador o KPI de la eficacia de la producción del proceso de extrusión, la cual no es adecuada en comparación a las especificaciones dispuestas por el proceso de la planta de Cedal.

3.4.3 FASE ANALIZAR

Para el análisis de las potenciales causas, que generan una disminución de la eficacia de la producción en el proceso de extrusión de la empresa Cedal, se realizó una reunión de trabajo para generar una lluvia de ideas en conjunto con el personal responsable del proceso de extrusión, donde, en la Figura 3.30, se demuestra a través de un diagrama de espina de pescado o Ishikawa, las potenciales causas que intervienen actualmente en el proceso de extrusión.

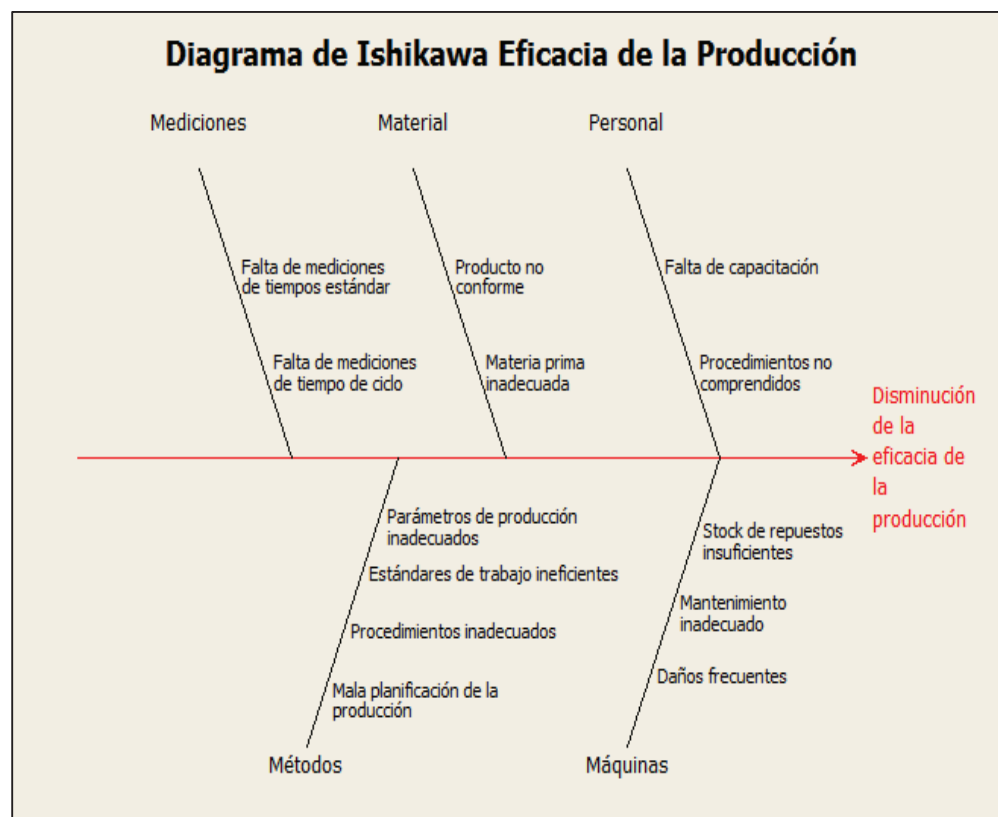


Figura 3.30. Diagrama de Ishikawa del efecto disminución de la eficacia de la producción con el uso del software MINITAB 16

Con base a la información de la Figura 3.30, se considera las causas vitales que generan el efecto, las mismas corresponden a:

- Productos no conformes
- Falta de mediciones de tiempo de ciclo

Una vez, identificadas las causas vitales que generan el efecto de la disminución de la eficacia de la producción del proceso de extrusión, se procede a realizar las mejoras respectivas, con el personal crítico del proceso de Cedal.

3.4.4 FASE MEJORAR

En la fase mejorar, se realizó un análisis de las causas determinadas en la fase anterior, se determina que con la mejora a las causas primarias que producen que exista una disminución de la eficacia de la producción en el proceso de extrusión, se aumente el porcentaje de entrega de material a los procesos subsiguientes de anodizado y pintura de la cadena de valor de Cedal.

3.4.4.1 Causa primaria de productos no conformes

Los productos no conformes, como causa primaria del efecto de la disminución en la eficacia de la producción en el proceso de extrusión de Cedal, se lo analizó en la Figura 3.1, donde se determinó por medio de un diagrama de Pareto, que el defecto dureza con un 51% del total de rechazos en el proceso de extrusión, es el defecto principal y por lo tanto el defecto que debía tener un proceso de mejora para su reducción; por consiguiente, se efectuó la implementación de las herramientas de la metodología “Six Sigma”, para lo cual se desarrolló estrategias de mejora como el diseño de experimentos y control estadístico de procesos, con el fin de reducir el nivel de rechazos para el defecto de dureza.

En la Figura 3.24, se evidencia que después de la implementación de las herramientas de mejora de la metodología “Six Sigma”, se alcanzó reducir el nivel de rechazos por el defecto de dureza al 46%, es decir, existe una mejora del producto no conforme en un 10% de reducción, en el periodo del primer semestre del año 2015, al segundo semestre del mismo año.

3.4.4.2 Mediciones del tiempo de ciclo del proceso

La falta de medición del estándar del tiempo del proceso de extrusión o tiempo de ciclo, corresponde a una causa primaria del efecto en la disminución de la eficacia de la producción en el proceso de extrusión, por tal motivo, se realizó un estudio de métodos y tiempos, con el fin de establecer el estándar del tiempo que toma producir una cierta cantidad de perfilera extruida.

En el estudio de métodos se ejecutó un análisis de las actividades que agregan valor al proceso de extrusión, el cual se demuestra en el cursograma analítico de la Figura 3.5, con base a los datos recolectados, se implementó las herramientas de mejora de la metodología “Six Sigma”, en el cual se realizaron cambios en la distribución física del proceso y se eliminó actividades que no agregan valor, en la Figura 3.28, se evidencia la mejora a las actividades del proceso de extrusión, donde, la tasa de operación del proceso de extrusión paso del 47,36% al 60%, es decir, existe una mejora después de la implementación del 26,68% en las actividades que agregan valor al proceso.

En el estudio de tiempos en el proceso de extrusión, se demuestra en la Tabla 3.9, que el tiempo de ciclo del proceso, corresponde a 62,53 min/ton; después de la implementación de las herramientas de mejora y un análisis de muestreo del trabajo, se determinó que el tiempo de ciclo calculado para el proceso, corresponde a 38,71 min/ton, es decir, se disminuyó el tiempo de ciclo del proceso en un 38,10%; esto implica que existe una mejora en la capacidad de producción del proceso de extrusión y por consiguiente, se evidencia un aumento en la entrega de material a los procesos subsiguientes de anodizado y pintura de Cedal.

3.4.5 FASE CONTROLAR

En la fase controlar para el eficacia de la producción, se determinó que el control se lo debe realizar en el indicador clave de desempeño o KPI de eficacia de la producción, que según los requerimientos de Cedal, debe encontrarse en un valor promedio mayor o igual al 85%, esto se puede evidenciar en la Figura 3.31.

3.4.6 INDICADOR DE LA EFICACIA DE PRODUCCIÓN DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN CON MEJORAS

En la Tabla 3.28, se presentan el peso neto producido y el peso de material programado en forma diferencial y acumulada en la producción del proceso de extrusión de la empresa Cedal, correspondiente al primer y segundo semestre del año 2015.

En el cual, el peso de material programado corresponde a los datos calculados en la Tabla A III.1, la cual corresponde al método de pronóstico de la producción de suavizamiento exponencial con un $\alpha = 9$.

Se observa en la Figura 3.31, que la tendencia en la línea base correspondiente al mes de junio de 2015, se mantenía en un promedio de eficacia de la producción del 71%, a partir del mes de julio que se implementó la mejora en el proceso de extrusión, en cuanto a la disminución de producto no conforme y, métodos y tiempos de trabajo; para el mes de diciembre de 2015, se mantiene una tendencia del 84%, es decir, se alcanzó aumentar la eficacia de la producción del proceso de extrusión de la planta Cedal en un 18,3%.

En este contexto, se concluye que el aumento del KPI, contribuye al aumento de la productividad general del proceso de extrusión y la productividad general de la planta de producción de la empresa Cedal.

Con los resultados provistos en la Figura 3.31, se puede considerar que la eficacia de la producción del proceso de extrusión de Cedal, ha mejorado pero no cumple aún con los requerimientos de Cedal, ya que los porcentajes promedios observados en el año 2015, no sobrepasan del estándar de producción, que es del 85% en el cumplimiento de entrega al siguiente proceso de anodizado o pintura.

3.5 ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL TIEMPO DE ENTREGA DE PERFILES EXTRUIDOS

Conforme a los datos obtenidos en la situación actual de la eficiencia del tiempo de entrega de perfiles extruidos, se ejecutó mejoras a la eficiencia del tiempo, de acuerdo a la implementación de las fases del proyecto “Six Sigma”.

3.5.1 FASE DEFINIR

Para la fase definir del proyecto de implementación “Six Sigma”, se presentó en la Tabla 3.13, que el promedio de porcentaje de cumplimiento de la eficiencia del tiempo de entrega del material a los procesos de anodizado y pintura de la planta Cedal, tienen un valor del 76%, al considerar la línea base en la semana 24 de producción del año 2015, por lo tanto, no se cumple con el requerimiento del departamento de planificación de la producción, ya que el estándar de eficiencia para la entrega de material tiene un mínimo de 90%.

3.5.2 FASE MEDIR

Con base a los datos recopilados en la fase definir, se procedió a la toma de datos de la variable tiempo de entrega real de producción en el proceso de extrusión, con el fin de conocer su capacidad y estabilidad dentro del proceso, para lo cual se realiza un estudio de capacidad utilizando el índice de capacidad potencial del proceso (C_p) y el índice de capacidad real del proceso (C_{pk}).

Con respecto al estudio de estabilidad de la variable crítica de producción, se emplea el uso de cartas de control por medias y rangos, puesto que la variable crítica analizada en el proceso de extrusión es una variable continua.

En la Figura 3.32, se evidencia el análisis de la capacidad y estabilidad del proceso en el primer semestre del año 2015, para el desarrollo del análisis, se procedió a establecer las especificaciones del proceso en cuanto a los tiempos de entrega que debe mantener el proceso de extrusión, para su posterior entrega a los procesos de anodizado y pintura de la planta Cedal.

Tabla 3.28. Resumen del peso neto producido y peso de material programado del primer y segundo semestre del 2015

Periodo	Peso neto producido (kg)	Peso neto producido acumulado (kg)	Peso de material programado (kg)	Peso de material programado acumulado (kg)	Indicador de eficacia	Indicador de eficacia acumulado
ene-15	667599,00	667599,00	861725,00	861725,00	77%	77%
feb-15	723513,00	1391111,00	867991,00	1729716,00	83%	80%
mar-15	633698,00	2024810,00	866718,00	2596434,00	73%	78%
abr-15	612458,00	2637268,00	869081,00	3465515,00	70%	76%
may-15	507677,00	3144945,00	867411,00	4332926,00	59%	73%
jun-15	522910,00	3667855,00	868650,00	5201576,00	60%	71%
jul-15	650232,00	4318087,00	619990,00	5821566,00	105%	74%
ago-15	642367,00	4960454,00	681272,00	6502838,00	94%	76%
sep-15	698790,00	5659244,00	697338,00	7200176,00	100%	79%
oct-15	703541,00	6362785,00	697143,00	7897319,00	101%	81%
nov-15	692634,00	7055419,00	686688,00	8584008,00	101%	82%
dic-15	684689,00	7740108,00	679959,00	9263967,00	101%	84%

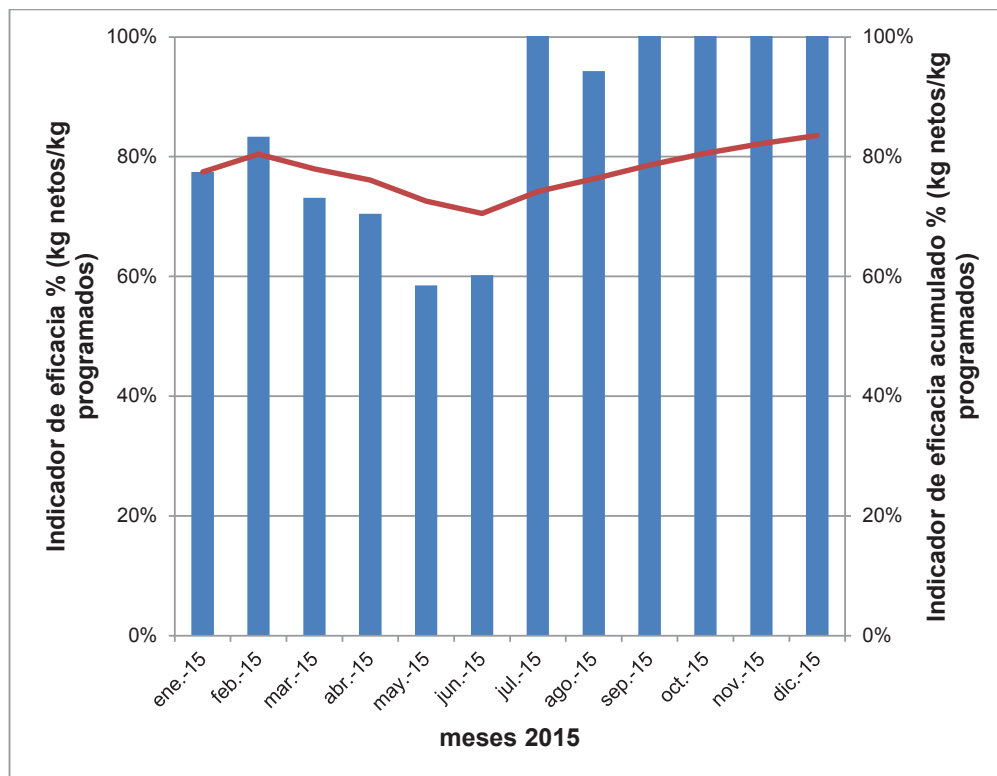


Figura 3.31. KPI eficacia de la producción del proceso de extrusión del primer y segundo semestre 2015

Las especificaciones del proceso, corresponden a las establecidas por el departamento de planificación de la producción, donde, la especificación superior tiene un valor de 5 días y la especificación inferior posee un valor de 4 días, el valor de la especificación inferior, es considerada de acuerdo a los datos históricos del departamento de planificación de la producción, es decir, que un lote de producción dentro del proceso de extrusión, tiene una permanencia mínima en el proceso de 4 días, por esta razón se coloca a la especificación inferior con dicho valor.

Se analiza la Figura 3.32, en cuanto a las especificaciones del tiempo de entrega real del material del proceso de extrusión, se conoce que la EI = 4 y la ES = 5 días. Del histograma se evidencia que los resultados de las mediciones del tiempo de entrega real tienden a estar cargados hacia la especificación superior, es decir, que los perfiles de aluminio poseen un tiempo real de entrega de material superior a los 5 días dispuestos por el departamento de planificación de la producción, lo

que provoca un atraso en la producción de perfiles de aluminio; además, la desviación estándar a corto plazo que es igual a 1,08 días, origina que se mantenga una capacidad a corto plazo igual a $Z_c = 3 \cdot C_{pk} = 3 \cdot 0,47 = 1,41$ sigmas, que es mucho menor a la meta de seis sigma planteada en el proyecto.

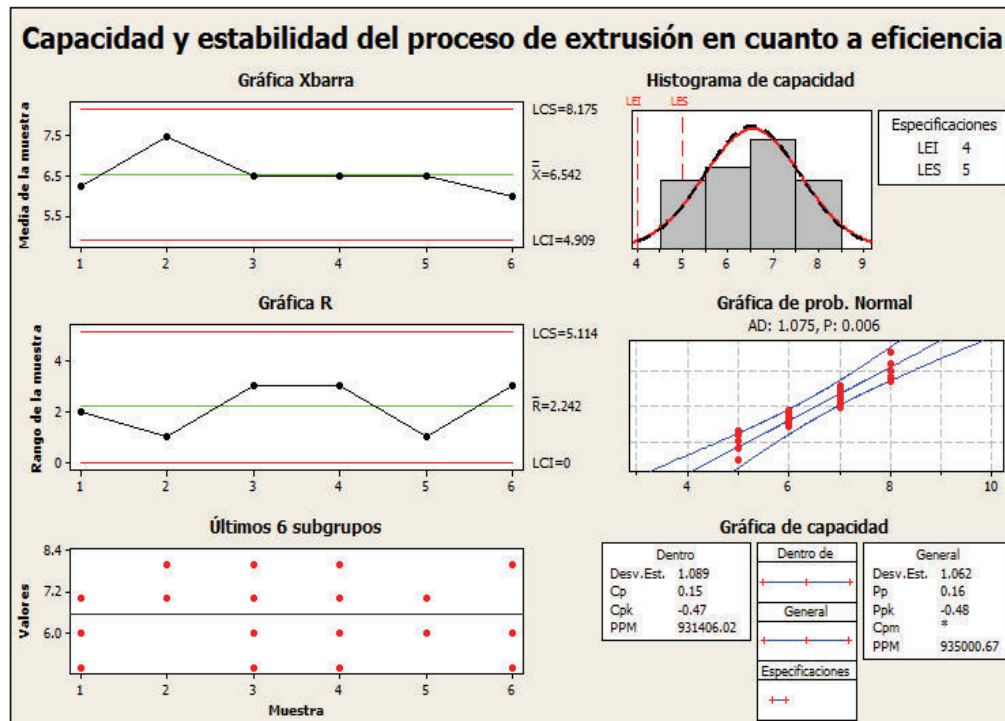


Figura 3.32. Gráfica de capacidad y estabilidad del proceso de extrusión en cuanto a eficiencia de entrega del primer semestre 2015 con el uso del software MINITAB 16

La variación real del proceso o a largo plazo, se obtiene calculando la desviación estándar de los 24 datos de la muestra de la Figura 3.32, siendo la desviación estándar a largo plazo igual a 1,06 días, con este dato se calcula la capacidad a largo plazo del tiempo real de entrega, la cual es $Z_l = 3 \cdot P_{pk} = 3 \cdot 0,48 = 1,44$ sigmas, además; al conocer la capacidad a largo plazo, se determina que estadísticamente existirán 935000 ppm o lotes de producción que no serán entregados conforme el estándar de producción.

Como se observa en la Figura 3.32, el índice de capacidad potencial del proceso (C_p) tiene un valor de 0,15; esto quiere decir, que el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones técnicas requeridas para el tiempo de entrega

real del material del proceso de extrusión de la planta industrial de Cedal, ya que se conoce que un C_p adecuado dentro de la industria para considerarlo adecuado debe ser igual o mayor a 1,33 y si se busca una calidad "Six Sigma", el C_p debe encontrarse en un valor igual o mayor a 2, situación que no sucede actualmente con la capacidad del proceso en cuanto a la eficiencia del tiempo de entrega.

Con respecto al índice de capacidad real del proceso (C_{pk}), se conoce que su valor es igual a -0,47; es decir, que el centrado del proceso es insatisfactorio en cuanto al cumplimiento de las especificaciones del mismo, se considera para un proceso existente y maduro, que su C_{pk} se igual o mayor a 1,25.

En cuanto a la estabilidad del proceso, se observa que las cartas de control de medias y rangos se encuentra en control estadístico, ya que no se encuentra ningún punto fuera de los límites de control, además, se evidencia que no existe patrón alguno sobre la aleatoriedad de la gráfica de los puntos en ambas cartas, por consiguiente, se considera que el proceso es estable.

Por lo tanto, se considera de acuerdo a la Figura 3.32, que el proceso de extrusión en cuanto a la eficiencia del tiempo de entrega de perfiles extruidos, es estable pero incapaz, puesto que, el proceso se encuentra desviado en cuanto a su tendencia central.

3.5.3 FASE ANALIZAR

Para el análisis de las potenciales causas que generan el incumplimiento de la eficiencia de tiempo de entrega de perfiles extruidos de la empresa Cedal, se realizó una reunión de trabajo para generar una lluvia de ideas en conjunto con el personal responsable del proceso de extrusión, por el cual, en la Figura 3.33, se demuestra a través de un diagrama de espina de pescado o Ishikawa, las potenciales causas que intervienen actualmente en el proceso de extrusión.

Con base a la información de la Figura 3.33, se considera que la causa vital para que se genere el efecto, corresponden a:

- Tiempo excesivo en la liberación de lotes de producción por cumplimiento a la norma NTE INEN 2250, en cuanto a ensayos mecánicos de los perfiles extruidos.

Una vez, identificada la causa vital que genera el efecto de incumplimiento de la eficiencia del tiempo de entrega de perfiles extruidos, se procede a realizar las mejoras respectivas en conjunto con el personal del proceso de extrusión de Cedal.

El cumplimiento de lo dispuesto en la norma NTE INEN 2250:2013, es de estricto cumplimiento para los procesos de la cadena de valor de la empresa Cedal, planta Latacunga, puesto que, la empresa cuenta con 8 sellos de calidad INEN.



Figura 3.33. Diagrama de Ishikawa del efecto incumplimiento de la eficiencia del tiempo de entrega de material con el uso del software MINITAB 16

3.5.4 FASE MEJORAR

En la fase mejorar, se realizó un análisis de la causa estipulada en la fase anterior, se determinó que con la mejora a la causa primaria que produce que

exista un incumplimiento de la eficiencia del tiempo de entrega de perfiles extruidos, se aumente el porcentaje de cumplimiento en el tiempo de entrega de material a los procesos subsiguientes de anodizado y pintura en la cadena de valor de Cedal.

Se determinó que la realización del ensayo mecánico de resistencia a la tracción de cada lote de producción de perfiles extruidos, demora la liberación del material a los procesos siguientes de anodizado y pintura, esto se debe a que el material no puede ser liberado sin una aprobación formal por parte del laboratorio de calidad, donde, indique que el lote de producción analizado cumple con los parámetros técnicos dispuestos en la norma INEN 2250:2013.

De acuerdo a los antecedentes expuestos, se realizó un análisis del comportamiento de la correlación de la variable dureza y la variable resistencia a la tracción, ya que son variables proporcionales dentro del área técnica del material.

3.5.4.1 Correlación de las variables resistencia a la tracción y dureza en perfiles de aluminio.

Se realizó un análisis de correlación de las variables *Resistencia a la Tracción y Dureza* del material correspondiente a perfiles de aluminio, ambas variables son reconocidas como características de salida de calidad del horno de envejecimiento, donde el material adquiere sus propiedades termo mecánicas finales, es decir, adquiere dureza y la resistencia a la tracción después de un determinado temple, en el cual, depende de los requerimientos del cliente final del producto, por tal motivo, se consideró adecuado realizar un análisis de correlación, utilizando una gráfica de dispersión y un factor de correlación de las variables antes presentadas, para desarrollar un modelo matemático del comportamiento de la resistencia a la tracción, en función de la variable dureza, empleando para el mismo una regresión lineal.

El tamaño de muestra que se seleccionó, para realizar el análisis de correlación entre las variables dureza y tracción, fueron recopilados los datos

correspondientes a 2 semanas de producción, las mismas se las aplicaron para la semana 22 y 23 del primer semestre del año 2015, donde se recopiló 50 datos en función a la resistencia a la tracción y dureza del material, los datos recolectados pertenecen a la misma probeta, se verificó que haya existido una estabilidad en el horno de envejecimiento con el fin de que no exista datos atípicos que puedan sesgar la investigación.

Para la realización del análisis de correlación entre las variables de tracción y dureza se utilizó como ayuda el software estadístico Minitab 16.

En la Tabla 3.29, se demuestra la recopilación de 50 datos que fueron tomados en las semanas de producción 22 y 23 del primer semestre del año 2015 en el laboratorio de calidad de la empresa, es decir, al momento de realizar el ensayo mecánico de tracción, se midió de igual forma la dureza de la probeta a ser ensayada, por tal motivo, en la Tabla 3.29, se evidencia el emparejamiento de ambas variables en cada probeta ensayada.

Con base a los datos obtenidos en la Tabla 3.29, se procedió a realizar el gráfico de dispersión de ambas variables, con el fin de conocer su grado de correlación, por tal motivo, se muestra en la Figura 3.34, el gráfico de correlación de las variables resistencia a la tracción y dureza.

Según el gráfico de la Figura 3.34, se evidencia que las combinaciones entre las variables de tracción y dureza siguen una correlación positiva, es decir, es directamente proporcional la una de la otra.

Se procedió a realizar la obtención del coeficiente de correlación de Pearson, el cual fue de 0,73 demostrando que la gráfica anterior, confirma que la correlación entre ambas variables es significativa, puesto que el coeficiente es muy cercano a 1.

Tabla 3.29. Datos recolectados de las variables resistencia a la tracción y dureza de las semanas de producción 22 y 23 del año 2015

N°	Resistencia a la Tracción (MPa)	Dureza (Webster)	N°	Resistencia a la Tracción (MPa)	Dureza (Webster)
1	218,00	12,00	26,00	221,00	12,00
2	215,00	12,00	27,00	218,00	12,00
3	204,00	11,00	28,00	207,00	11,00
4	206,00	12,00	29,00	209,00	11,00
5	203,00	11,00	30,00	206,00	11,00
6	231,00	11,00	31,00	234,00	13,00
7	192,00	10,00	32,00	195,00	10,00
8	189,00	9,00	33,00	192,00	10,00
9	153,00	6,00	34,00	185,00	9,00
10	233,00	11,00	35,00	207,00	9,00
11	248,00	12,00	36,00	192,00	10,00
12	199,00	11,00	37,00	184,00	9,00
13	191,00	11,00	38,00	175,00	8,00
14	201,00	11,00	39,00	159,00	7,00
15	221,00	11,00	40,00	200,00	10,00
16	199,00	10,00	41,00	205,00	10,00
17	215,00	11,00	42,00	214,00	11,00
18	216,00	11,00	43,00	226,00	12,00
19	208,00	10,00	44,00	184,00	9,00
20	224,00	11,00	45,00	173,00	8,00
21	184,00	9,00	46,00	144,00	6,00
22	198,00	10,00	47,00	157,00	7,00
23	223,00	11,00	48,00	164,00	7,00
24	201,00	11,00	49,00	215,00	11,00
25	209,00	11,00	50,00	206,00	10,00

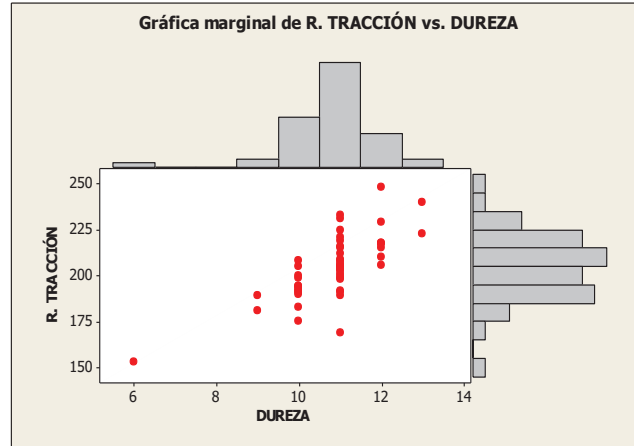


Figura 3.34. Diagrama de dispersión de las variables resistencia a la tracción y dureza con el uso del software MINITAB 16

En la Figura 3.35, se demuestra una gráfica de regresión de la ecuación matemática ajustada, la cual utiliza el método de los cuadrados mínimos, que minimiza la suma de las distancias elevadas al cuadrado entre los puntos y la línea ajustada, así se evidencia el modelo matemático que predice el comportamiento de la Resistencia a la Tracción en función de la dureza, además se presenta un R cuadrado ajustado de 53,3%, es decir, que se explica la relación a un 53,3% de los datos y el restante 46,7% de los mismos no se los puede explicar, y pueden variar su posición en la gráfica.

El modelo matemático para relacionar ambas variables es la siguiente:

$$\text{Resistencia a la Tracción} = 77,13 + 11,78 * \text{Dureza} \quad [3.10]$$

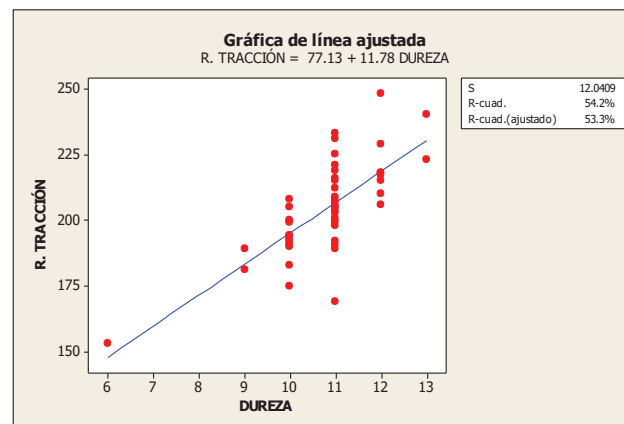


Figura 3.35. Gráfica de línea ajustada de las variables resistencia a la tracción y dureza con el uso del software MINITAB 16

En la Figura 3.36, se demuestra un análisis de los residuos generados por el ajuste al modelo matemático de regresión lineal de las variables tracción y dureza, en el cual se evidencia que los datos y los residuos cumplen con los supuestos de independencia, y sigue una distribución normal según la prueba interna del software Minitab 16 de Kolmogorov – Smirnov para reconocer la distribución de los datos.

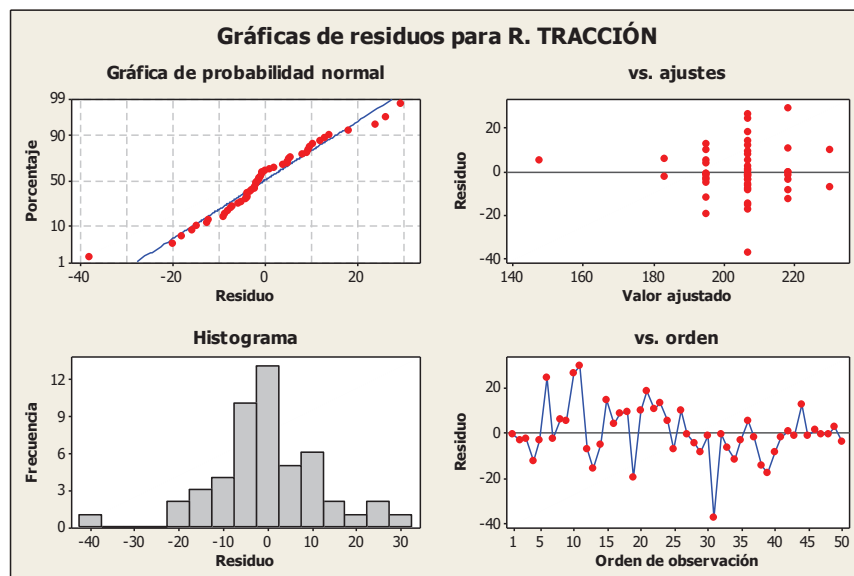


Figura 3.36. Gráfica de residuos de las variables de resistencia a la tracción y dureza con el uso del software MINITAB 16

Al realizar una comparación en el modelo matemático por regresión lineal con el estándar de aceptación de los “Requisitos Mecánicos” de la Norma INEN 2250:2013, en el cual, se estipula que la resistencia a la tracción mínima para una aleación de aluminio 6063 con T5 y espesores menores a 12,5 mm es de 150 MPa y espesores de $12,5 < e < 25$ mm es de 145 MPa, se determinó la dureza mínima que debe cumplir en cada uno de los casos antes expuestos, con el fin de liberar el lote de producción inmediatamente, hasta que se realice los ensayos mecánicos a la muestra que del horno de envejecimiento en el laboratorio de calidad de Cedal.

En los siguientes cálculos, se determina la dureza mínima para liberar el lote de producción de manera inmediata:

Espesores menores a 12,5 mm:

$$\text{Dureza mín. (e<12,5 mm)} = \frac{\text{Resistencia a la Tracción}-77,13}{11,78}$$

$$\text{Dureza mín. (e<12,5 mm)} = \frac{150-77,13}{11,78}$$

$$\text{Dureza mín. (e<12,5 mm)} = 6,19 \text{ Webster}$$

Espesores (12,5<e<25) mm:

$$\text{Dureza mín. (12,5<e<25)mm} = \frac{\text{Resistencia a la Tracción}-77,13}{11,78}$$

$$\text{Dureza mín. (12,5<e<25)mm} = \frac{145-77,13}{11,78}$$

$$\text{Dureza mín. (12,5<e<25)mm} = 5,76 \text{ Webster}$$

Con base a los cálculos presentados, se minimiza el tiempo de liberación de los lotes de producción, a los siguientes procesos de la cadena de valor de la empresa, los cuales son anodizado y pintura, hasta que el laboratorio de calidad, realice los ensayos mecánicos de tracción, fluencia y alargamiento del lote de producción y se registre el informe de los mismos.

3.5.4.2 Evaluar la solución propuesta

Para la evaluación y validación de la solución propuesta de la correlación de las variables dureza y resistencia a la tracción, se realizó la toma de tiempos de entrega de los lotes de producción del proceso de extrusión a los procesos de anodizado y pintura, de los meses de julio a octubre del año 2015, con el objetivo de analizar la capacidad del proceso y su estabilidad en el tiempo.

Con los datos de la Tabla 3.30, se hace un análisis de la capacidad y estabilidad del proceso, se considera que el número de días planificados son 5; los resultados se muestran en la Figura 3.37.

Se analiza en la Figura 3.37, que el histograma con los resultados de las mediciones del tiempo de entrega de material extruido, después de la

implementación de la mejora, tienden a estar agrupados cerca del valor nominal de 5 días del tiempo planificado; además, la desviación estándar a corto plazo cambió de 1,08 días en la línea base a 0,10 días, esto origina que se mantenga una capacidad a corto plazo igual a $Z_c = 3 \cdot C_{pk} = 3 \cdot 1,51 = 4,53$ sigmas, que es mucho mayor a la situación inicial del proceso en cuanto a su variable de días de entrega de material extruido a los procesos de anodizado y pintura.

Tabla 3.30. Tiempo de entrega de lotes de producción del proceso de extrusión a los procesos de anodizado y pintura de los meses de julio a octubre del 2015

Semana de Producción	Lote mínimo de entrega (kg)	Número de días reales de entrega
25	165852,00	4,50
26	163478,00	4,40
27	166891,00	4,70
28	154011,00	4,60
29	162320,00	4,50
30	161478,00	4,50
31	160784,00	4,50
32	157785,00	4,40
33	175627,00	4,30
34	175426,00	4,50
35	174984,00	4,50
36	172753,00	4,50
37	175841,00	4,60
38	177963,00	4,40
39	174568,00	4,70
40	175169,00	4,50

La desviación estándar a largo plazo en su estado inicial o línea base era igual a 1,06 días, con la implementación de las mejoras en el proceso, la misma es de 0,10 días, con este dato se calcula la capacidad a largo plazo de la variable eficiencia del tiempo de entrega de perfiles extruidos, la cual es $Z_l = 3 \cdot P_{pk} =$

$3 \times 1,55 = 4,65$ sigmas, entonces se determina que con la implementación de las mejoras existe por el momento 2,64 ppm o lotes de producción que no serán entregados en el número de días de la media del proceso.

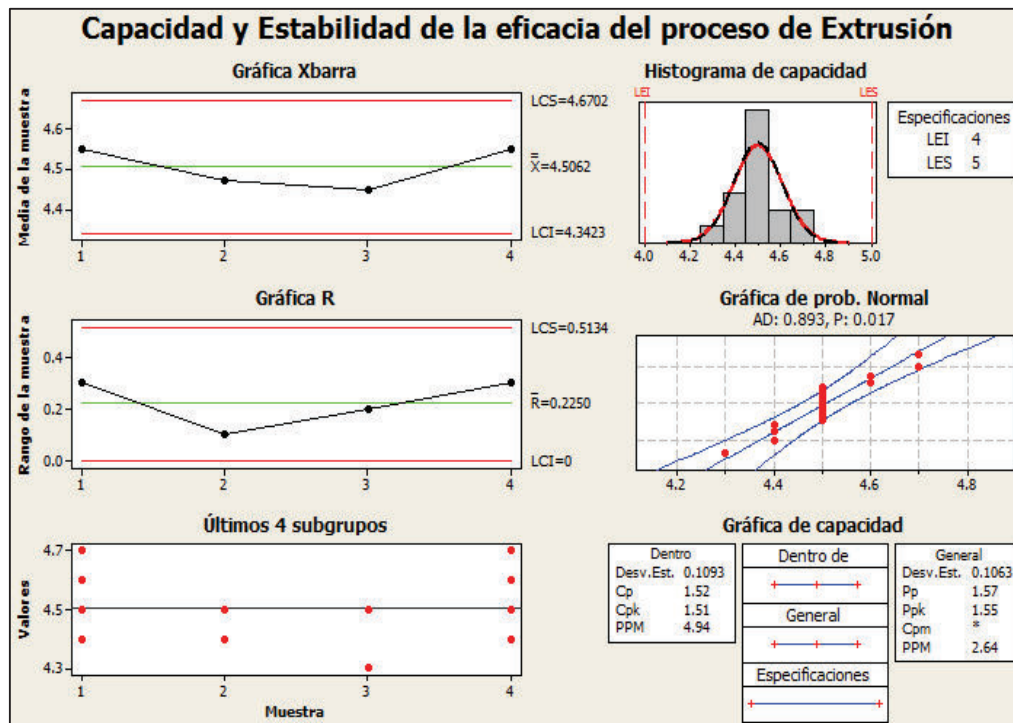


Figura 3.37. Gráfica de la capacidad y estabilidad con mejoras en la eficiencia de entrega del primer y segundo semestre 2015 con el uso del software MINITAB 16

Como se observa en la Figura 3.37, el índice de capacidad potencial del proceso (Cp) tiene un valor de 1,52; esto quiere decir, que el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones técnicas requeridas para el tiempo de entrega de perfiles extruidos del proceso de extrusión de la planta industrial de Cedal, ya que se conoce que un CP adecuado dentro de la industria para considerarlo adecuado debe ser igual o mayor a 1,33; y si se busca una calidad “Six Sigma”, el Cp debe encontrarse en un valor igual o mayor a 2, situación que no se logra hasta el momento en el proceso de extrusión, sin embargo, se realizarán las recomendaciones adecuadas para que se alcance el valor de Cp igual o mayor a 2 en el tiempo.

Con respecto al índice de capacidad real del proceso (Cpk), se conoce que su valor es igual a 1,51; es decir, que el centrado del proceso es satisfactorio en cuanto al cumplimiento de las especificaciones del mismo.

En cuanto a la estabilidad del proceso, se observa que las cartas de control de medias y rangos se encuentra en control estadístico, además, se evidencia que los límites de control de las cartas de control cambiaron de nivel en comparación al estudio de línea base o situación inicial del proceso en cuanto a la medición del tiempo de entrega de perfiles extruidos, además, se observa que no existe patrón alguno sobre la aleatoriedad de la gráfica de los puntos en ambas cartas, por lo tanto, se considera que el proceso es estable.

En consecuencia, se considera que el proceso de extrusión en cuanto a su variable de tiempo de entrega de perfiles extruidos, es estable y capaz, puesto que, el proceso se encuentra ajustado en cuanto a su tendencia central.

3.5.5 FASE CONTROL

En la etapa de control, se elaboraron mecanismos para que las soluciones encontradas en las fases anteriores, persistan en el tiempo, para esto se realizó un cambio en el procedimiento de trabajo del proceso de extrusión, donde conste los cambios analizados en cuanto a la medición de la dureza como criterio técnico para la liberación de lotes de producción a los procesos de anodizado y pintura.

Con respecto al control de los cambios debido a la estabilidad del proceso, se estableció el uso de la carta de control por variables de medias y rangos, en el cual, se calcula la variable tiempo de entrega real de lotes de producción de perfiles extruidos, las mediciones se las realiza de manera semanal a la salida de cada lote de producción, es decir, se toman 4 mediciones en una semana de producción continua, las cuales se dividen en subgrupos de tamaño 4, por tal razón, al mes se grafica un punto en las cartas de control; a continuación se presenta las cartas de control de la variable, tomadas en los meses de julio a diciembre del año 2015.

En la Tabla 3.31, se observa las mediciones tomadas en el periodo de tiempo mencionado y se considera que el tiempo planificado de entrega es de 5 días en todas las semanas.

En la Figura 3.38, se aprecia el comportamiento de las cartas en control estadístico, los límites de control de la carta de medias, se encuentran en valores menores que las tolerancias o especificaciones de la variable dureza, es decir, que la variable dureza cumple con las especificaciones en el tiempo.

Tabla 3.31. Tiempo de entrega de lotes de producción del proceso de extrusión a los procesos de anodizado y pintura en el segundo semestre del 2015

Semana de Producción	Lote mínimo de entrega (kg)	Número de días reales de entrega
25	165852,00	4,50
26	163478,00	4,40
27	166891,00	4,70
28	154011,00	4,60
29	162320,00	4,50
30	161478,00	4,50
31	160784,00	4,50
32	157785,00	4,40
33	175627,00	4,30
34	175426,00	4,50
35	174984,00	4,50
36	172753,00	4,50
37	175841,00	4,60
38	177963,00	4,40
39	174568,00	4,70
40	175169,00	4,50
41	174587,00	4,50
42	173625,00	4,60
43	173541,00	4,40
44	170881,00	4,70
45	172598,00	4,80
46	171204,00	4,50
47	171854,00	4,50
48	169033,00	4,40

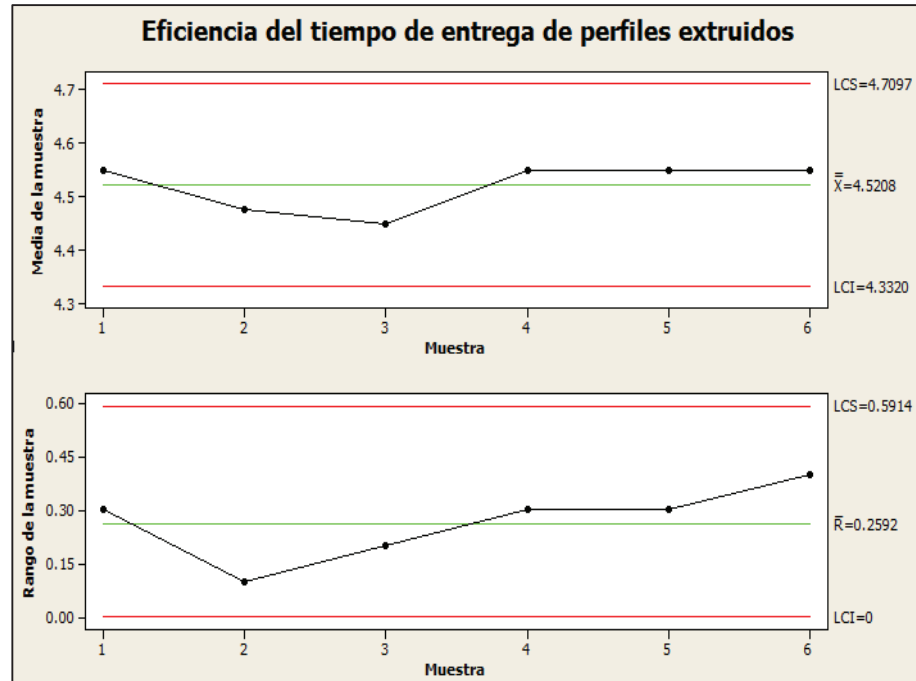


Figura 3.38 Carta de control de la eficiencia del tiempo de entrega de perfiles extruidos en la fase control con el uso del software MINITAB 16

El proceso de extrusión de la empresa Cedal, en cuanto a la variable de tiempo de entrega de perfiles extruidos, se puede decir que tiene un comportamiento estable y capaz en el tiempo, debido a las mejoras implementadas en el proceso.

3.5.6 RESULTADOS ALCANZADOS

En la Tabla 3.32, se resume el antes y el después para la variable tiempo de entrega de perfiles extruidos, en términos de las métricas de la metodología “Six Sigma”.

Los estadísticos de largo plazo se colocaron suponiendo un escenario donde el proceso se desplaza 1,5 sigmas.

Con base a los datos de la Tabla 3.32, se evidencia que no se alcanza un sistema de calidad de seis sigmas en el proceso de extrusión de la empresa Cedal, sin embargo, se alcanza un nivel de 4 sigmas en el mismo, que se encuentra cerca a la meta de ser un proceso con calidad de clase mundial.

Tabla 3.32. Resultados alcanzados con la implementación de las fases DMAIC

ANTES	DESPUÉS
Cpk = -0,47	Cpk = 1,51
Ppk = -0,48	Ppk = 1,55
PPM = 935000	PPM = 2,64
Sigmas = 1,41	Sigmas = 4,53
ZI = 1,44	ZI = 4,65

3.5.7 INDICADOR DE LA EFICIENCIA DEL TIEMPO DE ENTREGA DE PERFILES EXTRUIDOS CON MEJORAS

Se presenta en la Tabla 3.33, el indicador clave de desempeño de la eficiencia del tiempo de entrega de perfiles extruidos, con las mejoras implementadas en las fases de la metodología “Six Sigma”.

En la Tabla 3.33, se evidencia el indicador clave de desempeño de forma diferencial y acumulada, con el fin de conocer la tendencia del indicador en el tiempo, el periodo de evaluación del indicador corresponden al primer y segundo semestre del año 2015, en el cual, se considera la línea base de mejora al mes de junio del año 2015, es decir, que desde el mes de junio se evidencia la mejora en el promedio porcentual de cumplimiento del indicador de eficiencia del tiempo de entrega de perfiles extruidos; en la Tabla 3.33, se considera una constante de 5 días el número de días planificados.

En la Figura 3.39, se evidencia el comportamiento de la tendencia del indicador clave de desempeño de la eficiencia del tiempo de entrega de perfiles extruidos a los procesos de anodizado y pintura.

Tabla 3.33. Tiempo de entrega real y planificado acumulados de perfiles extruidos en el primer y segundo semestre del 2015

Semana de Producción	Lote mínimo de entrega (kg)	Número de días reales	Número de días reales acumulados	Número de días planificados acumulados	Indicador de eficiencia	Indicador de eficiencia acumulado
1	158974,00	6,00	6,00	5,00	83%	83%
2	162852,00	7,00	13,00	10,00	71%	77%
3	171236,00	7,00	20,00	15,00	71%	75%
4	174536,00	5,00	25,00	20,00	100%	80%
5	183547,00	8,00	33,00	25,00	63%	76%
6	177258,00	7,00	40,00	30,00	71%	75%
7	178741,00	7,00	47,00	35,00	71%	74%
8	183966,00	8,00	55,00	40,00	63%	73%
9	156981,00	8,00	63,00	45,00	63%	71%
10	157357,00	7,00	70,00	50,00	71%	71%
11	158723,00	5,00	75,00	55,00	100%	73%
12	160637,00	6,00	81,00	60,00	83%	74%
13	151590,00	7,00	88,00	65,00	71%	74%
14	153965,00	5,00	93,00	70,00	100%	75%
15	149785,00	8,00	101,00	75,00	63%	74%
16	157119,00	6,00	107,00	80,00	83%	75%
17	138125,00	7,00	114,00	85,00	71%	75%
18	125988,00	7,00	121,00	90,00	71%	74%
19	121583,00	6,00	127,00	95,00	83%	75%
20	121981,00	6,00	133,00	100,00	83%	75%
21	128952,00	5,00	138,00	105,00	100%	76%
22	131575,00	6,00	144,00	110,00	83%	76%
23	129366,00	8,00	152,00	115,00	63%	76%
24	133017,00	5,00	157,00	120,00	100%	76%

Tabla 3.33. Tiempo de entrega real y planificado acumulados de perfiles extruidos en el primer y segundo semestre del 2015 (continuación...)

Semana de Producción	Lote mínimo de entrega (kg)	Número de días reales	Número de días reales acumulados	Número de días planificados acumulados	Indicador de eficiencia	Indicador de eficiencia acumulado
25	165852,00	5,00	162,00	125,00	111%	77%
26	163478,00	4,00	166,00	130,00	114%	78%
27	166891,00	5,00	171,00	135,00	106%	79%
28	154011,00	5,00	175,00	140,00	109%	80%
29	162320,00	5,00	180,00	145,00	111%	81%
30	161478,00	5,00	184,00	150,00	111%	81%
31	160784,00	5,00	189,00	155,00	111%	82%
32	157785,00	4,00	193,00	160,00	114%	83%
33	175627,00	4,00	197,00	165,00	116%	84%
34	175426,00	5,00	202,00	170,00	111%	84%
35	174984,00	5,00	206,00	175,00	111%	85%
36	172753,00	5,00	211,00	180,00	111%	85%
37	175841,00	5,00	216,00	185,00	109%	86%
38	177963,00	4,00	220,00	190,00	114%	86%
39	174568,00	5,00	225,00	195,00	106%	87%
40	175169,00	5,00	229,00	200,00	111%	87%
41	174587,00	5,00	234,00	205,00	111%	88%
42	173625,00	5,00	238,00	210,00	109%	88%
43	173541,00	4,00	243,00	215,00	114%	89%
44	170881,00	5,00	247,00	220,00	106%	89%
45	172598,00	5,00	252,00	225,00	104%	89%
46	171204,00	5,00	257,00	230,00	111%	90%
47	171854,00	5,00	261,00	235,00	111%	90%
48	169033,00	4,00	266,00	240,00	114%	90%

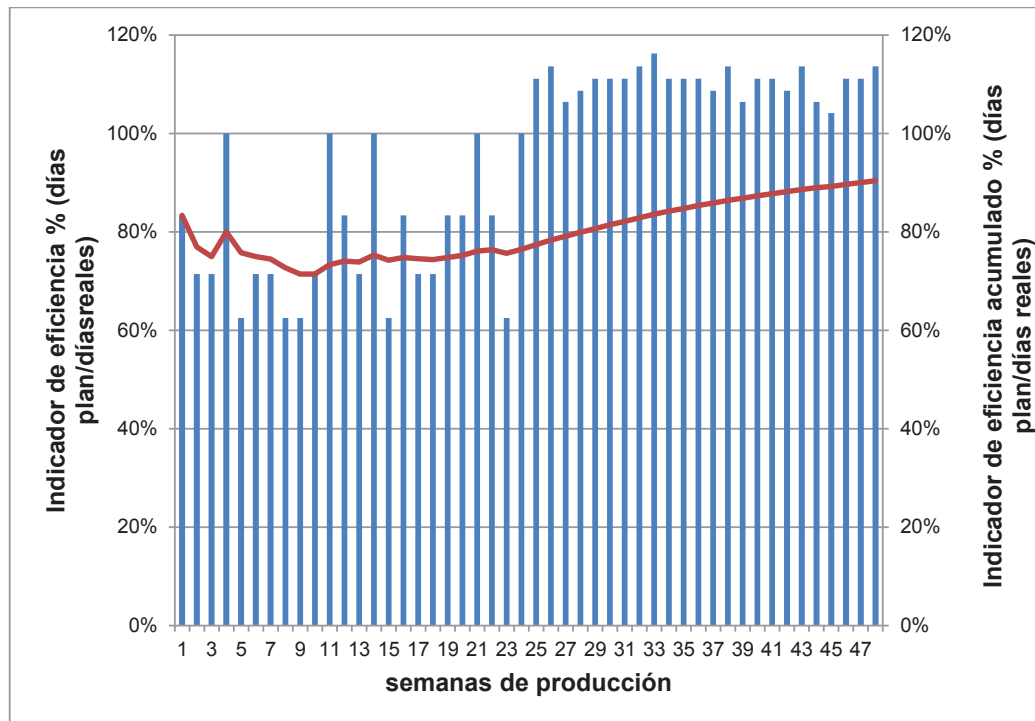


Figura 3.39. KPI de eficiencia en el tiempo de entrega de perfiles extruidos del primer y segundo semestre del 2015

Se observa en la Figura 3.39, que la tendencia en la línea base correspondiente al mes de junio de 2015, se mantenía en un promedio de tiempo de entrega de perfiles extruidos del 76%, a partir del mes de julio que se implementó las mejoras en el proceso de extrusión, en cuanto a la causa principal de retraso de entrega de perfiles extruidos; para el mes de diciembre de 2015, se mantiene una tendencia del 90%, es decir, se logró reducir un 18,42% del tiempo de entrega de perfiles extruidos a los procesos de anodizado y pintura de la planta Cedal y se cumple con la exigencia interna de producción, la cual es mantener el indicador de eficiencia en un mínimo de 90%. En este contexto, se concluye que el acrecentamiento del KPI de eficiencia del tiempo de entrega de perfiles extruidos, contribuye al aumento de la productividad del proceso de extrusión y la productividad general de la planta de producción de la empresa Cedal.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Con la implementación de las fases DMAMC de la metodología “Six Sigma”, a través del uso de herramientas de mejora continua y de calidad como el diagrama de Pareto, estudios de repetibilidad y reproducibilidad, diseño de experimentos, diagrama de Ishikawa, métricas de la capacidad de procesos, cartas de control estadístico, entre otros; el indicador clave de desempeño de cantidad de rechazos de material no conforme, mejoró en un 23,4%, a partir del porcentaje promedio de la línea base del mes de junio del 2015 que se encontraba en el 5,64% de rechazos de material, hasta el mes de diciembre del 2015, donde presentó un porcentaje promedio de rechazo del 4,32%.
- Se determinó por medio del uso del diagrama de Pareto, que la causa que genera un alto rechazo por producto no conforme, es el defecto de dureza del material con un 51% del total en el primer semestre del año 2015, con la implementación de la metodología “Six Sigma”, se redujo el porcentaje de dureza al 46% como principal defecto de rechazo en el segundo semestre del año 2015, por lo que se registró una mejora del 10% en los rechazos de material no conforme debido al defecto de dureza.
- Se evidenció mejoras en las métricas de la capacidad del proceso, en lo que corresponde a la capacidad real del proceso (Cpk), en cuanto a la variable de salida de calidad de dureza del material, esto en relación al periodo del primer al segundo semestre del año 2015, donde se optimizó el Cpk de 0,27 a 1,36; las ppm defectuosas de 260313 a 2,55 y los sigmas a corto plazo se incrementaron de 0,81 a 4,08.
- Con la ejecución del diseño de experimentos 2^3 , o tres factores con dos niveles cada uno; para establecer la relación con la variable dureza se

determinó que los factores principales de tiempo y temperatura del material en el horno de envejecimiento, no fueron significativos ya que obtuvieron datos mayores a 0,05 del valor-p; por otro lado, el factor principal que corresponde al número de canastillas dentro del horno y la interacción del número de canastillas y el tiempo de permanencia en el mismo, concurren significativos ya que sus valores fueron menores que el valor-p.

- Con la implementación de las fases DMAMC de la metodología “Six Sigma”, a través del uso de herramientas de mejora continua, calidad y estudio de métodos y tiempos como el cursograma analítico de operaciones, tasa de operación del proceso, muestreo del trabajo, diagrama de Ishikawa, entre otros; el indicador clave de desempeño de la productividad en la fabricación de perfiles extruidos, mejoró en un 5,50%, a partir del promedio de la línea base del mes de junio del 2015 que se encontraba con una productividad de 255 kg/h-h, hasta el mes de diciembre del 2015, donde se presentó una productividad promedio de 269 kg/h-h.
- Se identificó por medio de un diagrama de Ishikawa, que las causas potenciales que producen el efecto de bajo valor agregado en las actividades del proceso de extrusión, fueron actividades innecesarias y una inadecuada distribución física de las instalaciones en el proceso de extrusión.
- Con la implementación de las herramientas de mejora continua de las fases DMAMC, se optimizó el porcentaje de la tasa de operación o valor agregado del proceso de extrusión del 47,36% en el primer semestre al 60% en el segundo semestre del año 2015, esto implicó una mejora del 26,68% de actividades que aportan valor en el proceso.
- La ejecución de un cambio en la distribución física de las instalaciones y la eliminación de actividades innecesarias en el proceso de extrusión, aportó

en la disminución del tiempo de ciclo del proceso, siendo en el primer semestre de 62,53 min/ton a 38,71 min/ton en el segundo semestre del año 2015, esto evidenció una mejora del 38,10% en la producción del proceso de extrusión.

- La optimización del tiempo de ciclo del proceso de extrusión, replicó una mejora en la capacidad de producción del proceso, en la cual, se mantuvo un valor de 15,99 kg/min en el primer semestre y de 26,31 kg/min en el segundo semestre del año 2015, por lo que se incrementó la capacidad de producción en un 64,54%.
- Con la implementación de las fases DMAMC de la metodología “Six Sigma”, a través del uso de herramientas de mejora continua y de calidad como el diagrama SIPOC macro, diagrama de Ishikawa, entre otros; el indicador clave de desempeño de la eficacia de la producción en el proceso de extrusión, mejoró en un 18,3%, a partir del porcentaje promedio de cumplimiento de la línea base del mes de junio del 2015 que se encontraba en el 71% de eficacia de la producción, hasta el mes de diciembre del 2015, donde presentó un porcentaje promedio de cumplimiento de eficacia de la producción del 84%.
- Con la implementación de las fases DMAMC de la metodología “Six Sigma”, a través del uso de herramientas de mejora continua y de calidad como el análisis de las métricas de capacidad de procesos, diagrama de Ishikawa, análisis de correlación de variables, cartas de control de procesos, entre otros; el indicador clave de desempeño de eficiencia del tiempo de entrega de perfiles extruidos, mejoró en un 18,42%, a partir del porcentaje promedio de cumplimiento de la línea base del mes de junio del 2015 que se encontraba en el 76% de eficiencia del tiempo de entrega, hasta el mes de diciembre del 2015, donde presentó un porcentaje promedio de cumplimiento en la eficiencia del tiempo de entrega del 90%.

- Se demostró una mejora en las métricas de la capacidad de procesos, en lo que corresponde a la capacidad real del proceso (Cpk), en cuanto a la variable tiempo de entrega real de los perfiles extruidos, esto en relación al periodo del primer al segundo semestre del año 2015, donde se optimizó el Cpk de -0,47 a 1,51; las ppm defectuosas de 935000 a 2,64 y los sigmas a corto plazo se incrementaron de 1,41 a 4,53.

4.2 RECOMENDACIONES

- Continuar con la implementación de la metodología “Six Sigma” en el resto de procesos de la cadena de valor de la empresa Cedal, con el fin de conocer la capacidad de los procesos y la variabilidad de los mismos.
- Implementar la filosofía justo a tiempo dentro de los procesos de la cadena de valor de la empresa Cedal, con el objetivo de establecer un sistema de producción tipo halar y dejar de lado el sistema actual de empujar la producción.
- Reformar los procedimientos o métodos de trabajo de los procesos de la cadena de valor de la empresa, en base a un estudio integral de tiempos y movimientos, ya que la deficiencia de los mismos, provoca la generación de tiempos inactivos, de accesorio o muertos.
- Analizar alternativas de aumentar la capacidad de trabajo del laboratorio de calidad de la planta de Cedal, ya que los recursos empleados actualmente no son los suficientes, lo cual genera un retraso en la liberación de lotes dentro de los procesos internos de Cedal.
- Mejorar el programa de aplicación de la filosofía 5S's en la planta de Cedal, ya que la falta de orden y limpieza en los procesos de la cadena de valor, crea que los tiempos estándar y de ciclo de los procesos aumente, afectando así la capacidad de producción de Cedal.
- Realizar un estudio de teoría de restricciones en los procesos de Cedal, con el objetivo de elevar la restricción de cuello de botella del proceso de anodizado, y así nivelar la capacidad de los procesos, para mantener una producción continua de los productos que elabora la empresa Cedal.
- Mantener un plan de capacitación activo en temas de mejora continua de procesos, al personal operativo, mandos medios y gerenciales, que genere

una cultura de calidad en los procesos, optimización de recursos invertidos y aumentar la productividad de la empresa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ballou, R. (2004). *Logística: Administración de la cadena de suministro*. (5ta.Ed.). México, D.F. México: Pearson.
2. Bellon, L. (2001). *Calidad Total, Que la promueve, Que la inhibe*. (1era. Ed.). México, D.F. México: Panorama Editorial.
3. Berenson, M. y Levine, D. (2012). *Estadística básica en administración, conceptos y aplicaciones*. (6ta. Ed.). México, D.F. México: Pearson.
4. Bulfin, R. y Sipper, D. (1999). *Planeación y control de la producción*. (1era. Ed.). México, D.F. México: Mc Graw Hill.
5. Chang, R. y Niedzwiecki, M. (1999). *Las herramientas para la mejora continua de la calidad Volumen 2*. (1era. Ed.). Buenos Aires. Argentina: Granica.
6. Cuatrecasas, L. (2011). *Organización de la producción y dirección de operaciones*. (1era. Ed.). Madrid. España: Ediciones Díaz de Santos.
7. Díaz, A. (2009). *Diseño estadístico de experimentos*. (2da. Ed.). Antioquia. Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.
8. Eckes, G. (2005). *El Six Sigma para todos*. (1era. Ed.). Bogotá. Colombia: Grupo Editorial Norma.
9. Escalante, E. (2013). *Seis-Sigma: metodología y técnicas*. (2da. Ed.). México, D.F. México: Limusa Wiley.
10. Fleitman, J. (2007). *Evaluación integral para implementar modelos de calidad*. (1era. Ed.). México, D.F. México: Editorial Pax México.
11. Galindo, E. (2006). *Estadística: Métodos y Aplicaciones*. (1era. Ed.). Quito. Ecuador: ProCiencia Editores.
12. González, F. y Luceño, A. (2004). *Métodos estadísticos para medir, describir y controlar la variabilidad*. (1era. Ed.). Santander. España: Universidad de Cantabria.
13. Gutiérrez, H. y De La Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. (2da. Ed.). México, D.F. México: Mc Graw Hill.
14. Gutiérrez, H. y De La Vara, R. (2013). *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma*. (3 era. Ed.). México, D.F. México: Mc Graw Hill.

15. Heizer, J. (2007). *Dirección de la producción y operaciones: Decisiones Estratégicas*. (8va. Ed.). Madrid. España: Pearson.
16. Krajewsky, L., Ritzman, L. y Malhotra, M. (2008). *Administración de Operaciones Procesos y Cadena de Valor*. (8va. Ed.). México, D.F. México: Pearson.
17. Kume, H. (2008). *Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad*. (1era. Ed.). Bogotá. Colombia: Grupo Editorial Norma.
18. Lowenthal, J. (2002). *Guía para la aplicación de un proyecto Seis Sigma*. (1era. Ed.). Madrid. España: FC Editorial.
19. Martin, J. (2015). *Lean Six Sigma para sistemas administrativos*. (1era. Ed.). México, D.F. México: Trillas.
20. Miranda, L. (2006). *Seis Sigma: Guía para principiantes*. (1era. Ed.). México, D.F. México: Panorama Editorial.
21. Molteni, R. y Cecchi, O. (2005). *El liderazgo del Lean-Six Sigma*. (2da. Ed.). Buenos Aires. Argentina: Ediciones Macchi.
22. Montgomery D. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. (2da. Ed.). México, D.F. México: Limusa Wiley.
23. Navarro, J., Jiménez, J. y Vargas, M. (2010). *Gráficos multivariantes aplicados al control estadístico de la calidad*. (1era. Ed.). Coruña. España: Netbiblo.
24. Niebel, B. y Freivalds, A. (2014). *Ingeniería industrial de Niebels: métodos, estándares y diseño del trabajo*. (13va. Ed.). México, D.F. México: Mc Graw Hill.
25. Pande, P. y Holpp, L. (2002). *¿Qué es Seis Sigma?* (1era. Ed.). Madrid. España: Mc Graw Hill.
26. Peña, D. (2010). *Regresión y diseño de experimentos*. (2da. Ed.). Madrid. España: Alianza Editorial.
27. Pérez, M. (2013). *Metodología Seis Sigma para el control de calidad: Aplicaciones con Minitab*. (1era. Ed.). México, D.F. México: CreateSpace.
28. Rajadell, M. (2010). *Lean Manufacturing: la evidencia de una necesidad*. (1era. Ed.). Madrid. España: Ediciones Díaz de Santos.

29. Vilar, J. (2005). *Control estadístico de los procesos*. (1era. Ed.). Madrid. España: Editorial Fundación Confemetal.
30. Vollmann, T. (2005). *Planeación y control de la producción*. (5ta. Ed.). México, D.F. México: Mc Graw Hill.

ANEXOS

ANEXO I

MAPA DE PROCESOS DE LA CADENA DE VALOR

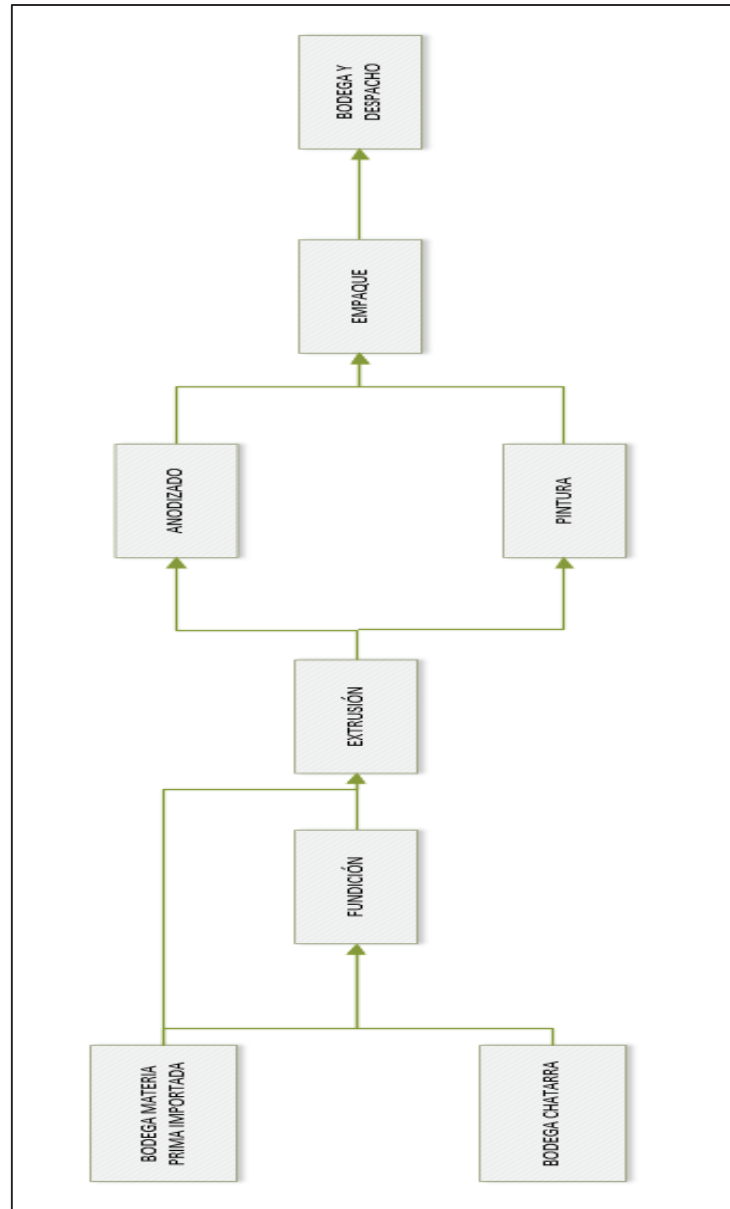


Figura A I.1. Mapa de procesos de la cadena de valor de la empresa Cedal

ANEXO II

CATÁLOGO DE DEFECTOS DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN

Tabla A II.1. Catálogo de defectos de calidad del proceso de extrusión



Código	DEFECTO	FOTO	DEFINICION / DESCRIPCION	METODO	PUNTOS DE INSPECCION	LIMITES DE ACEPTACION
021	DIMENSIONAL		Las dimensiones establecidas en el plano y las tolerancias de acuerdo a INEN 2250:2013	Se lo realiza comparando el perfil con el plano del mismo a fin de que cumpla con las dimensiones allí especificadas	En el proceso de extrusión. A la salida del horno	Cumplimiento 100% de tolerancias de la norma INEN 2250:2013
022	DUREZA		Grado de resistencia a la penetración de la superficie del material	Se lo mide comparando el valor resultante del ensayo con las especificaciones del material.	A la salida del horno de envejecimiento	Los perfiles liberados deberán tener mínimo 10 grados Webster.

Tabla A II.1. Catálogo de defectos de calidad del proceso de extrusión (continuación...)



Código	DEFECTO	FOTO	DEFINICIÓN / DESCRIPCIÓN	METODO	PUNTOS DE INSPECCIÓN	LIMITES DE ACEPTACION
023	EXCESO		Perfilería producida en número mayor al pedido	Perfiles producidos en exceso y separados a bodega de empaque por 30 días	Sierra de corte - Extrusión. Entraque Empaque	No aplica
024	CORTE		Golpe de la sierra de extrusión que afecta al perfil	Se mide si el daño que ocasiono el golpe de sierra afecto en más de 3 cm al perfil	Sierra de corte - Extrusión	Golpe de sierra \leq 3 cm medidos desde el borde del perfil

Tabla A II.1. Catálogo de defectos de calidad del proceso de extrusión (continuación...)



Código	DEFECTO	FOTO	DEFINICION / DESCRIPCION	METODO	PUNTOS DE INSPECCION	LIMITES DE ACEPTACION
025	RAYADURA - PRENSA		Marca continua o en pick up en la superficie del perfil	Se las observa a simple vista o utilizando un lápiz (revelador) que se recorre transversalmente en el perfil.	A la salida de la prensa. Enraque. Empaque	Ausencia en caras visibles 100%
026	TORSION (TWIST)		El giro de un extremo del perfil respecto al otro, ocasionado en el proceso de estirado	Visual	Sierra de corte - Extrusion.	Cumplimiento 100% de tolerancias de la norma INEN 2250:2013

Tabla A II.1. Catálogo de defectos de calidad del proceso de extrusión (continuación...)

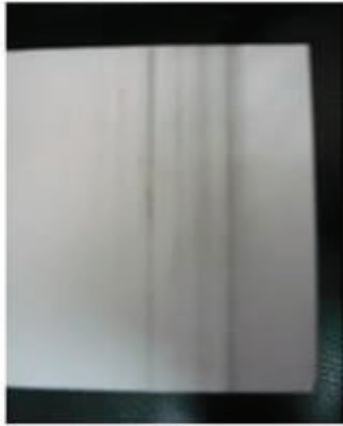
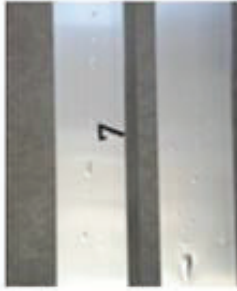
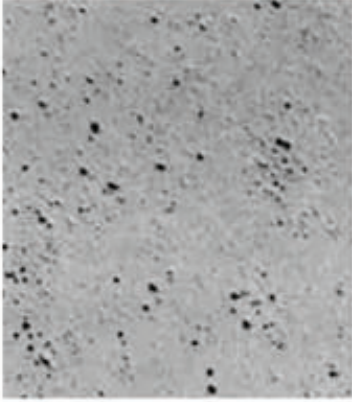

Código	DEFECTO	FOTO	DEFINICION / DESCRIPCION	METODO	PUNTOS DE INSPECCION	LIMITES DE ACEPTACION
027	VEIEADA		Franjas a lo largo del perfil en diferente intensidad y ancho, que se presentan con tonos oscuros, ocasionados en el proceso de extrusión	Visual.	Sierra de corte - Extrusión Enraque Desenraque Empaque	Vetas que no se aprecian a 5 metros en aplicaciones para arquitectura exterior, 3 metros en aplicaciones para arquitectura interior, y 0,5 metros en aplicaciones decorativas son despachados.
028	BURBUJAS HUECOS		Aire atrapado en la superficie del perfil	Visual	A la salida de la prensa Sierra de corte - Extrusión	Ausencia en caras visibles 100%

Tabla A II.1. Catálogo de defectos de calidad del proceso de extrusión (continuación....)

Código	DEFECTO	FOTO	DEFINICION / DESCRIPCION	METODO	PUNTOS DE INSPECCION	LIMITES DE ACEPTACION
029	PITTING		Picado superficial debido a corrosión por presencia de impurezas en la superficie del perfil o ataque químico	Visual	A la salida de la prensa Sierra de corte - Extrusión	Ausencia en caras visibles 100%
030	PIEL NARANJA		Apariencia superficial que afecta al grano de la aleación debido al sobre estirado de los perfiles	Visual	Sierra de corte - Extrusión	Ausencia en caras visibles 100%

ANEXO III
PRONÓSTICOS DE LA DEMANDA DE PRODUCCIÓN

Tabla A III.1. Métodos de pronósticos de la producción en el proceso de extrusión para el año 2015

Mes/Año	sep-13	oct-13	nov-13	dic-13	ene 14 / /15	feb 14 / 15	mar 14 / /15	abr 14 / /15	may 14 / /15	jun 14 / /15	jul 14 / 15	ago 14 / /15	sep 14 / /15	oct 14 / 15	nov 14 / /15	dic 14 / 15
Demanda Real Dt (kg)	859637	860214	859652	860896	861874	868753	866896	869374	867289	868741	866839	869327	872569	873159	872874	871692
	Enfoque simple															
	Enfoque simple promedio															
	Media móvil n=3															
	Media móvil n=4															
	Media móvil ponderada n=3															
	Media móvil ponderada n=4															
	Suavizamiento exponencial $\alpha=0.9$															
	Suavizamiento exponencial $\alpha=0.2$															
	Regresión Lineal															

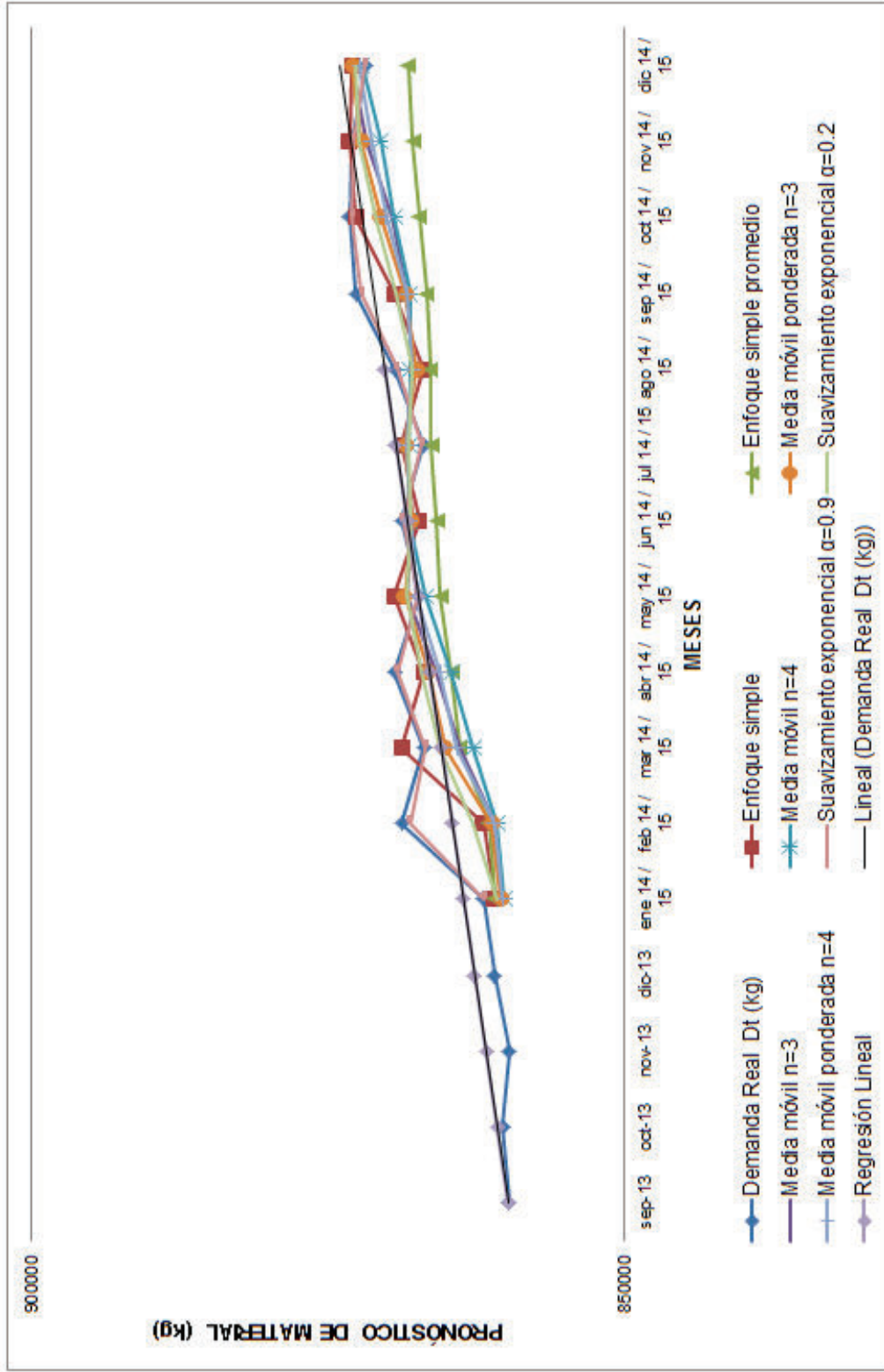


Figura A III.1. Gráfica de métodos de pronósticos de producción en el proceso de extrusión para el año 2015

Tabla A III.2. Cálculo del error en los métodos de pronósticos de producción en el proceso de extrusión

Mes/Año	sep-13	oct-13	nov-13	dic-13	ene 14 /15	feb 14 /15	mar 14 /15	abr 14 /15	may 14 /15	jun 14 /15	jul 14 /15	ago 14 /15	sep 14 /15	oct 14 /15	nov 14 /15	dic 14 /15	DAM	MSE
Demanda Real Dt (kg)	859637	860214	859652	860896	861874	868753	866896	869374	867289	868741	866839	869327	872569	873159	872874	871692		
	ERROR DE PRONÓSTICOS																	
	Enfoque simple				860896	861874	868753	866896	869374	867289	868741	866839	869327	872569	873159	872874	2118	7E+06
	Enfoque simple promedio				860896	861385	863841	864605	865539	865847	866260	866333	866665	867256	867792	868216	3728	2E+07
	Media móvil n=3				860254	860807	863841	865841	868341	867853	868468	867623	868302	869578	871685	872867	2637	1E+07
	Media móvil n=4				860100	860639	862794	864605	866724	868078	868075	868061	868049	869369	870474	871982	2789	1E+07
	Media móvil ponderada n=3				860386	861136	865118	866449	868506	867836	868432	867500	868463	870450	872216	872899	2336	9E+06
	Media móvil ponderada n=4				860260	860936	864097	865456	867505	867951	868228	867785	868282	870038	871297	872352	2478	1E+07
	Suavizamiento exponencial $\alpha=0.9$				861725	867991	866718	869081	867411	868650	866998	869144	872158	872888	872808	871813	2334	88506
	Suavizamiento exponencial $\alpha=0.2$				860684	862660	865474	867034	868263	868017	868113	867865	869285	870992	872347	872657	1869	6E+06
	Regresión Lineal				859747	860695	861644	862593	863541	864490	865439	866387	867336	868285	869233	870182	4151	2E+07
	Enfoque simple	978	6879	1857	2478	2085	1452	1902	2488	3242	590	285	1182	1182	7E+06			
	Enfoque simple promedio	978	7368	3055	4769	1730	2894	579	2994	5903	5082	3476	3476	2E+07				
	Media móvil n=3	1620	7946	3055	3533	1052	888	1629	1704	4267	3381	1189	1175	1E+07				
	Media móvil n=4	1774	8094	4102	4769	565	663	1236	1266	4520	3790	2401	290	1E+07				
	Media móvil ponderada n=3	1488	7617	1778	2925	1217	905	1593	1827	4106	2709	658	1207	9E+06				
	Media móvil ponderada n=4	1614	7817	2799	3918	216	790	1389	1542	4287	3121	1577	660	1E+07				
	Suavizamiento exponencial $\alpha=0.9$	149	762	178	293	122	91	159	183	411	271	66	121	88506				
	Suavizamiento exponencial $\alpha=0.2$	1190	6093	1422	2340	974	724	1274	1462	3284	2167	527	965	6E+06				
	Regresión Lineal	2127	8058	5252	6781	3748	4251	1400	2940	5233	4874	3641	1510	2E+07				

Tabla A IV.1. Simulación de Montecarlo del método de muestreo del trabajo
(continuación...)

1692	04:12	Día 2	1							
1812	06:12	Día 2	1							
1879	07:19	Día 2	1							
1897	07:37	Día 2	1							
2001	09:21	Día 2	1							
2009	09:29	Día 2						1		
2020	09:40	Día 2			1					
2115	11:15	Día 2	1							
2285	14:05	Día 2								1
2364	15:24	Día 2	1							
2408	16:08	Día 2	1							
2456	16:56	Día 2					1			
2497	17:37	Día 2				1				
2509	17:49	Día 2		1						
2548	18:28	Día 2			1					
2590	19:10	Día 2	1							
2611	19:31	Día 2	1							
2655	20:15	Día 2	1							
2671	20:31	Día 2	1							
2699	20:59	Día 2						1		
2731	21:31	Día 2			1					
2785	22:25	Día 2	1							
2793	22:33	Día 2								1
2804	22:44	Día 2								1
2819	22:59	Día 2				1				
2827	23:07	Día 2	1							
2838	23:18	Día 2	1							
2847	23:27	Día 2	1							
2863	23:43	Día 2	1							
2869	23:49	Día 2	1							
2877	23:57	Día 2		1						
2879	23:59	Día 2		1						
TOTAL			31	9	5	4	3	4	4	4

ANEXO V
SISTEMA WESTINGHOUSE

CALIFICACIÓN DE VELOCIDAD					
<i>SISTEMA WESTINGHOUSE</i>					
<u>HABILIDAD</u>			<u>ESFUERZO</u>		
+ 0.15	A1	Extrema	+ 0.13	A1	Excesivo
+ 0.13	A2	Extrema	+ 0.12	A2	Excesivo
+ 0.11	B1	Excelente	+ 0.10	B1	Excelente
+ 0.08	B2	Excelente	+ 0.08	B2	Excelente
+ 0.06	C1	Buena	+ 0.05	C1	Bueno
+ 0.03	C2	Buena	+ 0.02	C2	Bueno
0.00	D	Regular	0.00	D	Regular
- 0.05	E1	Aceptable	- 0.04	E1	Aceptable
- 0.10	E2	Aceptable	- 0.08	E2	Aceptable
- 0.16	F1	Deficiente	- 0.12	F1	Deficiente
- 0.22	F2	Deficiente	- 0.17	F2	Deficiente
<u>CONDICIONES</u>			<u>CONSISTENCIA</u>		
+ 0.06	A	Ideales	+ 0.04	A	Perfecta
+ 0.04	B	Excelentes	+ 0.03	B	Excelente
+ 0.02	C	Buenas	+ 0.01	C	Buena
0.00	D	Regulares	0.00	D	Regular
- 0.03	E	Aceptables	- 0.02	E	Aceptable
- 0.07	F	Deficientes	- 0.04	F	Deficiente

Figura A V.1. Sistema Westinghouse calificación de velocidad

ANEXO VI

DATOS ACUMULADOS DE LAS VARIABLES PESO NETO

EXTRUIDO Y HORAS – HOMBRE TRABAJADAS

Tabla A VI.1. Datos acumulados variables peso neto extruido y hora-hombre trabajadas en el primer y segundo semestre del año 2015

Mes	Semana	Horas - hombre trabajadas (h-h)	Horas - hombre trabajadas acumuladas (h-h)	Peso neto extruido (kg)	Peso neto extruido acumulado (kg)
enero	1	600	600	158974,00	158974,00
enero	2	600	1200	162852,00	321827,00
enero	3	600	1800	171236,00	493063,00
enero	4	600	2400	174536,00	667599,00
febrero	5	600	3000	183547,00	851146,00
febrero	6	600	3600	177258,00	1028404,00
febrero	7	600	4200	178741,00	1207146,00
febrero	8	600	4800	183966,00	1391111,00
marzo	9	600	5400	156981,00	1548093,00
marzo	10	600	6000	157357,00	1705450,00
marzo	11	600	6600	158723,00	1864173,00
marzo	12	600	7200	160637,00	2024810,00
abril	13	600	7800	151590,00	2176400,00
abril	14	600	8400	153965,00	2330365,00
abril	15	600	9000	149785,00	2480150,00
abril	16	600	9600	157119,00	2637268,00
mayo	17	600	10200	138125,00	2775394,00
mayo	18	600	10800	125988,00	2901381,00
mayo	19	600	11400	121583,00	3022964,00
mayo	20	600	12000	121981,00	3144945,00
junio	21	600	12600	128952,00	3273897,00
junio	22	600	13200	131575,00	3405472,00
junio	23	600	13800	129366,00	3534838,00
junio	24	600	14400	133017,00	3667855,00

Tabla A VI.1. Datos acumulados variables peso neto extruido y hora-hombre trabajadas en el primer y segundo semestre del año 2015 (continuación...)

Mes	Semana	Horas - hombre trabajadas (h-h)	Horas - hombre trabajadas acumuladas (h-h)	Peso neto extruido (kg)	Peso neto extruido acumulado (kg)
julio	25	600	15000	165852,00	3833707,00
julio	26	600	15600	163478,00	3997185,00
julio	27	600	16200	166891,00	4164076,00
julio	28	600	16800	154011,00	4318087,00
agosto	29	600	17400	162320,00	4480407,00
agosto	30	600	18000	161478,00	4641885,00
agosto	31	600	18600	160784,00	4802669,00
agosto	32	600	19200	157785,00	4960454,00
septiembre	33	600	19800	175627,00	5136081,00
septiembre	34	600	20400	175426,00	5311507,00
septiembre	35	600	21000	174984,00	5486491,00
septiembre	36	600	21600	172753,00	5659244,00
octubre	37	600	22200	175841,00	5835085,00
octubre	38	600	22800	177963,00	6013048,00
octubre	39	600	23400	174568,00	6187616,00
octubre	40	600	24000	175169,00	6362785,00
noviembre	41	600	24600	174587,00	6537372,00
noviembre	42	600	25200	173625,00	6710997,00
noviembre	43	600	25800	173541,00	6884538,00
noviembre	44	600	26400	170881,00	7055419,00
diciembre	45	600	27000	172598,00	7228017,00
diciembre	46	600	27600	171204,00	7399221,00
diciembre	47	600	28200	171854,00	7571075,00
diciembre	48	600	28800	169033,00	7740108,00

ANEXO VII
INDICADOR DIFERENCIAL Y ACUMULADO DE
PRODUCTIVIDAD

Tabla A VII.1. Indicador de productividad diferencial y acumulada en el primer y segundo semestre del año 2015

Mes	Semana	Indicador de productividad (kg/h-h)	Indicador de productividad Acumulado (kg/h-h)
enero	1	264,96	264,96
enero	2	271,42	268,19
enero	3	285,39	273,92
enero	4	290,89	278,17
febrero	5	305,91	283,72
febrero	6	295,43	285,67
febrero	7	297,90	287,42
febrero	8	306,61	289,81
marzo	9	261,64	286,68
marzo	10	262,26	284,24
marzo	11	264,54	282,45
marzo	12	267,73	281,22
abril	13	252,65	279,03
abril	14	256,61	277,42
abril	15	249,64	275,57
abril	16	261,86	274,72
mayo	17	230,21	272,10
mayo	18	209,98	268,65
mayo	19	202,64	265,17
mayo	20	203,30	262,08
junio	21	214,92	259,83
junio	22	219,29	257,99
junio	23	215,61	256,15
junio	24	221,70	254,71

Tabla A VII.1. Indicador de productividad diferencial y acumulada en el primer y segundo semestre del año 2015 (continuación...)

Mes	Semana	Indicador de productividad (kg/h-h)	Indicador de productividad Acumulado (kg/h-h)
julio	25	276,00	256,00
julio	26	272,00	256,00
julio	27	278,00	257,00
julio	28	257,00	257,00
agosto	29	271,00	257,00
agosto	30	269,00	258,00
agosto	31	268,00	258,00
agosto	32	263,00	258,00
septiembre	33	293,00	259,00
septiembre	34	292,00	260,00
septiembre	35	292,00	261,00
septiembre	36	288,00	262,00
octubre	37	293,00	263,00
octubre	38	297,00	264,00
octubre	39	291,00	264,00
octubre	40	292,00	265,00
noviembre	41	291,00	266,00
noviembre	42	289,00	266,00
noviembre	43	289,00	267,00
noviembre	44	285,00	267,00
diciembre	45	288,00	268,00
diciembre	46	285,00	268,00
diciembre	47	286,00	268,00
diciembre	48	282,00	269,00