

**Centro de Enseñanza Técnica y Superior, CETYS
Universidad**



Maestría en ingeniería e innovación

**Innovación del proceso de soldadura de piezas de aluminio para
aumentar la productividad y eficiencia en CPP Ensenada**

Tesis
para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en ingeniería

Presenta:

Okzanna Berenice Galarza Falfán

Ensenada, Baja California, México
2020

Tesis defendida por

Okzanna Berenice Galarza Falfán

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Josué Aarón López Leyva
Director de tesis

Miembros del comité

MCI Oscar Meza Arballo
Sinodal

Dr. Carlos Antonio González Campos
Sinodal

Mtra. Amanda Georgina Nieta Sánchez
Coordinadora del Posgrado

Dra. Dalia Holanda Chávez García
Directora de Escuela de Ingeniería

Okzanna Berenice Galarza Falfán © 2020

Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin el permiso formal y explícito del autor y director de la tesis.

Resumen de la tesis que presenta **Okzanna Berenice Galarza Falfán** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería e Innovación.

Innovación del proceso de soldadura de piezas de aluminio para aumentar la productividad y eficiencia en CPP Ensenada.

Resumen aprobado por:

Dr. Josué Aarón López Leyva
Director de tesis

En este trabajo se aplicó la metodología DMAIC como una herramienta de Seis Sigma para disminuir al menos en 20% el tiempo de ciclo y costo de re trabajo en una pieza de aluminio con número de parte 222xxxxx en la empresa CPP Ensenada. Durante el proyecto se implementaron cada una de las fases de la metodología DMAIC: definir, medir, analizar, mejorar y controlar; con base en ellas se determinaron las mejores prácticas, lecciones aprendidas y se implementaron las mejoras, de esta forma, se logró la disminución del tiempo de ciclo inicial de 31.47 horas hasta 11.72 horas (reducción aproximada del 62.75%), reducción en promedio del costo de re trabajo de \$904 a \$632 dólares por pieza fundida (reducción aproximadamente del 30.08%, con un total de ahorro de \$13,438 dólares hasta la fecha del cierre del proyecto), la reducción de la cantidad de defecto de fundición de 28 a 10.5 aproximadamente (reducción de 62.5%), reducción de la cantidad de defectos de re trabajo desde 28.4 hasta 16.6 (aproximadamente disminuyó en 41.54%), aumento de la eficiencia de los soldadores hasta 90% y la reducción de DPMO fue de 162,500 hasta 45,454 (72.02%). Como actividades abiertas después del cierre del proyecto, se encuentra la aplicación de este proyecto a números de parte de nuevo ingreso, dentro de las lecciones aprendidas, se incluye aplicar el trabajo estandarizado en cada proceso para disminuir la variación y como mejores prácticas, se estableció la técnica de biselado para la correcta realización del corte.

Palabras clave: tiempo de ciclo, re trabajo, fundición, defecto.

Abstract of the thesis presented by **Okzanna Berenice Galarza Falfán** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Engineering and Innovation.

**Innovation of welding process of aluminum parts to increase productivity and efficiency in CPP
Ensenada.**

Abstract approved by:

Dr. Josué Aarón López Leyva
Thesis Director

In this work, the DMAIC methodology was applied as a Six Sigma tool to reduce cycle time and Rework cost by at least 20% in an aluminum part number 222xxxxx in CPP Ensenada. During the project, each phase of the DMAIC methodology was implemented: define, measure, analyze, improve and control; based on them the best practices, lessons learned and improvements were implemented, in this way, the initial cycle time was reduced from 31.47 hours to 11.72 hours (approximate reduction of 62.75%), average cost reduction rework from \$904 to \$632 per casting (reduction approximately 30.08%), with a total savings of \$13,438 up to the date of project closure), reducing the amount of casting defect from approximately 28 to 10.5 (62.5%), reduction in the number of rework defects from 28.4 to 16.6 (approximately decreased by 41.54%), welders efficiency increase up to 90% and DPMO reduction was from 162,500 to 45,454 (72.02%). The application of this project to new entry part numbers is included in the activities opened after project closure; as for the lessons learned, it is necessary that the standardized work in each process decreases the variation and as best practices, the beveling technique was established for the correct dig out.

Keywords: cycle time, rework, foundry, defect.

Dedicatoria

A mi madre, Victoria.

Lo que pueda escribir es poco comparado con el agradecimiento infinito que siento por ti, porque a pesar de las dificultades siempre encuentras la manera de hacerme sentir mejor. Sin duda, eres la mejor madre que me pudo tocar, gracias por siempre.

A mi padre, Jorge.

Esta tesis no sería realidad sin ti, gracias por motivarme a estudiar esta maestría, por apoyarme en cada momento, bueno y malo, por ser un pilar en mi vida, jamás podré agradecer lo suficiente por todo lo que has hecho por mí.

A mis hermanos, Victoria y Jorge.

Por ser mi soporte en todas las formas en las que se puede ser soporte de alguien, por estar ahí cada que lo necesité: ayudándome a subir y bajar escaleras, a escanear algo por mí, comprar una medicina y especialmente por nunca dejar que me sienta sola, quiero que sepan que cada acción, pequeña o grande, es muy especial para mí y por eso siempre les estaré agradecida.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Agradezco al CONACyT-México, por el apoyo brindado a través de la beca que recibí durante los dos años de maestría y permitirme dedicar mi tiempo completo al estudio y desarrollo de este proyecto.

Al Centro de Enseñanza Técnica y Superior.

Por ser un centro educativo de alto nivel, dándome la oportunidad de estudiar la maestría, apoyo y soporte en cada actividad y acceso a todas las herramientas que necesité para llevar a cabo cada tarea y trabajo, así como esta tesis.

A Consolidated Precision Products planta Ensenada.

Por las facilidades otorgadas en el desarrollo de este proyecto, especialmente al Ing. Rubén Davis, por su guía y soporte en cada actividad realizada.

Al Dr. Josué Aarón López Leyva.

Director de esta tesis, por apoyarme cada que necesité asesoría o tenía dudas, por ser accesible en cuanto a reuniones, por guiarme durante la escritura y desarrollo de este protocolo de tesis.

A la Mtra. Amanda Georgina Nieto Sánchez.

Coordinadora del Posgrado en Ingeniería e Innovación, por sus valiosas observaciones a lo largo de la realización de esta tesis.

A la Dra. Dalia Holanda Chávez García.

Directora de la Escuela de Ingeniería, por brindarme la oportunidad de formar parte del equipo que desarrolló este proyecto, siempre le estaré agradecida.

A los miembros de mi comité Dr. Carlos Antonio González Campos, al MCI Oscar Meza Arballo Y a los docentes del posgrado en Ingeniería en CETYS Universidad Campus Ensenada.

Por haber compartido sus conocimientos durante cada clase a lo largo de esto dos años, por su ayuda en cada sugerencia, corrección y especialmente cada oportunidad que me dieron de aprender, muchas gracias a todos.

Lista de contenido

Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1 Antecedentes bibliográficos.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Justificación.....	4
1.4 Hipótesis.....	5
1.5 Preguntas de investigación.....	5
1.6 Objetivos.....	5
1.6.1 General.....	5
1.6.2 Específicos.....	5
Capítulo 2. Marco de referencia.....	6
2.1. Calidad.....	6
2.1.1. Costos de la mala calidad.....	6
2.2. Definición de proceso.....	7
2.1.1 Innovación de un proceso.....	7
2.3. Seis Sigma.....	8
2.3.1. Historia de Seis Sigma.....	9
2.3.2. Conceptos.....	11
2.3.3. Aplicación de Seis Sigma.....	12
2.4. Metodología DMAIC.....	12
2.4.1. Definir.....	13
2.4.1.1. Diagrama de Pareto.....	14
2.4.2. Medir.....	15
2.4.2.1. Diagrama del proceso.....	15
2.4.2.2. Mapa del flujo de valor (VSM).....	16
2.4.2.3. Diagrama SIPOC.....	17
2.4.2.4. Diagrama causa-efecto.....	18
2.4.2.5. Lluvia de ideas.....	19
2.4.2.6. Estudio R&R del sistema de medición.....	20
2.4.2.7. Análisis de capacidad.....	20
2.4.2.8. Gráfico control vs tecnología.....	23

2.4.3.	Analizar.....	24
2.4.3.1.	Diagrama de cajas.....	24
2.4.3.2.	Gráficas de corridas.....	25
2.4.3.3.	Prueba t de dos muestras.....	26
2.4.3.4.	Análisis de varianza (ANOVA).....	26
2.4.3.5.	Prueba de hipótesis.....	27
2.4.3.6.	Análisis de correlación.....	28
2.4.4.	Mejorar.....	28
2.4.4.1.	Plan de entrenamiento.....	28
2.4.5.	Control.....	29
2.4.5.1.	Control estadístico de procesos.....	29
2.4.5.2.	Plan de control.....	30
2.4.5.3.	Documentación final.....	30
Capítulo 3. Metodología.....		31
3.1.	Etapa definir.....	31
3.1.1.	Formación del equipo de trabajo.....	31
3.1.2.	Acta del proyecto.....	32
3.1.3.	Definiciones.....	32
3.1.4.	Árbol del producto.....	33
3.2.	Etapa medir.....	34
3.2.1.	Mapa del proceso.....	34
3.2.2.	Diagrama SIPOC.....	36
3.2.3.	Mediciones.....	37
3.2.4.	Diagrama de causa y efecto.....	39
3.2.5.	Análisis de concordancia por atributos en FPI.....	40
3.2.6.	Análisis de capacidad del proceso.....	42
3.3.	Etapa analizar.....	46
3.3.1.	Análisis de cantidad de soldaduras.....	46
3.3.1.1.	Análisis de correlación defectos de fundición/re trabajo.....	47
3.3.2.	Análisis tiempo de ciclo.....	48
3.3.3.	Prueba t de dos muestras (cantidad de defectos).....	49
3.3.4.	Análisis de la pieza por área.....	50

3.3.5. Análisis de la eficiencia de los soldadores.....	55
Capítulo 4. Resultados y Discusión	60
4.1. Etapa mejorar	60
4.1.3.1. Cantidad de re soldaduras.	63
4.1.3.2. Eficiencia de los soldadores.	64
4.1.3.3. Duración ciclo de re trabajo.....	65
4.1.3.4. Cantidad de ciclos.....	66
4.1.4. Mejorar el flujo del proceso.	67
4.1.4.1. Resultados reportes de la calidad del casting.	68
3.4. Etapa controlar	73
3.4.1. Análisis financiero.....	73
3.4.3. Resultado final cantidad de defectos de fundición.	75
3.4.4. Resultado final defectos de re trabajo.	76
3.4.5. Resultado final tiempo de ciclo.	80
3.4.6. Resultado final defectos por área.	81
3.4.7. Mapa del flujo de valor final.....	83
3.4.8. Análisis de riegos.	83
Capítulo 5. Conclusiones	89
5.1. Lecciones aprendidas.....	90
5.2. Mejores prácticas.....	90
5.3. Actividades abiertas después del cierre del proyecto.	91
Anexos	93
Anexo 1	93
Anexo 2: Recomendaciones en la Técnica de soldadura.....	106
Anexo 3: Norma operacional de corte.....	107
Anexo 5: Entrenamiento 2	109
Literatura citada	110

Lista de figuras

Figura 1. Diagrama de Pareto de los defectos de fundición en piezas de aluminio por número de parte (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	3
Figura 2. Diagrama de Pareto del costo de re trabajo en piezas de aluminio por número de parte (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.....	4
Figura 3. Tasa de defectos (DPMO) contra el nivel sigma del proceso (Linderman, Schroeder, Zaheer, & Choo, 2003)	10
Figura 4. Proceso iterativo DMAIC de Seis Sigma (Ocampo & Pavón, 2012)	13
Figura 5. Ejemplo de Diagrama de Pareto (Minitab®, 2019).....	15
Figura 6. Elementos del SIPOC (Socconini, 2015).....	18
Figura 7. Ejemplo de un diagrama de causa-efecto (Fryman, 2002)	18
Figura 8. Principios fundamentales del índice de capacidad C_p . (Harry , Mann, de Hodgins, Lacke, & Hulbert, 2010)	22
Figura 9. Gráfico de control contra tecnología (Coffey, Process Capability, 2019)	24
Figura 10. Ejemplo de diagrama de caja y sus componentes (Llinás & Rojas, 2017).....	25
Figura 11. Ejemplo de un ‘run chart’ (Minitab 19, 2019)	26
Figura 12. Árbol del producto (CPP, 2019).....	34
Figura 13. Mapa del proceso nivel 1 (CPP, 2019).....	34
Figura 14. Mapa del proceso nivel 2 (CPP, 2019).....	35
Figura 15. Mapa de Flujo de Valor del proceso de Pruebas No Destructivas (CPP, 2019).....	36
Figura 16. Diagrama SIPOC del proceso interno para de Ensenada (CPP, 2019).	37
Figura 17. Gráfica de series de tiempo de re soldaduras por número de parte (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	38
Figura 18. Diagrama de cajas de la eficiencia por soldador (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	39
Figura 19. Diagrama de causa y efecto del número de parte seleccionado (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	40
Figura 20. Resultado resumido del análisis de concordancia de atributos de repetibilidad y reproducibilidad (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	41
Figura 21. Capacidad del proceso a largo plazo en la etapa de medir (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	43
Figura 22. Gráfica I-MR de las horas por ciclo en la etapa de medir (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.....	44
Figura 23. Capacidad del proceso a corto plazo en la etapa de medir (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	45
Figura 24. Gráfico de control vs tecnología del proceso en la etapa de medir (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	45
Figura 25. Reducción de Defectos Por Millón de Oportunidades por fase en la etapa de medir (CPP, 2019).	46
Figura 26. Diagrama de cajas de la prueba t de dos muestra de soldaduras por etapa de medir y analizar (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	47

Figura 27. Análisis de correlación entre defectos de fundición y re trabajo (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	48
Figura 28. Diagrama de cajas del ANOVA de tiempo en horas por ciclo por etapa (Medir-Analizar) (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.....	49
Figura 29. Diagrama de cajas de la prueba t de dos muestras del número de defectos (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	50
Figura 30. División de la pieza en áreas (CPP, 2019).....	51
Figura 31. Diagrama de Pareto de los defectos de fundición por área (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	51
Figura 32. Diagrama de Pareto de los tipos de defectos de fundición (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	52
Figura 33. Diagrama de Pareto de los defectos de re trabajo por área (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	53
Figura 34. Diagrama de Pareto de los tipos de defectos de re trabajo (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	54
Figura 35. Diagrama de cajas del ANOVA de la eficiencia de los soldadores de aluminio (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.....	55
Figura 36. Capacidad del proceso a largo plazo en la etapa de analizar (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	56
Figura 37. Gráfico I-MR en la etapa de analizar (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.....	57
Figura 38. Análisis de capacidad a corto plazo en la etapa de analizar (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	58
Figura 39. Gráfico de control vs tecnología del proceso en la etapa de analizar (CPP, 2019).....	58
Figura 40. Reducción de Defectos Por Millón de Oportunidades por fase en la etapa de analizar (CPP, 2019).	59
Figura 41. Clasificación de causas principales (CPP, 2019).	60
Figura 42. Diagrama de cajas cantidad de defectos de fundición por mes (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	61
Figura 43. Diagrama del plan de entrenamiento	62
Figura 44. Diagrama de cajas de la prueba t de dos muestras de re soldaduras por etapa antes y después de la etapa de mejora (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.....	63
Figura 45. Diagrama de cajas del ANOVA de 'First Pass Yield' del porcentaje de la eficiencia de los soldadores por etapa medir-analizar-mejorar (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.....	64
Figura 46. Diagrama de cajas del ANOVA de tiempo de ciclo por etapa medir-analizar-mejorar (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.....	65
Figura 47. Diagrama de cajas del ANOVA de la cantidad de ciclos por etapa medir-analizar-mejorar (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.....	66
Figura 48. Diagrama de Pareto de defectos de fundición por área en etapa de mejora Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	69
Figura 49. Diagrama de Pareto de los tipos de defectos de fundición por área en etapa de mejora (CPP, 2019) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.....	70

Figura 50. Capacidad del proceso a largo plazo en la etapa de mejorar (CPP, 2019) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	71
Figura 51. Gráfico I-MR en la etapa de mejorar (CPP, 2019) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	71
Figura 52. Análisis de capacidad a corto plazo en la etapa de mejorar (CPP, 2019) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	72
Figura 53. Reducción de Defectos Por Millón de Oportunidades por fase en la etapa de mejorar (CPP, 2019) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno.	72
Figura 54. Gráfico de control vs tecnología del proceso en la etapa de mejorar (CPP, 2019) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno.	73
Figura 55. Gráfica del ahorro en re trabajo y costo total por etapa de definir y medir-analizar-mejorar (CPP, 2019) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno.	74
Figura 56. Gráfico de los defectos de re trabajo por etapa definir-objetivo-actual (CPP, 2019) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno.	75
Figura 57. Nuevo mapa del proceso (CPP, 2019) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno.	75
Figura 58. Diagrama de cajas de los defectos de fundición por etapa de analizar-mejorar-control (CPP, 2019) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	76
Figura 59. Diagrama de cajas de defectos de re trabajo por etapa Definir y Medir-Analizar-Mejorar-Controlar (CPP, 2019) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	77
Figura 60. Gráfico I-MR de ciclos de re trabajo por etapa de analizar-mejorar-control (CPP, 2019) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	78
Figura 61. Gráfica de cajas del ANOVA de la cantidad de ciclos de re trabajo por etapa de analizar-mejorar-control (CPP, 2019) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	79
Figura 62. Gráfico I-MR de los defectos de re trabajo por etapa (analizar-mejorar-control).....	80
Figura 63. Gráfica de intervalo del ANOVA de tiempo de re trabajo por ciclo por etapa de analizar-mejorar-control (CPP, 2019) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	81
Figura 64. Pareto de defectos de fundición en áreas fase de control (CPP, 2019) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	82
Figura 65. Mapa del flujo del proceso final.	83
Figura 66. Capacidad del proceso a largo plazo en la etapa de controlar (CPP, 2020) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	85
Figura 67. Gráfico I-MR en la etapa de control (CPP, 2020) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	85
Figura 68. Análisis de capacidad a corto plazo en la etapa de controlar (CPP, 2020) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.	86
Figura 69. Reducción de Defectos Por Millón de Oportunidades por fase en la etapa de mejorar (CPP, 2020).	86
Figura 70. Reducción de Defectos Por Millón de Oportunidades por fase en la etapa de controlar (CPP, 2020).	87
Figura 71. Resumen ejecutivo (CPP, 2020).	88
Figura 72. Forma de cierre del proyecto, documento original en inglés para reporte técnico interno (CPP, 2020).	88

Figura 73. Diagrama del potencial del Proyecto91

Figura 74. Ubicaciones de CPP en América97

Lista de tablas

Tabla 1. Nivel sigma y costo (McClusky, 2000)	11
Tabla 2. Tipos de error en las pruebas de hipótesis (Azuz, 2018).....	27
Tabla 3. Equipo de trabajo	32
Tabla 4. Definiciones de conceptos básicos para el proyecto.....	33
Tabla 5. Información y resultados del análisis de concordancia del estudio de repetibilidad y reproducibilidad.....	42
Tabla 6. Variables a controlar.....	46
Tabla 7. Resultados de la prueba de hipótesis de la prueba t de dos muestras de soldaduras por etapa.....	47
Tabla 8. Resultados del análisis de varianza de tiempo en horas por ciclo por etapa.....	49
Tabla 9. Resultados de la prueba de hipótesis de la prueba t de dos muestras del número de defectos ..	50
Tabla 10. Acrónimos de los defectos de fundición	52
Tabla 11. Promedio de defectos por área.....	53
Tabla 12. Acrónimos de los defectos de re trabajo.....	54
Tabla 13. Promedio de defectos por área.....	55
Tabla 14. Resultados del análisis de varianza de la eficiencia de los soldadores de aluminio.	56
Tabla 15. Variables a controlar.....	60
Tabla 16. Resultado de la prueba de hipótesis de la prueba t de dos muestras de re soldadura por etapa.	64
Tabla 17. Resultado del análisis de varianza del FPY del porcentaje de la eficiencia de los soldadores por etapa.	65
Tabla 18. Resultado del análisis de varianza de tiempo de ciclo por etapa.....	66
Tabla 19. Resultado del análisis de varianza de la cantidad de ciclos por etapa	67
Tabla 20. Soluciones del proceso y estrategias de control	67
Tabla 21. Concentración de defectos de fundición por área en la etapa de mejora.....	68
Tabla 22. Resultado del análisis de varianza	76
Tabla 23. Resultado del análisis de varianza de re soldaduras por etapa.....	77
Tabla 24. Resultado del análisis de varianza de la cantidad de ciclos de re trabajo.....	79
Tabla 25. Resultado del análisis de varianza de tiempo de re trabajo por ciclo por etapa.	81
Tabla 26. Mayores contribuidores a defectos de fundición.	82
Tabla 27. Evaluación de riesgos en horas de re trabajo.....	84
Tabla 28. Análisis de riesgo.	100
Tabla 29. Análisis FODA.....	101
Tabla 30. Modelo de negocios Canvas.....	103

Glosario de términos, abreviaturas

ANOVA: Análisis de varianza

ASQ: American Society for Quality (Sociedad Americana para la Calidad)

BB: Black Belt (Cinturón negro)

COPQ: Cost of Poor Quality (Costos por Pobre Calidad)

Cp: Índice de capacidad

Cpk: Capacidad del proceso

CTQ: Critical to Quality (Característica Crítica para la Calidad del Producto)

DMAIC: Define-Measure-Analyze-Improve-Control (Definir-Medir-Analizar-Mejorar-Controlar)

DPMO: Defectos por millón de oportunidades

GB: Green Belt (Cinturón verde)

GR&R: Gage repeatability and reproducibility

LSL: Lower Specification Limit (Límite inferior de especificación)

MBB: Master Black Belt (Maestro Cinturón Negro)

Ppm: Partes por millón

SIPOC: Mapa de proceso: Suppliers/Inputs/Process/Outputs/Customers
(Proveedores/Entradas/Proceso/Salidas/Clientes)

USL: Upper Specification Limit (Límite superior de especificación)

VSM: Value Stream Mapping (Mapa del flujo de valor)

Capítulo 1. Introducción.

La innovación de un proceso consiste en aplicar métodos nuevos o sensiblemente mejorados relativos al producto (bienes o servicios). Al implementar la innovación, el resultado debe proporcionar aumento en la calidad de los productos, reducción de tiempo y costo (Estadística, 2002). Específicamente, para mejorar un proceso con la herramienta Seis Sigma, es posible utilizar la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), que es un método por iteraciones basado en un formato estructurado donde se establecen hipótesis, se procede a realizar experimentos, después se evalúan las hipótesis para aceptarlas o rechazarlas y tomar decisiones con base en los resultados obtenidos (McCarty, T., Bremer, M., & Daniels, L., 2004).

Dentro de la empresa Consolidated Precision Products (CPP) planta Ensenada, los procesos principales se dedican a operaciones de desbaste, limpieza y de PND (Pruebas No Destructivas) para seis plantas de CPP en California (Azusa, Pomona, Cudahy, City of Industry, Port Hueneme y Rancho Cucamonga) y dos en México (Nogales y Guaymas). Las piezas (piezas fundidas) que se trabajan, llegan provenientes de las plantas hermanas mencionadas anteriormente para realizar las operaciones de desbaste y limpieza, así como aplicar las PND.

El primer ciclo (primer proceso completo de PND) realizado en cada pieza, elimina los denominados “defectos de fundición”, que son los defectos que presenta la pieza después de su proceso de fundición, sin embargo, en ocasiones aquellos defectos pueden reincidir o causar otro tipo de defecto, que se define como “defecto de re trabajo o de soldadura” y son aquellas imperfecciones que se presentan a partir del segundo ciclo (llamado ciclo de re trabajo).

1.1 Antecedentes bibliográficos.

A través de la historia, grandes empresas como Motorola, General Electric y Toyota han aplicado modelos que impulsan la calidad de clase mundial, uno de ellos es Seis Sigma. Estratégicamente, se le dan diferentes enfoques a Seis Sigma: uno es como estrategia de negocios y otro como metodología de solución de problemas o desarrollo de proyectos. Con respecto al segundo enfoque, se incluyen dos aspectos básicos, que son la metodología DMAIC, que se aplica para desarrollar proyectos de mejora o para solucionar problemas dentro de una organización y las que incluyen una amplia variedad de herramientas, como son: no estadísticas (como diagramas de flujo, de causa y efecto, etc.) y estadísticas (diagramas de Pareto, pruebas de hipótesis, etc.) (Gonzalez Aleu, 2003).

Según la literatura, Seis Sigma surgió en Motorola durante los años de 1980, exactamente iniciado en 1988 por el ingeniero Bill Smith, siendo primero una estrategia para aumentar la calidad de los bienes o servicios y popularizado por General Electric y otra compañías en los 90's (Thomas, Mason-Jones, Davies, & John, 2015). Además, lo que Motorola buscaba era producir 3.4 defectos por cada millón de oportunidades, o su equivalente, obtener el éxito el 99.9997% de las ocasiones que se produce un bien o servicio (Kwak & Anbari, 2006). Los resultados que se obtuvieron en Motorola fue el aumento de la productividad en un 12.3% anual, ahorro de 10 mil millones de dólares en costos de manufactura, incluyendo el crecimiento anual del 17% entre ingresos y valor de sus acciones, entre otros (Bhote, 2002).

Así mismo, General Electric le proporcionó visibilidad a Seis Sigma, pues se obtuvo un gran éxito debido a que se utilizó la metodología para aumentar sus ahorros, asimismo, indicaron que si continuaban aplicando correctamente Seis Sigma, podrían aumentar el ahorro de 8,000 a 12,000 millones de dólares en cinco años (Magnusson, Kroslid, Bergman, & Barba, 2006). Después de eso, una gran cantidad de empresas, han implementado Seis Sigma para conseguir el incremento de las ganancias, así como la reducción de gastos.

En México, hay empresas que aplican este tipo de metodologías para desarrollar sus proyectos y de esa forma, mejorar la productividad y competitividad. Por ejemplo, en el trabajo de investigación aplicada realizada por Treviño-Orozco (2004) se tiene como objetivo "incrementar la eficiencia por medio de la reducción del tiempo de inspección". En dicho trabajo, el autor concluye que "se demuestra que la metodología Seis Sigma puede ser usada para identificar y mejorar un proceso", debido a que se obtuvo la disminución del tiempo promedio de 2 horas a 1.23 horas en su proceso.

Otro ejemplo es el proyecto desarrollado por Rueda-Blanco (2007) en la empresa Becton Dickinson de México S.A de C.V., donde al implementar Seis Sigma, pretendía disminuir la variabilidad y el desperdicio durante el proceso (manufactura de jeringas), y aumentar los niveles de producción. Como resultado, obtuvo una reducción de costos del 34% al cambiar materiales, además de que el proyecto logró alcanzar niveles estándar de producción objetivo del 85%, así como niveles de desperdicio mínimo (5%).

1.2 Planteamiento del problema.

En CPP planta Ensenada, se tiene una gran variedad de áreas de oportunidad dónde es posible aplicar Seis Sigma y la metodología DMAIC para dar solución a diferentes problemáticas. Sin embargo, al realizar la primera medición (que consistía en contar la cantidad de defectos de fundición), se llevó a cabo el primer diagrama de Pareto (Ver Figura 1), donde se encontró que la pieza con número de parte 222xxxxx* contiene la mayor cantidad de defectos de fundición, con el 53.5% del total de defectos (sin tomar en cuenta los defectos de re trabajo) de las piezas de aluminio de toda la planta.

Además, la pieza del objeto de esta tesis, también es el mayor contribuidor a cantidad de ciclos de re-trabajo de la planta en Ensenada, ya que en marzo de 2019 (la pieza se introdujo a la planta a finales de febrero de ese mismo año y la primer pieza se terminó el primer día de marzo), 83 de 234 ciclos fueron realizados en dicha pieza (35.5%). En cuanto al costo, contribuye con el 59.9% (\$19,412 dólares) al costo de re-trabajo total de las piezas de aluminio (Ver Figura 2).

Como consecuencia de todo lo anterior, de entre todos los procesos de la empresa, se eligió el área de soldadura (dentro de los procesos especiales y de PND) debido a los números que se presentan es esa parte del proceso.

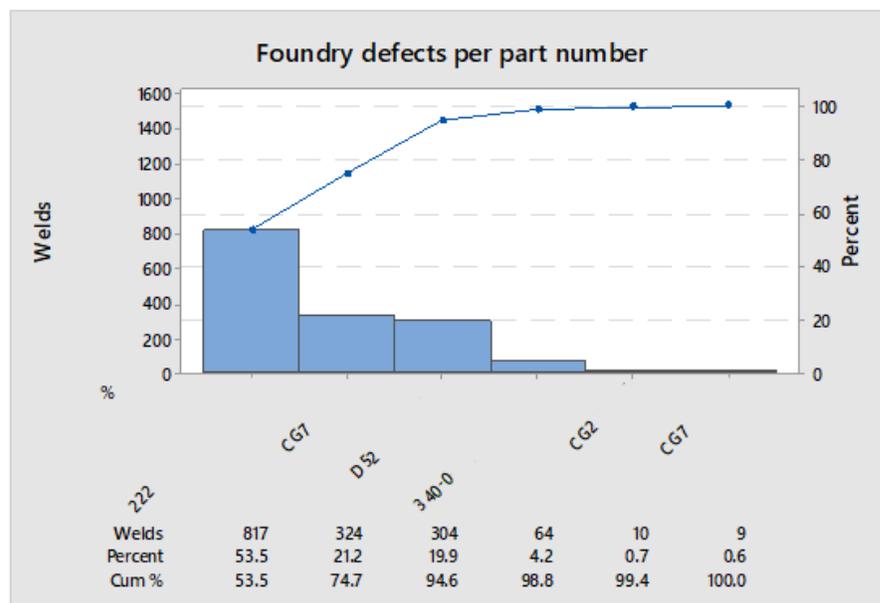


Figura 1. Diagrama de Pareto de los defectos de fundición en piezas de aluminio por número de parte (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

**Nota: Por cuestiones de secreto industrial, no es posible mencionar el número de parte real, por lo que a partir de este momento, esa será la nomenclatura.*

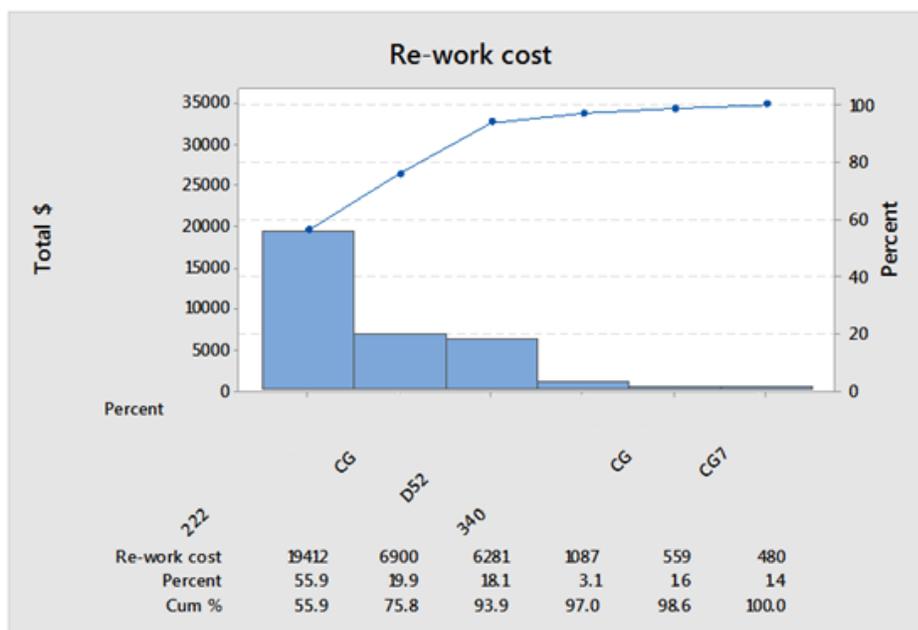


Figura 2. Diagrama de Pareto del costo de re trabajo en piezas de aluminio por número de parte (CPP, 2019).

Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

1.3 Justificación.

Con base en los diagramas de Pareto presentados con anterioridad, la pieza que se elige para llevar a cabo este proyecto de tesis es la pieza con número de parte 222xxxxx, debido a que en ambos diagramas se encuentra en primer lugar, siendo la pieza con mayor cantidad de defectos de fundición y mayor costo de re trabajo en piezas de aluminio. Acorde con lo mencionado previamente, se determinará lo que causa el alto costo de re trabajo, así como la duración de los ciclos de re trabajo en la pieza seleccionada. Así mismo, servirá para precisar las mejoras que se puedan implementar para hacer más robusta la técnica de soldadura en ciertas áreas críticas de la pieza seleccionada.

Al aplicar Seis Sigma en esta tesis, se podrán implementar las mejoras de este proyecto a otras piezas de aluminio en las que se utiliza el mismo proceso de soldadura para llevar a cabo el re trabajo, dichas piezas se muestran en los diagramas de Pareto (Ver Figura 1 y Figura 2), aunque de igual forma, se podría aplicar a cualquier pieza de la planta o de nuevo ingreso.

1.4 Hipótesis.

La implementación de la herramienta Seis Sigma reduce el tiempo de ciclo y costo de re-trabajo, al menos en un 20% en el proceso de soldadura de aluminio en la pieza con número de parte 222xxxxx.

1.5 Preguntas de investigación.

En este trabajo de investigación aplicada se responderán las siguientes preguntas:

- ¿Por qué la duración del ciclo de re-trabajo es tan alta en esa pieza?
- ¿Existe una correlación entre los defectos de fundición y los defectos de re-trabajo?
- ¿Los soldadores utilizan una técnica estandarizada?
- ¿La eficiencia actual de los soldadores influye en la cantidad de tiempo por ciclo de re-trabajo?

1.6 Objetivos.

1.6.1 General.

Implementar un nuevo método para el proceso de re trabajo en soldadura de aluminio que permita la reducción de costo y tiempo en re-trabajo, al menos en 20% en la pieza con número de parte 222xxxxx por medio de la metodología Seis Sigma a partir de Diciembre de 2019.

1.6.2 Específicos.

- Definir el proyecto por medio de la metodología Seis Sigma.
- Medir las variables del proceso por medio de la metodología Seis Sigma.
- Analizar la capacidad del proceso por medio de la metodología Seis Sigma.
- Aplicar herramientas de manufactura esbelta para la mejora del proceso.
- Hacer más robusta la técnica de soldadura de la pieza con número de parte 222xxxxx anexando las mejores prácticas.
- Desarrollar la norma operacional para el proceso de corte.

Capítulo 2. Marco de referencia.

2.1. Calidad.

La Sociedad Americana para la Calidad (A.S.Q.) define calidad como el conjunto de características de un producto o servicio que le confieren su aptitud para satisfacer las necesidades declaradas o implícitas del usuario o cliente (Quality glossary, 2019). Por otra parte, el cliente adquiere productos o servicios, pero el proceso (por ejemplo de fabricación) es quien define las características de calidad que finalmente tendrá el producto o servicio (Pola, 1988).

2.1.1. Costos de la mala calidad.

El costo de la calidad es una manera de cuantificar el nivel de gravedad de los problemas que existen en una empresa. Una vez que se hayan identificado en su totalidad las actividades que impactan la calidad, se determina el costo de las mismas. Los resultados obtenidos son los costos de la calidad y deben interpretarse para buscar oportunidades de disminuirlos (Pola, 1988). Cuando se menciona “costos de calidad” se refiere a los gastos que inciden al momento de diseñar, implementar, operar y mantener los sistemas de calidad en una organización. A continuación se enlistan los principales costos de calidad (García, Quispe, & Ruez, 2002):

- **Inspección:** comparación entre patrones que resultaba en un costo bastante alto, ya que la inspección se llevaba a cabo una vez que el producto está terminado. Posteriormente, si el producto no cumplía con las especificaciones, se trataba de recuperar alguna parte o se eliminaba.
- **Control de calidad:** un grupo de personas que se dedica en específico de verificar la calidad de los productos en puntos clave del proceso.
- **Aseguramiento de la calidad:** la organización ya posee un estándar de calidad. Se implementa el Sistema de Gestión de Calidad ISO 9000-2000 para el mejoramiento de la misma.
- **Gestión de la calidad:** Con el aseguramiento de la calidad, que en conjunto a los conocimientos y herramientas permite que la calidad llegue a toda la organización.
- **Mejoramiento continuo de la calidad:** Se implementa el denominado benchmarking además del T.Q.M. (Gestión de la Calidad Total) para el mejoramiento continuo de los procesos.

2.2. Definición de proceso.

La RAE define la palabra “proceso” como el conjunto de las fases sucesivas de un fenómeno natural o de una operación artificial (RAE, 2019). Baca (2014) indica que “proceso” es aplicar una secuencia de etapas lógicas en un orden para lograr un objetivo, sin embargo, menciona que al añadir la palabra ‘industrial’ se refiere a una serie de trabajos físicos que causan cambios físicos o químicos en la materia prima.

2.1.1 Innovación de un proceso.

Según la RAE, innovación se define como “acción y efecto de innovar” y también como la “creación o modificación de un producto, y su introducción en un mercado” (RAE, 2020). En cuanto al ámbito empresarial, innovar es la realización de cualquier cambio que permita que la empresa en cuestión mejore en su posición competitiva. La innovación puede tener múltiples aplicaciones, como la mejora en servicios, forma de distribución, alianzas estratégicas, forma de vender un producto o servicio, por otro lado, otra forma relevante de innovación no tiene que basarse en ideas nuevas, ya que en ocasiones se da por medio de implementar pequeñas mejoras en el producto o proceso (Hinojosa-Martinez, 2006).

Con respecto a la innovación en un proceso, es necesario recalcar que se refiere a la introducción de un método de producción nuevo o levemente mejorado. Es así que éste involucra cambios significativos en las técnicas, materiales, entre otros, cuyo objetivo es el decrecimiento de costos de producción y mejoras en calidad. La innovación de procesos incorpora métodos, herramientas y técnicas con el liderazgo, experiencias, trabajo en equipo y mejores prácticas para obtener cambios positivos en el proceso (EAE Business School, 2014). Además, la innovación de procesos puede derivar de nuevos conocimientos adoptados por la empresa, que frecuentemente se da por las necesidades del mercado y es requerida cuando la empresa evoluciona al punto de necesitar bajar costos en los procesos. Este tipo de innovación surge en el día a día durante las actividades de la empresa y resulta de la experiencia. Específicamente, la innovación de procesos dentro de una empresa puede ser (Hinojosa-Martinez, 2006):

- Modificaciones en procesos que son requeridos para la introducción de un producto nuevo.
- Mejoras dentro del proceso asociadas a mejoras en el producto.
- Mejoras en una parte particular del proceso.
- Cambios en líneas de producción.
- Cambios en los procesos que aumenten la eficiencia y reduzcan costos.

El PECyT (Programa Especial de Ciencia y Tecnología) considera la innovación en las empresas con una vinculación con la competitividad, en donde se establece: “Respecto a la innovación de las empresas, es de la mayor urgencia que éstas incrementen su esfuerzo tecnológico y de innovación para revertir los efectos de la apertura y la globalización, elevar la competitividad a fin de generar empleos mejor remunerados y crear empresas de bases tecnológica” (Tecnología, 2001). Con base en lo mencionado, es necesario que las empresas innoven sus procesos, ya que de esta forma defienden su posición ante la competencia. Si la empresa en cuestión aplica innovación de procesos, logra obtener múltiples beneficios, como:

- Agregar valor al producto.
- La renovación y mejora de los procesos.
- Aumentar la calidad del producto.
- Reducción de costos de producción.
- Mejorar ambiente de trabajo.
- Permanecer y liderar el mercado.
- Aumentar utilidades.
- Mejora en tiempos de entrega.

Acorde con la literatura, para llevar a cabo la innovación de procesos, se requiere desarrollar un proceso completamente nuevo o aplicar/adaptar uno que ya exista dentro o fuera de la empresa para mejorar el proceso elegido. Al detectar la necesidad, se elige alguna metodología para desarrollar e implementar la mejora, dentro de las cuales se encuentra Seis Sigma y la metodología DMAIC.

2.3. Seis Sigma.

Se conoce como ‘Seis Sigma’ a la herramienta de mejoramiento que posibilita que las organizaciones sean eficaces y eficientes con base en las necesidades del cliente. Su fundamento principal es el trabajo en equipo, pues así se mejoran las habilidades de los miembros de la organización en cuestión. (Herrera & Fontalvo, 2011). Muchos autores han definido a Seis Sigma a lo largo de la historia, algunos ejemplos se presentan a continuación:

- “Seis Sigma es una iniciativa de calidad que emplea mediciones estadísticas para lograr 3.4 defectos por millón: la eliminación virtual de errores” (Murphy, 1998).
- “Seis Sigma es una metodología que acompaña procesos altamente estructurados que utiliza eficientes enfoques estadísticos para adquirir, evaluar y aplicar la inteligencia del cliente,

competidor, empresa y mercado para producir mejores productos, procesos e innovación en las empresas con el objetivo de crear una ventaja competitiva sostenible” (Klefsjö & Edgeman, 2006).

- “Una iniciativa Seis Sigma es un enfoque de resolución de problemas centrado en el cliente con mejoras reactivas y proactivas de un proceso que conduce a prácticas comerciales sostenibles. Las prácticas comerciales sostenibles incluyen innovación, mejora, competencia, cumplimiento ambiental, satisfacción del cliente y crecimiento de la organización” (Muralidharan, 2015).

Como definición, ‘Sigma’ es una letra griega (σ) que se utiliza para representar la desviación estándar de una variable determinada. La desviación estándar se define como la raíz cuadrada de la varianza (Sánchez, Inzunza, & Ávila, 2015). Además, esta herramienta se aplica para medir tecnológicamente un proceso estadístico en organizaciones y permite el mejoramiento de la calidad por medio del monitoreo diario de las actividades para reducir el desperdicio y recursos, aumentando la satisfacción del cliente (Oke, 2007).

Por otro lado, Seis Sigma se enfoca en ciertas áreas debido a que representan mayores ahorros en costos, cimentar la base de clientes, así como presentarse como una organización de excelencia (Lefcovich, 2009). Las tres áreas principales:

- Aumento de la satisfacción del cliente.
- Reducción del tiempo de ciclo.
- Disminución de defectos.

2.3.1. Historia de Seis Sigma

La primera línea en la historia de Seis Sigma se escribió cuando Carl Fredrick Gauss (1777-1855) introdujo el concepto de curva normal. Después, en 1922 Walter Shewhart introdujo el concepto ‘tres sigma’ (relativo al rendimiento del proceso de 99.973 por ciento, que representa una tasa de defectos de 2,600 por millón) como una medida de la variación de salida, además declaró una primicia: la intervención del proceso era necesaria cuando la salida superaba ese límite (Raisinghani, 2005).

A lo largo de la década de 1980, el control de calidad se convirtió en un concepto llamado iniciativas o programas, tales como T.Q.M., Cero Defectos, círculos de calidad, mejora continua de la calidad (CQI), entre muchos otros (Langabeer, DelliFraine, & Heineke, 2009). Además, durante esos años, Motorola se enfrentó a la competencia japonesa debido a la apertura del mercado internacional. En el año de 1987

Motorola operaba a nivel cuatro sigma (lo que es aproximadamente 6,200 defectos por millón de oportunidades (DPMO), mientras que su competencia japonesa lo hacía a 3.4 DPMO, en la Figura 3 se muestra una gráfica del nivel sigma, en la cual se observa en el eje x el nivel sigma del proceso y en eje y los DPMO. Lo que sucedió es que la tasa de defectos incrementó el costo e impactó las ventas. Una gran cantidad de clientes de Motorola eran policías, bomberos, servicios de emergencia, entre otros y perderlos contra la competencia extranjera sería un desastre financiero. Debido a la situación por la que pasaba la compañía, su presidente, Bob Galvin inició un plan que, en resumen proclamaba (Raisinghani, 2005):

- 1) Mejorar la calidad del producto diez veces en dos años.
- 2) Mejorar la calidad del producto cien veces en cuatro años.
- 3) Alcanzar el nivel Seis Sigma en cinco años.

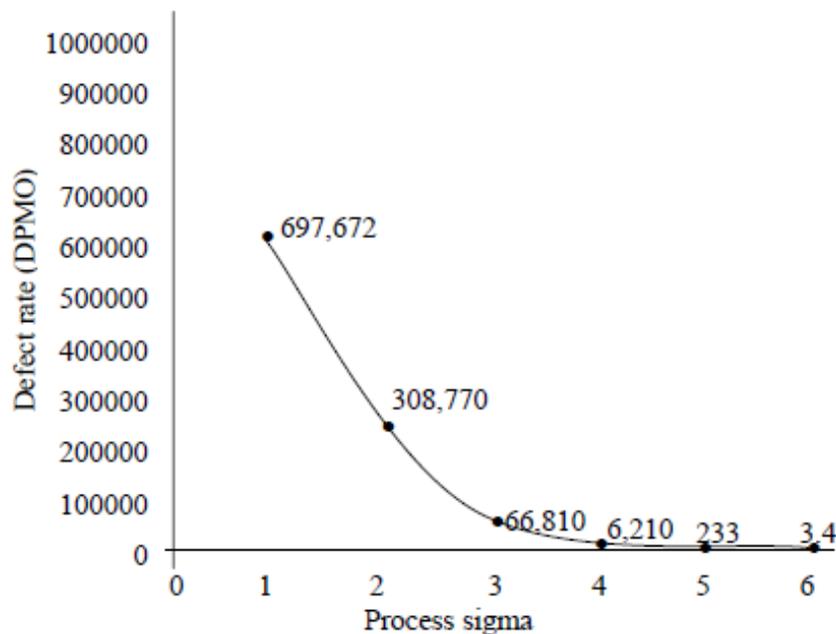


Figura 3. Tasa de defectos (DPMO) contra el nivel sigma del proceso (Linderman, Schroeder, Zaheer, & Choo, 2003)

El objetivo inmediato de Seis Sigma es reducir la cantidad de defectos, esto ayuda a mejorar la productividad, lo que conlleva a aumentar la satisfacción del cliente. El objetivo final era mejorar los ingresos, por ello, el enfoque que Motorola le dio redujo los defectos hasta el nivel de 3.4 DPMO, que se cuantificó en 2 millones de dólares en el periodo de 4 años (McClusky, 2000). En la Tabla 1 se muestra el impacto de Seis Sigma y el nivel de calidad en las ventas. Motorola ganó en 1988 el Premio Nacional de Calidad Malcolm Baldrige, que fue el primer año en que el premio fue otorgado.

Tabla 1. Nivel sigma y costo (McClusky, 2000)

Nivel sigma	Defectos por millón de oportunidades	Nivel de calidad (porcentaje)	Costo como porcentaje de ventas
1	691,000	31.00	>40
2	309,000	69.00	20-40
3	67,000	93.30	15-30
4	6,200	99.40	10-20
5	230	99.98	5-10
6	3.40	99.9997	0-5

Cuando Motorola publicó el éxito de Seis Sigma en 1995, llamó la atención de otras compañías como Allied Signal (Larry Bossidy) y General Electric (Jack Welch). En ese año, Welch le solicitó a Bossidy que dirigiera una audiencia acerca de cómo mejoró radicalmente los procesos y resultados en Allied Signal. Siguiendo las iniciativas en G.E., implementaron Seis Sigma a globalizaciones de producto, servicios, entre otros. De esta manera se generó un resultado mejorado de procesos y costos: se implementó Seis Sigma por los gerentes operativos, Welch continuamente participaba en las reuniones de seguimiento para monitorear las mejoras implementadas (General Electric Company, 1997). Según Welch, G.E. generó \$750 millones de ahorros para 1998 sobre sus inversiones en la aplicación de Seis Sigma y menciona que para 1999 sería de \$1.5 mil millones, debido a que el margen operativo subió al 14.8% en 1996 y para el año 2000 subiría a 18.9% (Welch & Byrne, 2001).

2.3.2. Conceptos.

Dentro Seis Sigma existen una gran variedad de conceptos que se requiere conocer para entender y aplicar la metodología adecuadamente, algunas se definen a continuación (Kirilo, Lozano, Parreira, & Dacorso, 2016):

- **Defecto:** Falla para entregar al cliente lo que requiere.
- **Variación:** Lo que el cliente ve y siente.
- Características críticas de la calidad: Aquellos atributos más importantes para el cliente.
- **Capacidad del proceso:** Lo que el proceso puede entregar.

2.3.3. Aplicación de Seis Sigma.

Para aplicar Seis Sigma en una empresa se utilizan diversas metodologías, herramientas y métodos estadísticos de forma estructurada para alcanzar los objetivos de mejoras en los procesos e impacto financiero que sean medibles, para el caso de este proyecto de tesis se implementará la metodología DMAIC. Por otra parte, es básico el apoyo que debe brindar la alta gerencia para los proyectos Seis Sigma, así como el entrenamiento y competencias que cada uno de los miembros del equipo debe tener al inicio del proyecto. A continuación se enlistan los rangos principales (Kirilo, Lozano, Parreira, & Dacorso, 2016):

- **Champion:** directores o gerentes de la empresa, son responsables de apoyar los proyectos y eliminar dificultades para su desarrollo.
- **Black Belt:** Líderes de equipo, su función es coordinar proyectos. Debe tener gran conocimiento técnico.
- **Green Belt:** Miembros de equipos liderados por Black Belts o ellos mismos son líderes de equipos.
- **Yellow belt:** Usualmente son supervisores, debidamente capacitados para comprender los conceptos básicos del programa. Supervisa que se ejecuten proyectos centrados.
- **White belt:** profesionales que operan a nivel de empresa, capacitados en el programa. Dan soporte a Green belts y black belts.

2.4. Metodología DMAIC.

En los proyectos de Seis Sigma, el DMAIC es una metodología iterativa, estructurada y disciplinada que se basa en el planteamiento de hipótesis (McCarty, Daniels, Bremer, & Gupta, 2004). Las cinco fases en que consiste la aplicación de esta metodología, ya se mencionaron anteriormente y se encuentran conectadas lógicamente como se muestra en la Figura 4.

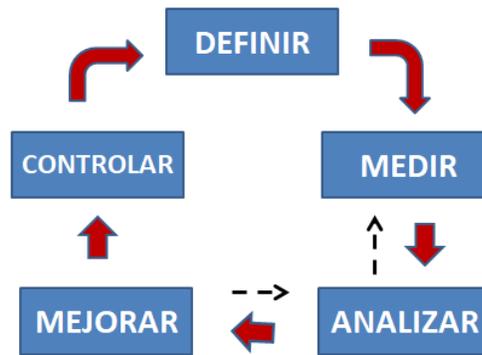


Figura 4. Proceso iterativo DMAIC de Seis Sigma (Ocampo & Pavón, 2012)

2.4.1. Definir.

La primer etapa para aplicar la metodología es “definir”, el objetivo de esta fase es comprender completamente cual es el problema y con base en eso, determinar el proceso al que se va a aplicar el proyecto de Seis Sigma. Esta fase se asegura que el problema seleccionado se encuentre directamente vinculado a las prioridades de la organización y es apoyado por la gerencia (Shankar, 2009). Las fases más importantes de esta etapa son (García Rodríguez de Guzmán, García Rubio, & Piattini Velthuis, 2018):

- **Definición del problema.** Se utiliza las características SMART (Específico, Medible, Alcanzable, Relevante, Limitado en el tiempo). Se plantea el objetivo sin ambigüedades.
- **Creación del equipo de trabajo.** Debe ser multidisciplinario y diverso. Se determinan los roles en el proyecto.
- **Establecer el acta del proyecto.** Documento donde se establecen los objetivos del proyecto y se muestra la información para clarificar el mismo (fecha de inicio, objetivo, beneficios, etc.).
- **Desarrollo del plan del proyecto.** Como se llevará a cabo cada etapa del proyecto a alto nivel, no se especificarán actividades pero se pondrán fechas de inicio y fin de cada fase.
- **Identificar a los clientes.** Todos los clientes que se pueden encontrar en el proceso, ya sean internos o externos.
- **Identificar las salidas principales.** Lo que sale de cada paso que se estudia, como elementos de calidad.
- **Documentar el proceso actual.** Por medio de mapas se describe el proceso a mejorar.

2.4.1.1. Diagrama de Pareto.

El diagrama de Pareto (Ver Figura 5) es una herramienta gráfica que se utiliza para estructurar una variedad de categorías de datos en orden descendente, de izquierda a derecha a través de barras. De este modo, se puede asignar prioridad a ciertas clasificaciones. Este diagrama se utiliza principalmente para tener una visión más amplia y determinar cuál es el problema principal, permitiendo establecer prioridades (Sales, 2013). Se aplica en diferentes circunstancias, como:

- Identificar un producto/servicio y realizar un análisis para mejora de la calidad.
- Encausar la atención a los problemas de forma sistemática.
- Identificar oportunidades de mejora.
- Buscar causa principal de un problema.
- Establecer prioridades para la solución de un problema.
- Clasificar datos en categorías definidas.

A continuación se enlistan los pasos para realizar este gráfico:

1. Seleccionar las categorías adecuadas para realizar el análisis.
2. Recolección de datos.
3. Clasificar datos, de la categoría con mayor cantidad de datos a la menor.
4. Determinar el total de los datos por categoría.
5. Calcular el porcentaje del total que cada categoría representa.
6. Trazar ejes horizontales y verticales.
7. Trazar escala del eje vertical izquierdo (frecuencia) de 0 al total anteriormente calculado.
8. De izquierda a derecha, trazar las barras por categoría en orden descendente. En caso de elaborar una categoría de 'otros', debe ponerse al final sin importar el valor de la misma.
9. Trazar la escala del eje vertical, será el porcentaje acumulado de 0 a 100%.
10. Trazar el gráfico del porcentaje acumulado, se inicia en la parte superior de la primera barra.
11. Analizar gráfico para definir cuáles son los "pocos vitales".

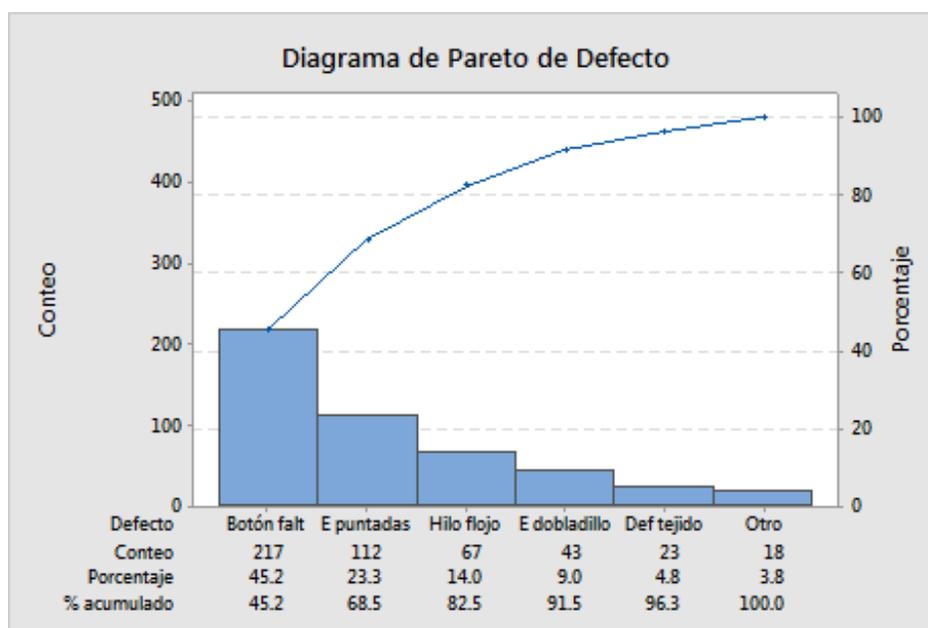


Figura 5. Ejemplo de Diagrama de Pareto (Minitab®, 2019)

2.4.2. Medir.

La siguiente etapa para aplicar la metodología es “medir”, en esta fase se establecen las características que determinan el comportamiento del proceso (Brue, 2002). El propósito principal en esta fase es recopilar información de la línea base del proceso que se seleccionó en la etapa anterior. Esta información recolectada sirve para comprender lo que está sucediendo en el proceso, cuáles son las expectativas del cliente y dónde se encuentran los problemas (Shankar, 2009).

En esta fase primeramente se inicia la recopilación de datos y se comienza a cuantificar el problema. Un punto clave es que los datos mencionados son históricos, para conocer cómo ha cambiado el proceso durante ese tiempo. Es necesario ya que cuando se llegue a la fase de control se requiere comprobar la mejora positiva (Shankar, 2009).

2.4.2.1. Diagrama del proceso.

Para iniciar, se puede realizar un diagrama de bloques, cada bloque representando las actividades o sub procesos principales. Este tipo de diagrama representa gráficamente las relaciones entre las variables de un sistema (Blanco, Barber, Malfaz , & Salichs, 2011). El objetivo es comprender el flujo y variación del trabajo. No es detallado, suele ser una línea recta de flujo y se puede limitar el proceso entre 4 y 10

bloques (Pande, Neuman, & Cavanagh, 2002). Los elementos del proceso son los siguientes (Coffey, Elements of a process, 2019):

- **Controles:** material o datos que se utilizan para indicar al proceso que puede o no hacer.
- **Mecanismos:** recursos (personas, máquinas, etc.) que intervienen en un proceso para cambiar las entradas en salidas.
- **Límites del proceso:** generalmente identificados por las entradas, salidas y controles externos que separan lo que está dentro del proceso de su entorno.
- **Productos clave del proceso:** (KPO, por sus siglas en inglés) la salida del proceso medible por excelencia que describe el comportamiento del proceso.
- **Característica de control clave:** (KCC, por sus siglas en inglés) la entrada de proceso medible por excelencia que controla el KPO.
- **Entrada de proceso clave:** (KPI, por sus siglas en inglés) materia prima, producto o servicio de proceso entrante medible.

Los diagramas del proceso se pueden dividir en 3 niveles, el nivel 1 es el macro proceso, en ocasiones denominado nivel de gestión o vista de 30,000 pies, el nivel 2 es llamado nivel del trabajador o vista de copa del árbol y el nivel 3 es de los micro procesos, también denominado como nivel de mejora, en este nivel se presentará el proceso más detallado, paso a paso (rendimiento, tiempo de ciclo, tiempo de valor agregado y no agregado, etc.) (Coffey, Elements of a process, 2019).

2.4.2.2. Mapa del flujo de valor (VSM).

También se conoce como análisis de flujo de valor o mapeo de procesos esbeltos (lean) y se define como una herramienta de manufactura esbelta que por medio de un diagrama de flujo, documenta cada paso del proceso. En muchas ocasiones se utiliza para identificar el desperdicio, reducir tiempo de ciclo del proceso e implementar la mejora al proceso. Es básica para planificar, implementar y mejorar un proceso utilizando información relacionada al mismo para garantizar que los materiales y el tiempo se utilicen de manera eficiente. Una parte del “flujo de valor” en el sistema VSM es cómo se puede agregar valor a un producto o servicio al cambiar la forma o función del mercado para satisfacer las necesidades del cliente (ASQ, What is value stream mapping (VSM)?, 2019).

El “flujo de valor” es la serie de actividades (organizar, ordenar, mantenimiento de registros, entre otros) que una organización presenta. Una vez que se tiene la información, se ilustra visualmente el mapa de

flujo de valor. Al aplicar esta herramienta, se pretende reducir el desperdicio en todo el flujo de valor (Munro, 2009).

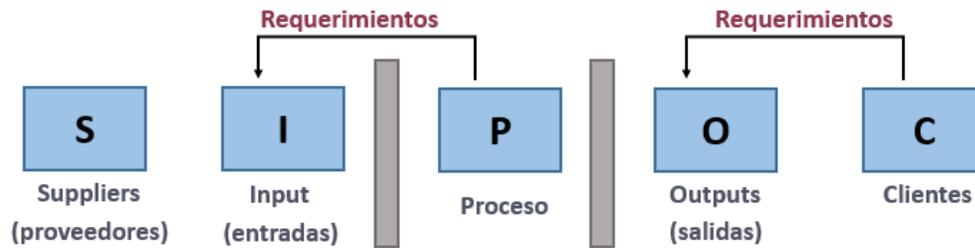
2.4.2.3. Diagrama SIPOC.

El SIPOC (Ver Figura 6) es una herramienta esquemática que recopila información importante acerca del proceso y permite comprender el propósito y alcance de un proceso (Pardo, 2017). Esta técnica se utiliza para relacionar los procesos, proveedores, salidas, recursos y cómo lograr mayor eficiencia para cuando lleguen a los usuarios. Sus siglas corresponden a (Bello, 2013):

- **(S= Suppliers) Proveedor:** Quien provee algo al proceso.
- **(I= Input) Entradas:** Todos los insumos en el proceso.
- **(P= Process) Proceso:** El flujo del proceso que se estudia.
- **(O= Outputs) Salidas:** Resultados que se generan después del proceso.
- **(C=Customers) Clientes:** Quienes reciben el producto.

El procedimiento para realizar un SIPOC se enlista a continuación (Socconini, 2015):

1. Definir el proceso y sus límites.
2. Identificar las salidas del proceso.
3. Identificar los clientes para cada salida.
4. Identificar los requerimientos de los clientes.
5. Identificar las entradas del proceso.
6. Identificar el proveedor de cada entrada.
7. Identificar los requerimientos de cada entrada.



- **Proveedores.** Proporcionan las entradas al proceso.
- **Entrada.** Recursos que el proceso requiere.
- **Requerimientos de las entradas.** Lo que el proceso requiere de las entradas (medible, cuantificable).
- **Proceso.** La actividad que transforma las entradas en salidas.
- **Límite de salida.** Especifica cuándo termina el proceso.
- **Salidas.** Productos o servicios proporcionados.
- **Clientes.** Inversionistas que establecen los requerimientos de las salidas.
- **Requerimientos de las salidas.** Los que el cliente requiere de las salidas (medible, cuantificable).

Figura 6. Elementos del SIPOC (Socconini, 2015).

2.4.2.4. Diagrama causa-efecto.

En 1953, Kaoru Ishikawa era profesor de la universidad de Tokio y utilizó por primera vez el diagrama causa-efecto (Ver Figura 7) para resumir la opinión de los ingenieros de una planta acerca de un problema de calidad. Cuando se propagó su uso en muchas compañías japonesas, se incluyó el término en el JIS (Estándares Industriales Japoneses) del Control de Calidad y se definió como: diagrama que muestra la relación característica de calidad y los factores (Rojas, Correa, & Gutiérrez, 2012).

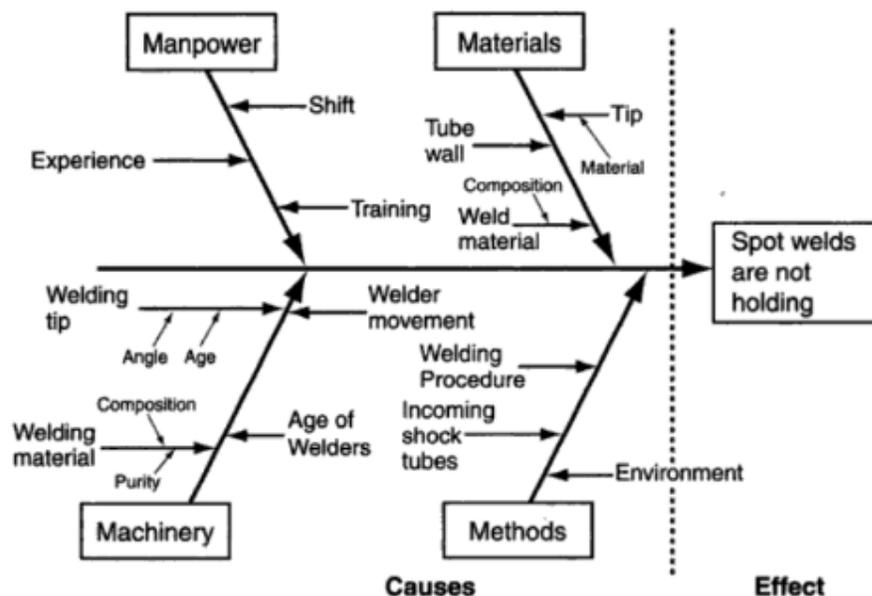


Figura 7. Ejemplo de un diagrama de causa-efecto (Fryman, 2002)

Una manera de realizar el diagrama de causa-efecto es a partir de identificar las causas. A continuación se enlistan los pasos que se deben seguir para llevarlo a cabo correctamente (Rojas, Correa, & Gutiérrez, 2012).

- Definir el programa que se va a investigar y describirlo mediante los atributos que lo caracterizan.
- Se procede a determinar las causas o factores que producen un impacto directo o indirecto sobre ellos. Clasificar en primarias (aquellas que afectan directamente el problema de investigación) y secundarias (afectan las causas primarias).
- En una hoja se dibuja una línea horizontal de izquierda a derecha (la espina dorsal) y al final se escribe el problema encerrado en un cuadro (cabeza de pescado). Se procede a escribir las causas que impactan los atributos que se encontraron en espinas que salen de la línea principal.
- Una vez que se concluye lo anterior, se dibujan espinas más pequeñas saliendo de las más grandes y se escriben las causas secundarias.
- Se asigna un nivel de importancia a cada factor, resaltando los factores más relevantes que afectan directamente al problema.
- Registrar cualquier información sobresaliente que resulte del proceso y sea útil.
- Una sugerencia para llevar a cabo el diagrama de causa-efecto, es que los atributos importantes se busquen por medio de la discusión entre un equipo de trabajo.

Los componentes de este modelo se clasifican en 5 categorías, denominadas 5M, las cuales son (de Saeger, 2015):

- **Material:** Consumibles que se utilizan en el proceso.
- **Método:** Incluye procedimientos existentes, flujo de la información, modos de operación.
- **Medio ambiente:** es el entorno en el que se desarrolla el proyecto y cómo impacta a mismo.
- **Máquina:** Equipo necesario para desarrollar el proyecto.
- **Mano de obra:** Recurso humano involucrado en el proyecto.

2.4.2.5. Lluvia de ideas.

Se define como una técnica creativa que se utiliza para generar ideas en un grupo (Fryman, 2002). Las sesiones en las que se lleva a cabo esta técnica son un medio muy valioso para crear ideas, en un grupo preferentemente multidisciplinario, estas sesiones se utilizan comúnmente para métodos de

reingeniería, procesos de optimización, análisis de causa raíz, manufactura esbelta, Seis Sigma, mapa de flujo de valor, entre otros (Fryman, 2002).

2.4.2.6. Estudio R&R del sistema de medición.

El estudio de repetibilidad y reproducibilidad del sistema de medición (GR&R por sus siglas en inglés) se define como el proceso que se utiliza para evaluar que tan preciso es un instrumento de medición, asegurando que éste sea repetible y reproducible. El proceso comprende una serie de mediciones para garantizar que el valor de salida es el mismo que el de entrada, además, que las mismas mediciones son obtenidas bajo las mismas condiciones de operación (ASQ, Learn about quality, 2020).

2.4.2.6.1. Estudio R&R por atributos.

Como dice su título, el objetivo de este tipo de estudio R&R, es evaluar un sistema de medición basado en atributos, o en otras palabras, basado en una evaluación de buena/mala, pasa/no pasa. Por lo tanto, este sistema de medición por atributos compara la pieza y se acepta como aprobado, bueno, listo en caso de cumplir con el estándar. La información se clasifica en categorías: aceptados o rechazados. Lo que indica el resultado de este tipo de estudio es que determina la consistencia entre los inspectores y la corrección de las categorías. Se aplica el estudio por atributos cuando más de dos inspectores califican las mismas piezas o cuando un evaluador califica las mismas piezas más de una vez (Harry , Mann, de Hodgins, Lacke, & Hulbert, 2010).

2.4.2.7. Análisis de capacidad.

Es de gran importancia conocer el proceso y determinar con base en la medición la cantidad de defectos que se producen. Generalmente, la herramienta que se utiliza para llevar a cabo este análisis es el “proceso sigma”, que indica principalmente, si el proceso es capaz o no de satisfacer las necesidades del cliente. La capacidad de un proceso se utiliza para analizar el grado en el proceso del producto o servicio se encuentra en las especificaciones del cliente. También es un estimado del nivel de calidad, el más alto que el proceso puede alcanzar (Fryman, 2002). Inicialmente se deben comprender varios conceptos básicos (Shankar, 2009):

- Los datos que se recopilen pueden ser de dos tipos: continuos o discretos, donde los datos discretos pueden ser de atributos o de conteo.
- Los datos continuos o también llamados variables se recaban por medición.

- Los datos de atributos se utilizan para denotar decisiones como aceptar/rechazar, bueno/malo, entre otros.
- Los datos de conteo son los que indican cantidad de defectos encontrados en una pieza.

2.4.2.7.1. Índice de capacidad (C_p).

El índice de capacidad (ver Ecuación 1) es la extensión de proceso permitida y se define como la diferencia entre el límite de especificación superior (USL) y el límite de especificación inferior (LSL) del proceso, que es la especificación de tolerancia, entre 6σ como la capacidad de proceso real (Harry, Mann, de Hodgins, Lacke, & Hulbert, 2010).

$$C_p = \frac{\text{especificación de tolerancia}}{\text{capacidad del proceso o } 6\sigma} = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (1)$$

Para establecer los parámetros del índice de capacidad (ver Figura 8), se enlistan a continuación (Harry, Mann, de Hodgins, Lacke, & Hulbert, 2010):

1. El índice de capacidad C_p indica el nivel de rendimiento a corto plazo que potencialmente se puede alcanzar.
2. El rango de tolerancia es el límite superior menos el límite inferior.
3. La extensión del proceso a corto plazo es igual a 6 veces la desviación estándar a corto plazo.
4. $C_p < 1$: La salida del proceso excede las especificaciones. El proceso no es capaz.
 $C_p = 1$: El proceso difícilmente cumple con las especificaciones. Existe una probabilidad de que se produzcan al menor 0.3% de defectos y potencialmente más alto si el proceso no está centrado.
 $C_p > 1$: La salida del proceso se encuentra dentro de las especificaciones, pero pueden producirse defectos si el proceso no está centrado.
 $C_p = 2$: Representa el objetivo a corto plazo para la capacidad del proceso. Como $z_{ST} = 3 * C_p$, se logra 6σ cuando $C_p = 2$.

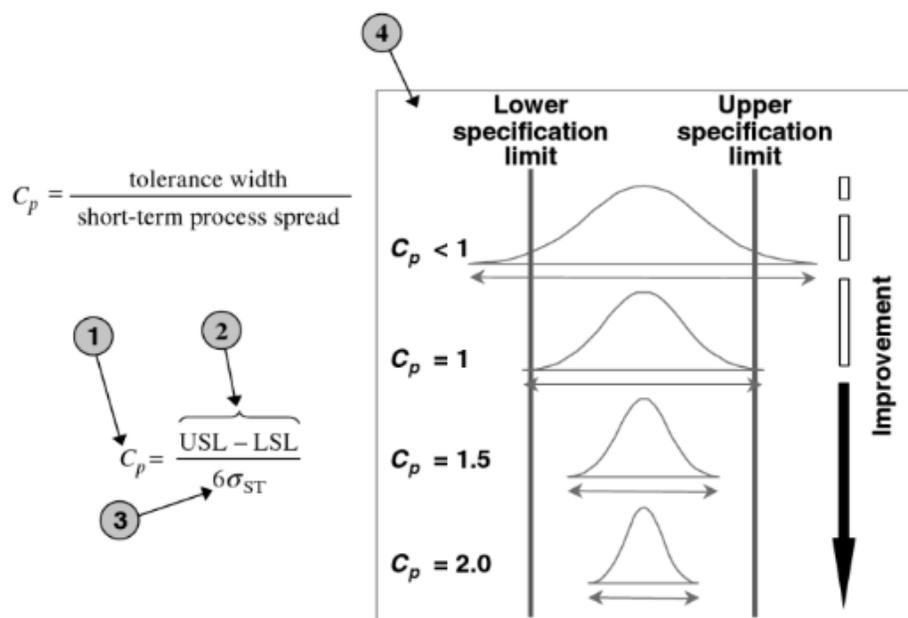


Figura 8. Principios fundamentales del índice de capacidad C_p . (Harry, Mann, de Hodgins, Lacke, & Hulbert, 2010)

2.4.2.7.2. Índice de capacidad del proceso (Cpk).

Una de las mayores debilidades del C_p es que muy pocos procesos se encuentran centrados. El C_p mide el potencial del proceso, no que tan centrado se encuentre. Por eso, para obtener mejores mediciones del rendimiento actual de un proceso, se debe considerar donde se encuentra la media del proceso en relación con los límites de especificación. El índice C_{pk} se creó para solucionar ese problema. Con el C_{pk} (ver Ecuación 2), la ubicación del centro del proceso en relación del USL y el LSL se incluye en los cálculos, por eso se calcula el peor caso con el que el C_p usa el límite de especificación más cercano a la media del proceso. Usualmente el C_{pk} se utiliza para el caso de datos continuos, además de que se usen datos normales (en caso de no ser normales, se deben transformar) y procesos estadísticamente estables. Aunque el C_{pk} considere el proceso centrado y la variación del mismo a corto plazo, no se debe usar en solitario para describir el índice de capacidad del proceso. El C_{pk} debe utilizarse en conjunto con el C_p (ver Ecuación 3, 4 y 5), que es el índice de capacidad del proceso a corto plazo (Harry, Mann, de Hodgins, Lacke, & Hulbert, 2010):

$$C_{pk} = \min\left(\frac{USL - \mu}{3\sigma} \text{ y } \frac{\mu - LSL}{3\sigma}\right) \quad (2)$$

Donde C_{pk} es la relación de capacidad centrada y:

$$C_{pk} = C_p(1 - k) \quad (3)$$

Dónde: k = un factor
 μ =centro del proceso
 σ = desviación estándar a corto plazo
 3 = constante usada para definir una unidad distributiva
 SL_{\min} = límite mínimo de especificación
 m = punto medio de la especificación
 y

$$C_p = \frac{USL + LSL}{2} \quad (4)$$

$$K = \frac{|m - \mu|}{(USL - LSL)/2} \quad (5)$$

Donde $0 \leq k \leq 1$. (Nota: Cuando $k=0$, el proceso está centrado en el punto medio de la especificación.)

2.4.2.8. Gráfico control vs tecnología.

La gráfica de control contra tecnología (Ver Figura 9) muestra visualmente el estatus del proyecto. Este tipo de gráfico consta de un rectángulo dividido en cuatro donde (Coffey, Process Capability, 2019):

- El cuadrante inferior izquierdo es la zona de buen control y tecnología pobre.
- El cuadrante superior izquierdo es la zona de control pobre y tecnología pobre.
- El cuadrante superior derecho es la zona de control pobre y excelente tecnología.
- El cuadrante inferior derecho es la zona de buen control y excelente tecnología.

Lo que se pretende realizar en los proyecto Seis Sigma es llegar (o acercarse lo más posible) al cuadrante inferior derecho.

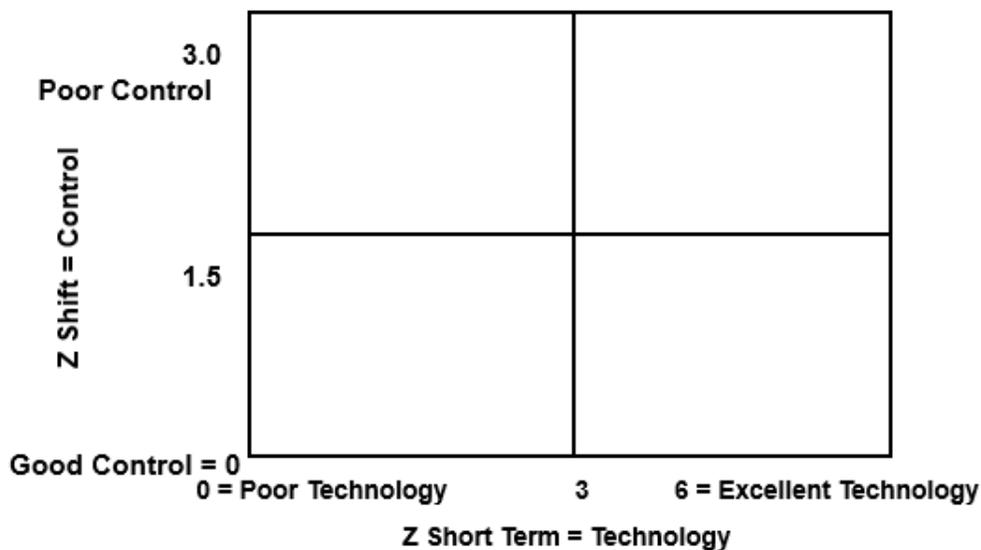


Figura 9. Gráfico de control contra tecnología (Coffey, *Process Capability*, 2019)

2.4.3. Analizar.

En esta etapa, el objetivo es comprender la relación entre la causa y el efecto en el proceso, en otras palabras, si los factores de entrada tienen influencia sobre la salida (el producto o servicio, según sea el caso). Esta etapa es muy importante, ya que en ella se filtran los factores de entrada, descartándose así los que son prescindibles para estudiar los que sean más relevantes y realizar el análisis estadístico con la información recolectada. La fase de 'analizar' inicia al implementar acciones con los datos recolectados en el proceso al final de la etapa de 'medir'. Después, se vuelve a recolectar información del proceso una vez realizados los cambios para monitorear como se modifica la información. Con esos nuevos datos, se utilizan varias herramientas estadísticas como la prueba de hipótesis, análisis de correlación y análisis de varianza (ANOVA)(Shankar, 2009).

2.4.3.1. Diagrama de cajas.

En inglés llamado 'boxplot', es una herramienta estadística que muestra la media, los cuartiles, los rangos que abarca el conjunto de datos y los datos fuera de rango (valores atípicos o en inglés 'outliers') (The Open University). Este diagrama (Ver Figura 10) se divide en cuatro zonas de igual frecuencia, la caja central dividida en dos áreas por una línea y los bigotes (otras dos áreas) que salen del centro de la caja a cada lado. La caja contiene el 50 por ciento de los datos. Además, en la caja central se acostumbra señalar la media con un signo como un "+" o una "x" y en ocasiones se traza una línea vertical en la caja (señala la mediana). De cada lado de la caja, salen los bigotes (uno a la derecha otro a la izquierda), se considera que (Llinás & Rojas, 2017):

- En la izquierda, el bigote tiene un extremo en el primer cuartil (Q1) y el otro extremo en el primer cuartil menos 1.5 veces el rango intercuartil R.I, lo que es $Q1-1,5R.I$.
- El bigote de la derecha tiene una extremidad en el tercer cuartil Q3 y el otro lado en un extremo en el tercer cuartil más 1.5 veces el rango intercuartil R.I, lo que es, $Q3+1,5R.I$.
- En algunos casos hay datos que se encuentran fuera de los rangos de los bigotes, estos se denominan como valores atípicos (puede que sea un error que puede corregirse antes del análisis o puede ser un dato real y debe mantenerse en el estudio).

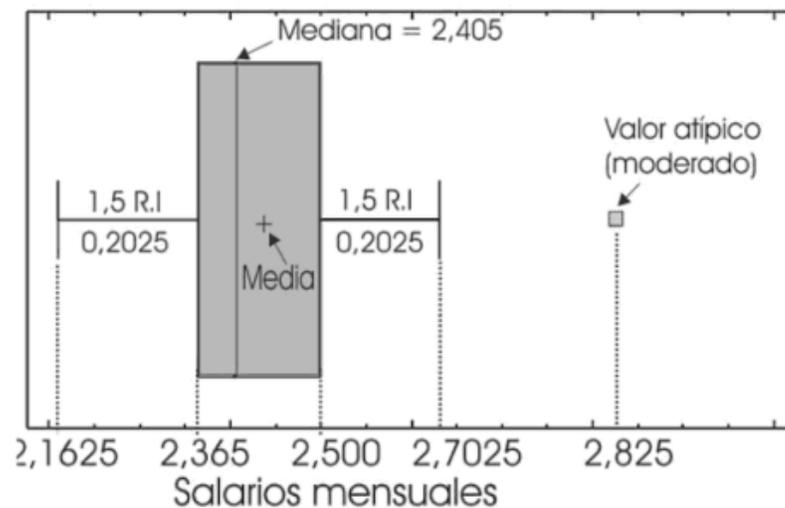


Figura 10. Ejemplo de diagrama de caja y sus componentes (Llinás & Rojas, 2017)

2.4.3.2. Gráficas de corridas.

En inglés llamada 'run chart' es la representación gráfica de las mediciones de un parámetro de interés a lo largo del tiempo, donde el eje x es el tiempo y el eje y el valor del parámetro (Ver Figura 11). En cuanto a su uso, es de utilidad para analizar tendencias, especialmente si hay datos históricos para realizar comparaciones con los datos actuales (Kan, 2004).

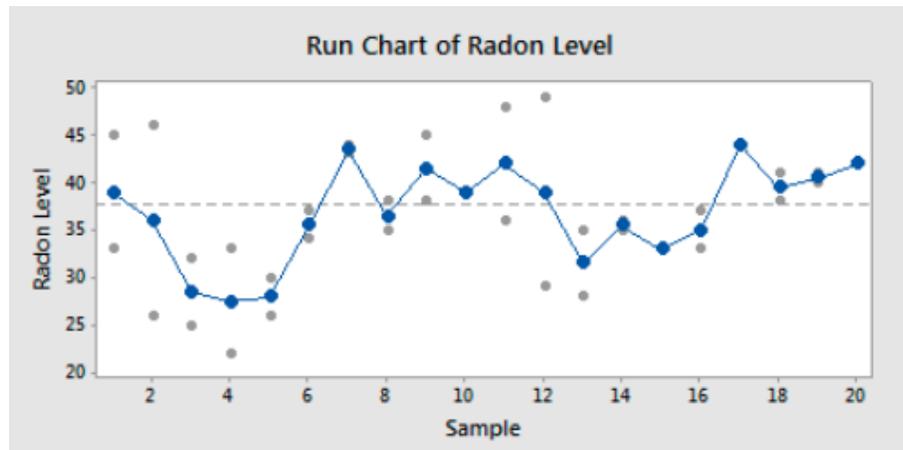


Figura 11. Ejemplo de un 'run chart' (Minitab 19, 2019)

Una gráfica de corridas es el mejor método para analizar procesos cuando se espera que sucedan cambios durante un intervalo asociado a la producción de determinada parte. Es útil utilizar este tipo de gráfico cuando se debe estudiar un proceso a corto plazo, donde se mide cada parte que se produce (por ejemplo, en las pruebas iniciales de maquinaria). Es adecuado utilizar esta gráfica cuando se pretende conocer un proceso (Kane, 1989).

2.4.3.3. Prueba t de dos muestras.

Este tipo de prueba sirve para analizar la diferencia entre dos grupos de datos, definidos por una variable independiente categórica, en una variable independiente continua. En su forma más sencilla (de una muestra), la prueba busca responder la pregunta de si la media de la variable dependiente para un grupo es diferente de un valor determinado (usualmente cero) (Berkman & Reise, 2012). Se puede modificar la prueba para comparar las dos medias de los grupos y determinar si es diferente de cero (si las medias del grupo son iguales), además, otra modificación se puede realizar para encontrar las diferencias entre dos grupos que están relacionados entre sí (Berkman & Reise, 2012). La prueba t 'paired' (pareada) es utilizada para datos en donde las dos muestras están emparejadas de alguna manera. Es adecuado utilizar la prueba con esta modificación para realizar la comparación y encontrar la diferencia entre los pares (Elliott & Woodward, 2007).

2.4.3.4. Análisis de varianza (ANOVA).

El análisis de varianza es una prueba estadística que se utiliza para evaluar si las medias que se obtienen de las condiciones experimentales son significativamente diferentes entre sí (Roberts & Russo, 1999). El

ANOVA (por siglas en inglés), se utiliza para investigar y modelar la relación entre una variable de respuesta dependiente (Y) y una o más variables independientes (X), esta herramienta estadística se implementa para probar la igualdad de las medias de dos poblaciones a una hipótesis nula más general de comparar la igualdad de más de dos medias, frente a que no todas son iguales. Por otro lado, el ANOVA unidireccional prueba la igualdad de las medias poblacionales cuando la clasificación puede tener tres o más niveles y cada nivel representan la variable independiente (X) que ha sido modificada voluntaria o involuntariamente. (Coffey, Hypothesis testing part 2) .

2.4.3.5. Prueba de hipótesis.

La prueba de hipótesis es una herramienta estadística que traduce una pregunta práctica en una solución estadística. El enunciado suele llamarse hipótesis o hipótesis estadística, además al procedimiento de toma de decisiones se le llama prueba de hipótesis. Es una rama de la estadística inferencial y toma las diferentes funciones de distribución de probabilidad teóricas (Azuz, 2018). El enunciado realizado se contempla en dos declaraciones (Coffey, Hypothesis testing protocol, 2019):

- **Hipótesis nula (Ho):** esta declaración de una diferencia nula o anula lo que se prueba directamente. Lo que indica que, la hipótesis nula prueba la igualdad, sin diferencia.
- **Hipótesis alternativa (Ha):** esta es la afirmación que debe ser verdadera, si la hipótesis nula es falsa; lo que quiere decir que hay una diferencia en lo que se prueba.

El resultado de la prueba de hipótesis solo tiene dos resultados independientes: se rechaza Ho o no se puede rechazar Ho. A su vez, existen dos tipos generales de pruebas de hipótesis: la prueba de dos lados o dos colas (Ej. Ho: $\mu=500$ y H1: $\mu\neq 500$) y la prueba de una cola (Ej. Ho: $\mu=500$ y H1: $\mu>500$ o Ho: $\mu=500$ y H1: $\mu<500$) (Azuz, 2018). Al realizar la prueba de hipótesis, se debe tomar en cuenta que pueden suceder dos tipos (ver Tabla 2):

Tabla 2. Tipos de error en las pruebas de hipótesis (Azuz, 2018).

	Ho verdadera	Ho falsa
Aceptación de Ho	Ningún error	Error tipo II
Rechazo de Ho	Error tipo I	Ningún error

En realidad, el valor P es un valor de probabilidad, por lo que en la prueba de hipótesis, el valor P se utiliza para establecer la probabilidad que existe de cometer un error Tipo I (α), donde al menos de que

se especifique lo contrario, $\alpha = 0.05$. En dado caso que el valor P sea menor que 0.05, la hipótesis nula se rechaza y se acepta la hipótesis alternativa (Coffey, Hypothesis testing protocol, 2019):

- **$P < \alpha (0.05)$** : Rechazar H_0 y aceptar H_a . Existe menos del 5% de probabilidad de cometer un error tipo I, por lo que H_0 es rechazada.
- **$P > \alpha (0.05)$** : Aceptar H_0 y rechazar H_a . Existe más del 5% de probabilidad (cualquiera que sea el valor P) de cometer un error Tipo I, por lo tanto H_0 no puede ser rechazada.

2.4.3.6. Análisis de correlación.

En algunos casos se requiere conocer el nivel de relación lineal entre dos variables, una de las formas para estimarlo es por medio del coeficiente de correlación “r”. Este tipo de análisis se utiliza para determinar si existe una relación lineal estadísticamente significativa entre dos variables continuas. Algunas herramientas estadísticas que se utilizan en este análisis son (Coffey, Correlation analysis, 2019):

- **Los gráficos matriciales**: es una representación visual de cómo se distribuyen X e Y.
- **Análisis de los mejores subconjuntos**: identifica los modelos de regresión de mejor ajuste construidos con las variables predictores.
- **Coefficiente de Pearson (r)**: Mide la fuerza y dirección de la relación entre X e Y en una muestra. Puede tomar valores entre -1 (correlación negativa perfecta) y 1 (correlación positiva perfecta).

2.4.4. Mejorar.

El objetivo en esta etapa es detectar, desarrollar, probar e implementar las soluciones por medio de herramientas de ingeniería con base en la causa raíz. Al terminar la etapa y al aplicar las acciones, se obtiene un resultado que se espera sea positivo, ya que se debe reducir o eliminar el impacto provocado por la causa raíz. Es importante que durante esta etapa se lleve a cabo una comparación entre los dos escenarios, antes y después de la implementación de las mejoras para analizar la dimensión de la misma y determinar si se alcanzó o no la meta planteada en las etapas anteriores (Pérez, 2012).

2.4.4.1. Plan de entrenamiento.

La capacitación debe aplicarse a aquellas personas que afectan las mejoras, que son quienes se encuentran involucradas en el proceso y lo impactan, así como aquellos que apoyan el proceso de cualquier forma. Es requisito que las siguientes personas estén involucradas en el plan de entrenamiento: personal que apoya los procesos y los que harán cambios en el futuro del mismo. La

planeación y ejecución es responsabilidad del equipo de trabajo, así como todo lo que conlleve su planificación, desarrollo y ejecución, además, se debe llevar a cabo por entrenadores calificados y se debe asignar al responsable de llevar a cabo la capacitación continua. Preguntas base para realizar el plan de entrenamiento son las siguientes (Coffey, Six Sigma Process Control Plans):

- ¿Cuándo se llevará a cabo la capacitación?
- ¿Cuál es el cronograma para capacitar a todos en los nuevos procesos?
- ¿Cuáles serán las consecuencias de la capacitación continua?

2.4.5. Control.

En esa fase se determinan los métodos y mediciones para poner llevar a cabo y sustentar la(s) mejora(s) en el tiempo indicado. Se lleva a cabo el desarrollo de competencias al personal involucrado en el proceso en cuestión y el monitoreo de las variables. Además, se aplica el control estadístico de procesos y de trabajo estandarizado para mantener las mejoras ya implementadas. Se establecen las mejores prácticas así como las lecciones aprendidas. Así mismo, se realiza el plan de control, capacitación en caso de ser necesaria, documentación completa y aprobada, así como la comunicación de resultados. (Pérez, 2012).

2.4.5.1. Control estadístico de procesos.

En cuanto al empleo de herramientas estadísticas en conjunto con el control y mejora de los procesos, son un método de mejora continua de la calidad con base en la reducción de la variación de las características que causan más impacto en la calidad de los productos o servicios por medio del seguimiento, control y mejora de los procesos (Vilar-Barrio, 2005). Además, se utilizan gráficas de control para monitorear los procesos. Por otra parte, algunos de los beneficios de aplicar el control estadístico de procesos se enlistan a continuación (Avila-Cabrera, 1999):

- Es conveniente ya que establece cuando se deben implementar acciones en caso de que se deba hacer un ajuste al proceso en el momento en que se salga de control.
- De igual manera, indica el caso en que el proceso se encuentre en control y no sea necesario realizar cambios.
- Disminuye la inspección del producto y aumenta el aseguramiento de calidad.
- Mayor eficiencia en la producción, así como la reducción en los rechazos.

2.4.5.2. Plan de control.

El plan de control es un resumen que describe los sistemas utilizados para monitorear/controlar el proceso o la variación de un producto, lo que incluye toda la documentación que permite el registro formal de los métodos de control existentes o nuevos que se aplicaron para el cumplimiento del objetivo de un proyecto. Además, la documentación se encuentra en constante cambio, debido a que se continuarán agregando nuevos sistemas de medición y métodos de control para proporcionar la mejora continua. Este tipo de proyecto requiere un plan de control manejado por los ingenieros y operadores para garantizar la calidad del producto (Coffey, Six Sigma Process Control Plans).

2.4.5.3. Documentación final.

La documentación es necesaria para garantizar que las lecciones aprendidas que se obtuvieron a través en el proyecto se compartan en toda la institución. Se utilizan estos documentos para ayudar a implementar soluciones en otros proyectos, para el entrenamiento continuo en otros procesos y es el informe final real que utilizan en algunas organizaciones. Comúnmente, estos documentos finales se utilizan para enumerar el paso a paso a seguir para garantizar la implementación de la estrategia de control y comunicar el plan y se basa en: quién lo va a hacer, fecha de vencimiento y los pasos a realizar (Coffey, Six Sigma Process Control Plans).

Capítulo 3. Metodología

A continuación, se presentan las primeras tres fases de la metodología DMAIC (definir, medir y analizar), donde se desarrolla la metodología de este protocolo de tesis y se implementan las herramientas requeridas en cada una de las fases mencionadas. Las dos etapas de la metodología DMAIC que restan (mejorar y controlar) se presentan en el siguiente capítulo.

3.1. Etapa definir.

Como se estableció en el marco de referencia, la herramienta que se implementó para el desarrollo de este proyecto es la metodología DMAIC a través de Seis Sigma. La etapa inicial de la metodología es “definir”, en la cual se planean varios aspectos referentes al proyecto en cuestión, como la integración del equipo de trabajo, el acta del proyecto, se definen conceptos básicos de este proyecto en particular y se presenta el diagrama “árbol del producto” del número de parte seleccionado para el desarrollo de este proyecto. Dicho lo anterior, se presenta el desarrollo de esta fase y la implementación de las herramientas requerida.

3.1.1. Formación del equipo de trabajo.

Primeramente, se integró al equipo base para la realización del proyecto, formado por miembros de la empresa CPP (industria) y de CETYS Universidad (academia). A continuación, se muestra la Tabla 3, donde se presentan los integrantes del equipo de trabajo completo, que se dividen en equipo central (compuesto por los miembros principales del equipo, que trabajan en conjunto para llevar a cabo cada fase del proyecto) y el equipo de apoyo (personal que tendrá participación en algunas de las actividades que se llevarán a cabo en una o varias fases del proyecto), además se señalan las etapas de la metodología en las que participaron cada uno de los integrantes:

Tabla 3. Equipo de trabajo

Equipo central		D	M	A	I	C
Rubén Davis	Ingeniero Sr.	✓	✓	✓	✓	✓
Salvador Tinoco	Nivel 3 PND	✓	✓	✓	✓	✓
Ángel Carrillo	Inspector PND	✓	✓	✓	✓	✓
José Núñez	Coordinador de Calidad PND	✓	✓	✓	✓	✓
Josué López	Director de tesis	✓	✓	✓	✓	✓
Equipo de apoyo (CPP)						
Roberto Galván	Ingeniero de procesos PND	✓	✓		✓	✓
Roberto González	Entrenador de Soldadores				✓	✓
Ramiro Corral	Nivel 2 Rayos X		✓		✓	✓
Enrique García	Nivel 2 Rayos X		✓			
Jehu Llamas	Coordinador de PND	✓	✓	✓	✓	✓
Jesús Liera	Supervisor de soldadura PND	✓	✓	✓	✓	✓
Luis Sánchez	Entrenador de desbaste				✓	✓
Miguel Iribe	Nivel 2 FPI		✓		✓	✓

3.1.2. Acta del proyecto

Planta: CPP Ensenada México.

Descripción del proyecto: Desarrollar y diseñar el método de soldadura con las mejores prácticas para diciembre de 2019.

Objetivo: Desarrollo e implementación de un nuevo proceso de re trabajo capaz de permitir la reducción de costo y tiempo por lo menos en 20% (de 31.47 hrs/ciclo hasta 25.18 hrs/ciclo).

Cliente: CPP Pomona.

Beneficios financieros: Reducción de \$56,400 a \$42,900 dólares en costo de re trabajo.

Patrocinador/Champion: Jesús Valdez (Gerente de planta) jesus.valdez@cppcorp.com

Mentor Black Belt: Salvador Tinoco (Nivel 3 de PND) (salvador.tinoco@cppcorp.com)

3.1.3. Definiciones.

Dentro de Seis Sigma se requiere definir algunos conceptos que se utilizarán durante todo el proyecto, debido a esto, en la Tabla 4 se definen aquellas definiciones particulares. Del mismo modo, cuando se utilicen estos términos, el significado que se otorga es el que se indica en la tabla.

Tabla 4. Definiciones de conceptos básicos para el proyecto

Concepto	Definición
<i>Unidad</i>	Una pieza fundida con número de parte 222xxxxx.
<i>Defecto</i>	La pieza fundida tiene un defecto de soldadura.
<i>Oportunidad</i>	Encontrar cualquier tipo de defecto en una pieza soldada.
<i>Tipo de datos</i>	Discretos y continuos.
<i>Ciclos de re trabajo y tiempo de re trabajo</i>	Criterio de aceptación para la soldadura.

Puesto que en la planta de CPP Ensenada se realizan operaciones de desbaste/acabado y PND, las actividades que ahí se realizan se centran en reparar aquellos defectos de fundición (aquellos defectos que trae cada pieza desde el proceso de fundición en la planta de Pomona) que se encuentren en cada pieza. Sin embargo, debido a la naturaleza de los mismos, en ocasiones esos defectos “reparados” se convierten en defectos de re trabajo (tipo de defecto que surge a partir del proceso de soldadura) y se requiere ser reparados de nuevo.

Para iniciar con la definición del proyecto, se recabó la información necesaria para llevar a cabo el diagrama de Pareto de oportunidades, esto consta de datos que van desde finales de febrero y mes de marzo de 2019. En seguida, se realizó el diagrama mencionado, que en ese caso fueron 2: el primero (Ver Figura 1), muestra los seis números de parte que más contribuyen a la cantidad de defectos de fundición en la planta, siendo el número de parte 222xxxxx el número uno, con 53.5% total, en el segundo se muestra el costo de re trabajo (Ver Figura 2), donde se presenta el costo de re trabajo por número de parte y se encuentra la parte 222xxxxx en primer lugar con un 55.9% del total, o sea \$19, 400 dólares en el mes de marzo. En conclusión, el mismo número de parte es la mayor contribuyente en ambos casos.

3.1.4. Árbol del producto.

En paralelo, se realizó el árbol del producto, como se observa en la Figura 12: en la parte superior se muestra el nombre del corporativo, seguido de la sección de CPP (costa oeste) donde se encuentra la planta de Ensenada (siguiente nivel). Los clientes de Ensenada se muestran en el nivel subsecuente y se resalta el cliente que compete a este trabajo de investigación (planta de CPP Pomona) y los procesos que se realizan en la planta, resaltando en verde los puntos más importantes en cada nivel: se indica que el trabajo que se realiza es el desbaste y acabado, así como de PND. Y por último, se resalta en verde el número de parte seleccionado con base en la información.

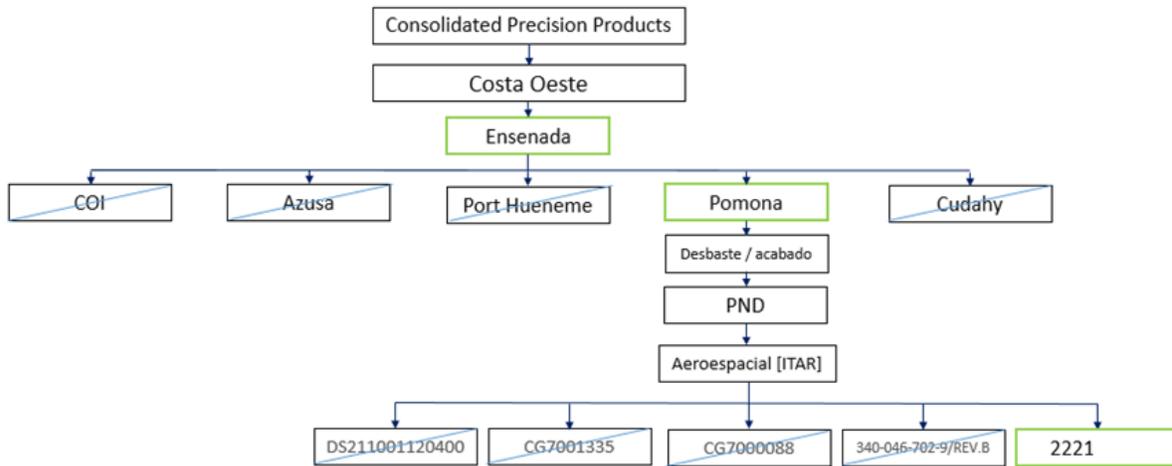


Figura 12. Árbol del producto (CPP, 2019).

3.2. Etapa medir.

En esta fase de la metodología, se inician las mediciones de los datos históricos de las piezas que ya han sido procesadas, presentándose en gráficas de series de tiempo y gráfico de cajas. Primeramente, se procedió a realizar los mapas del proceso en los 3 niveles, incluyendo el VSM, así como el diagrama SIPOC. Se procede a llevar a cabo el diagrama causa y efecto, el análisis de concordancia en el proceso de FPI (por sus siglas en inglés), así como el primer análisis de capacidad.

3.2.1. Mapa del proceso.

El mapa del proceso puede describirse en varios niveles, en el nivel 1 (Ver Figura 13) se muestra el proceso desde un alto nivel, pues no es muy detallado. Solo se presentan actividades generales para quienes requieran conocer el proceso de manera general.

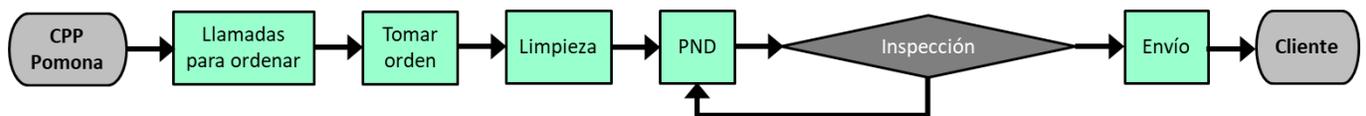


Figura 13. Mapa del proceso nivel 1 (CPP, 2019).

En el nivel 2 (Ver Figura 14), se presenta un proceso más específico de las actividades que se realizan con esta pieza: en primer lugar, la pieza llega a FPI, donde se marcan los defectos superficiales, luego se cortan (dig out) los defectos que se hayan encontrado, se procede a mapear dichos defectos y posteriormente, se soldan. Una vez soldados, se inspeccionan por FPI de nuevo y de ser necesario, se repite el proceso anteriormente descrito, cuantas veces sea necesario. En el caso en que la pieza pase la

inspección por líquidos penetrantes, pasa a la inspección por Rayos X. Si no pasa la inspección por Rayos X, se vuelve a cortar y se repite el proceso hasta que la pieza apruebe los dos tipos de inspección.

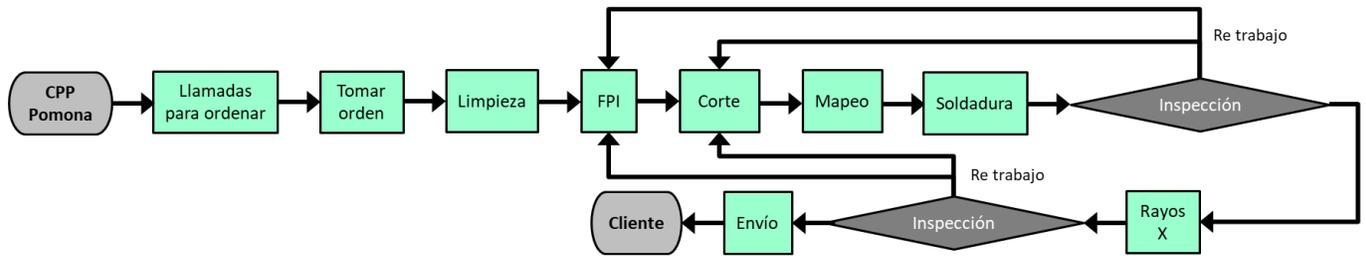


Figura 14. Mapa del proceso nivel 2 (CPP, 2019).

Posteriormente, se realizó el mapa de Flujo de Valor (VSM) que se presenta en la Figura 15. A continuación, se describe el mapa:

a) Dentro de los cuadros principales (en azul oscuro) y separados por fechas rojas (horizontales), se muestran las operaciones del proceso.

b) El número junto al símbolo de 'operador' indica la capacidad en recurso humano para cada operación.

c) La parte inferior del diagrama se indican tres tiempos:

1) 100% que indica el tiempo total de las operaciones en la pieza.

2) C/V (ciertas vistas) indica el tiempo total invertido en el trabajo de las vistas requeridas.

3) El tiempo de espera en cada fase del proceso.

d) En los recuadros a la extrema derecha se muestran el tiempo total de ciclo y el tiempo de espera.

e) En la parte superior, en verde se indica el tiempo de valor agregado (el tiempo total de ciclo) y el tiempo de valor no agregado (el tiempo de espera).

Al observar todo el mapa se observa que la operación que tiene una mayor duración es la de 'Soldadura', por ello se tomó esta operación para el desarrollo del proyecto.

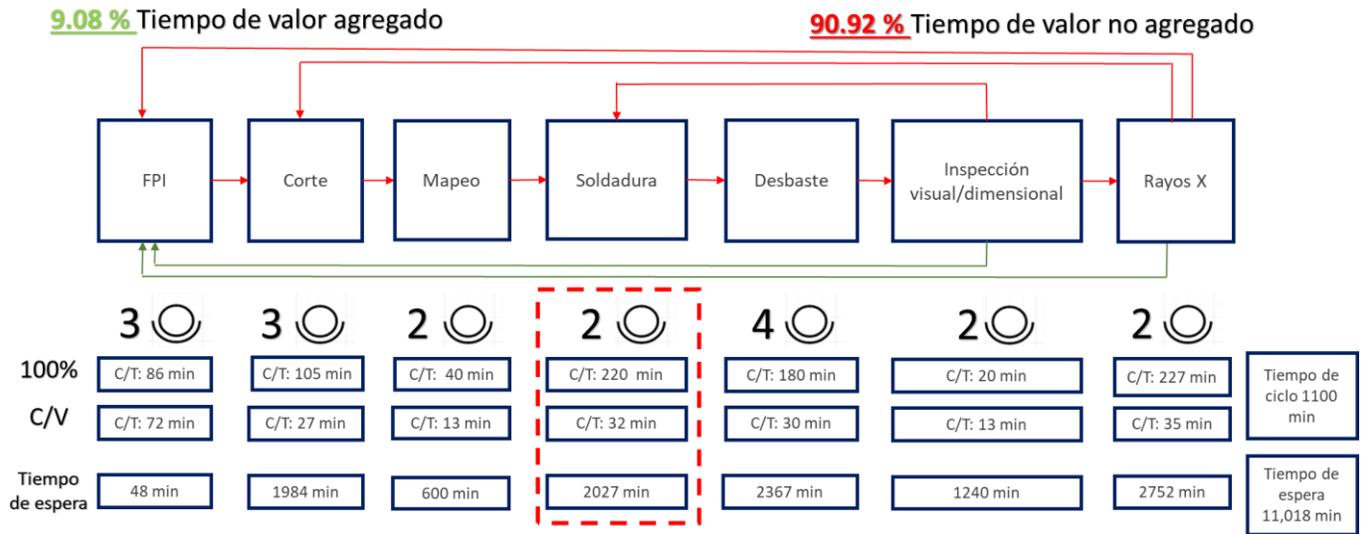


Figura 15. Mapa de Flujo de Valor del proceso de Pruebas No Destructivas (CPP, 2019).

3.2.2. Diagrama SIPOC.

El diagrama SIPOC, expone en la Figura 16 el número de parte seleccionado. Bajo la “P” de proceso, se determinan cada uno de los procesos a realizar, en el primero (desbaste/acabado) en este caso el proveedor es el cliente (Pomona) y el proveedor de abrasivos, las entradas son la pieza fundida de Pomona y los abrasivos que se utilizarán para realizar el acabado, posteriormente se realiza la operación de desbaste, lo que sale del proceso es la pieza sin puertas y desbastada, pasando el siguiente cliente que es FPI, que recibe la pieza desbastada, se realiza la operación y se obtiene la pieza inspeccionada y marcada con defectos superficiales, pasa a la siguiente operación, que es Dig out (corte de los defectos encontrados y marcados). Continuando con el proceso, sigue mapear los defectos encontrados, para proseguir con la soldadura, donde pasa a Rayos x (se recibe la pieza soldada), pasa a re trabajo de ser necesario, se procede a certificar la pieza, luego a la inspección final y se envía al cliente.

S	I	P	O	C
Suppliers (Proveedores)	Inputs (Entradas)	Proceso	Outputs (Salidas)	Clientes
Fundiciones de Pomona Abrasivos	Fundición bruta Abrasivos, herramientas para remover rebaba	Desbaste/acabado	Fundición sin puertas	FPI-Ensenada
Desbaste/acabado Proveedores FPI Proveedores de aqua	Fundición sin puertas Suministros proceso FPI	Inspección por Líquidos Penetrantes (FPI)	Pieza inspeccionada y marcada para defectos superficiales	CPP - Pomona
FPI-Ensenada Abrasivos	Pieza marcada	Corte (Dig-out)	Pieza con defectos cortados	Mapeo - Ensenada
Corte-Ensenada Documentación Herramientas de medición FPI-Ensenada	Pieza con defectos cortados	Mapeo	Parte mapeada y documentada	Soldadura - Ensenada
Abrasivos/Soldadura/Gas Protección personal Equipo	Pieza inspeccionada por FPI Proveedores de re trabajo	Soldadura y re trabajo	Parte soldada, sin rebaba, en dimension y sin defectos superficiales	PND CPP - Ensenada
Re trabajo-Ensenada Películas de Rayos X Agua Químicos	Pieza soldada y sin rebaba en dimensión Suministros para rayos X	Rayos X	Parte inspeccionada y marcada para defectos internos (aceptada o rechazada)	Proceso interno CPP-Pomona
Rayos X-Ensenada Abrasivos/Soldadura/ Gas Protección personal Equipo	Parte inspeccionada y defectos internos marcados	Soldadura y re trabajo	Parte soldada, sin rebaba y en dimension, sin defectos internos	Regulación TAP
Re trabajo-Ensenada Documentación Herramientas de medición	Parte soldada, sin rebaba y en dimensiones, y sin defectos internos Certificado de PND	Inspección visual/dimensional	Parte lista para envío	Raytheon

Figura 16. Diagrama SIPOC del proceso interno para de Ensenada (CPP, 2019).

3.2.3. Mediciones.

En la siguiente Figura 17 se muestra una gráfica de series de tiempo la cual presenta la cantidad de defectos de re trabajo por número de serie, donde idealmente, se debería tener cero defectos de soldadura, sin embargo, sobresaltan números de serie que tienen más de 20 defectos de soldadura. Esta gráfica no incluye defectos de fundición.

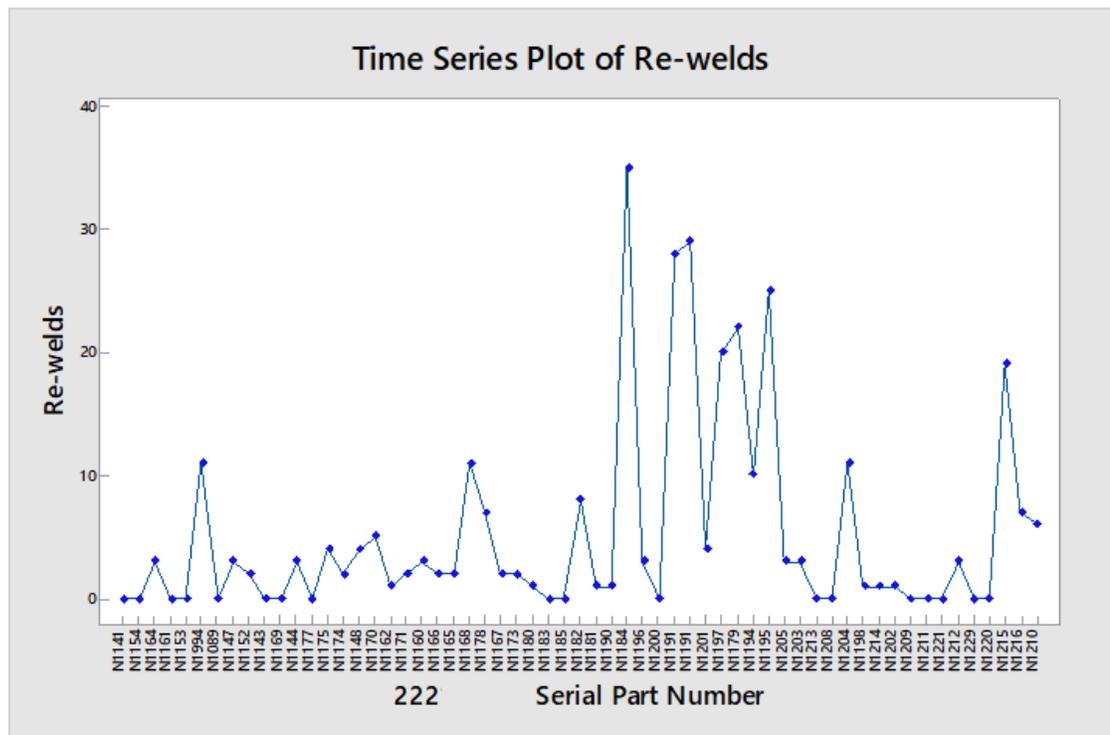


Figura 17. Gráfica de series de tiempo de re soldaduras por número de parte (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

El primer gráfico (Ver Figura 18) que se llevó a cabo fue acerca de la eficiencia de los soldadores (cuantas soldaduras buenas obtienen entre el total de soldaduras que llevan a cabo), como ya se había indicado en el VSM, solo hay dos soldadores (estampas 2 y 6) con la certificación requerida para soldar la pieza en cuestión. En el gráfico se observa la diferencia entre las eficiencia de ambos soldadores, se resalta una leve diferencia entre el soldador 2, que tiene un 88.7% de eficiencia al soldar la pieza y el soldador 6 que tiene un 93.9% de eficiencia. Sin embargo, se espera que ambos se encuentren por encima del 80% de eficiencia, lo cual sucede.

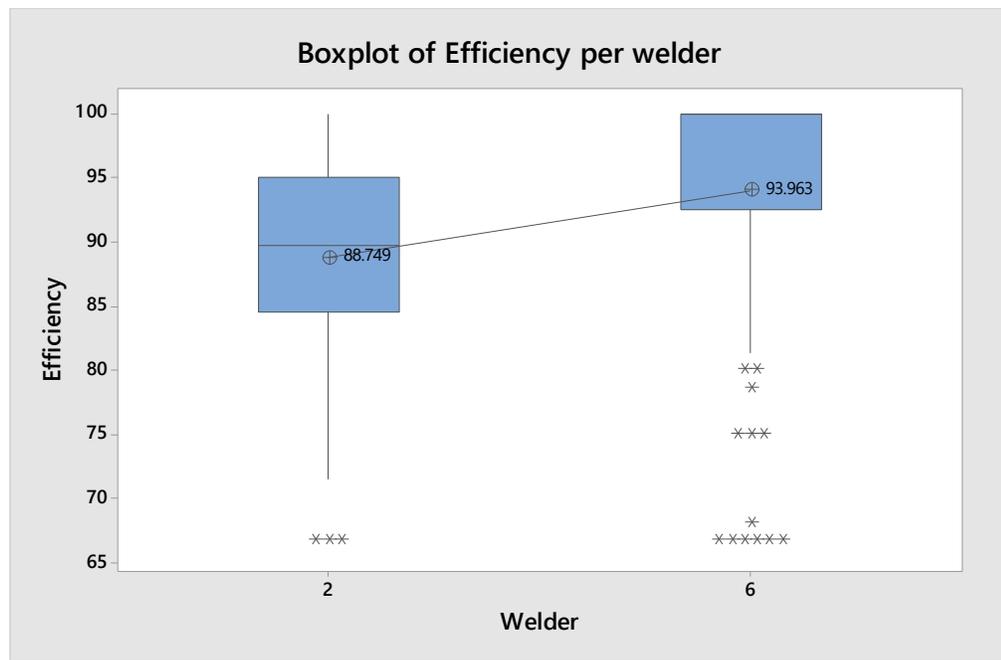


Figura 18. Diagrama de cajas de la eficiencia por soldador (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

3.2.4. Diagrama de causa y efecto.

Una vez realizado todo lo anterior, se procedió a convocar una reunión del equipo, para llevar a cabo el diagrama de Causa-Efecto, el problema que se encontró es el alto tiempo de re trabajo así como cantidad de ciclos de re trabajo (Ver Figura 19). Al anotar cada una de las categorías, en mano de obra la causa principal era el entrenamiento, en medición las inspecciones visuales cuando se trata de re trabajo, en máquinas es la preparación de la misma, en métodos es la mala calidad de la fundición y por último, medio ambiente que es la falta de comunicación.

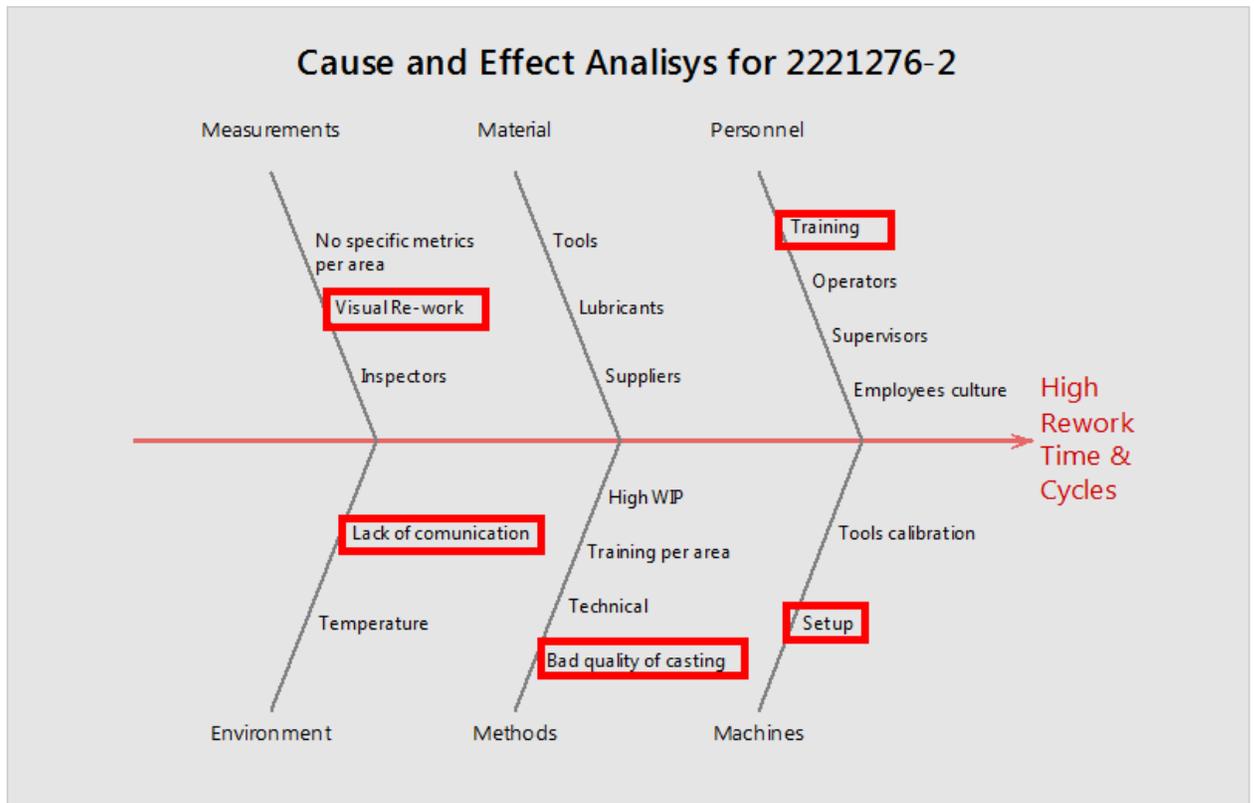


Figura 19. Diagrama de causa y efecto del número de parte seleccionado (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

3.2.5. Análisis de concordancia por atributos en FPI.

Este estudio del sistema de medición por atributos se realizó con una pieza, donde se tomaron en cuenta múltiples áreas y defectos. Se aplicó a tres inspectores en 28 oportunidades, dos veces cada inspector. Los resultados que se arrojaron fueron que: dos de los inspectores de FPI tiene un alto nivel de exactitud, el tercero tiene un 76.8%.

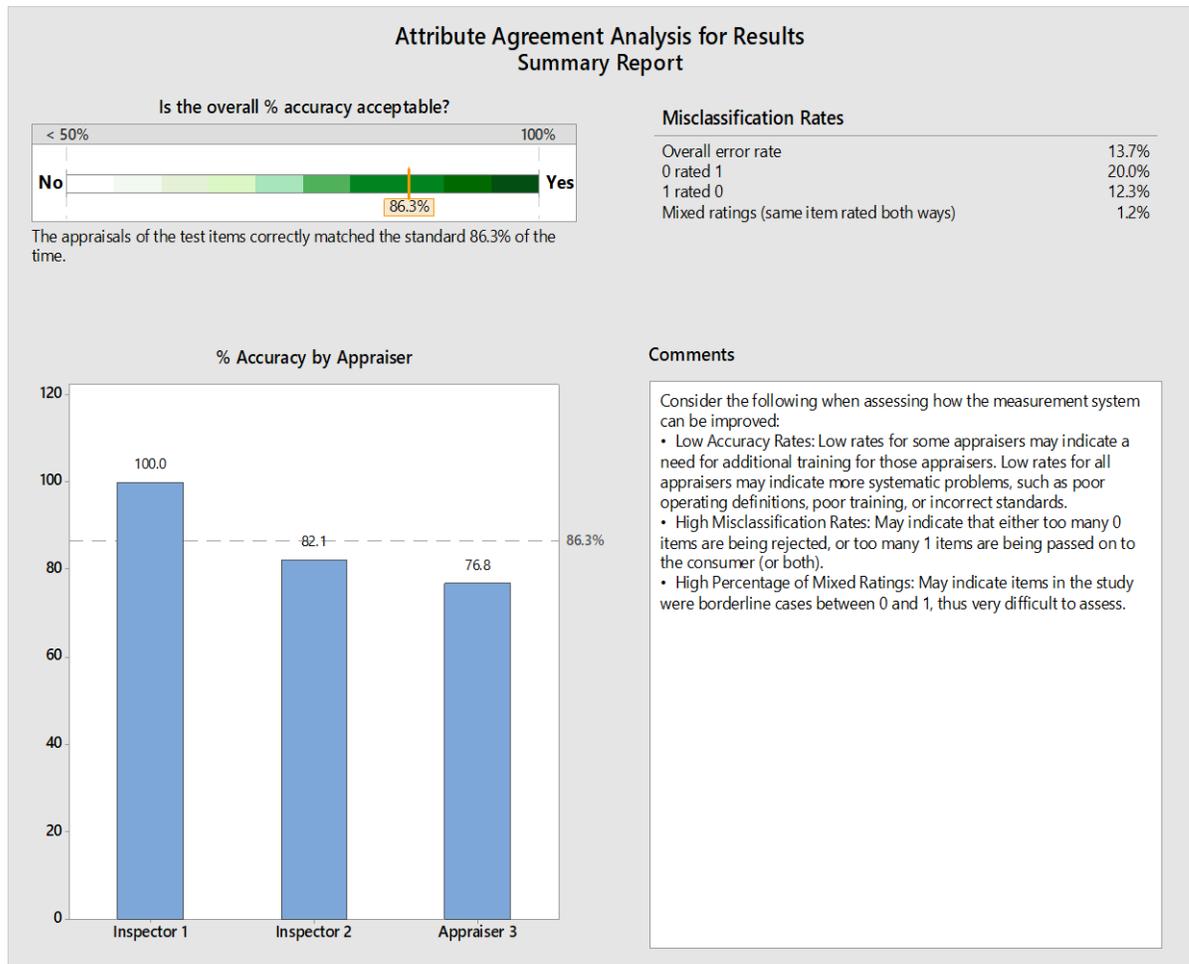


Figura 20. Resultado resumido del análisis de concordancia de atributos de repetibilidad y reproducibilidad (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

En términos generales, el porcentaje es del 86.3% entre los tres inspectores y tiende a ser aceptable (Ver Figura 20). Por último, en la Tabla 5 se muestra el resultado del análisis, en la que se muestra información del estudio como la fecha y nombre de quien lo realizó y los resultados de cada inspector y se concluye que los inspectores por líquidos penetrantes tienen un porcentaje alto de aciertos según este estudio.

Tabla 5. Información y resultados del análisis de concordancia del estudio de repetibilidad y reproducibilidad.

Información Gage				
<i>Fecha del estudio:</i>		5/10/2019		
<i>Reportado por:</i>		O Galarza		
<i>Nombre del producto:</i>		*****		
<i>Misc:</i>		FPI GRR criteria		
Individual por evaluador				
<i>Evaluador</i>	<i># de Inspeccionados</i>	<i># de coincidencias</i>	<i>Porcentaje</i>	<i>IC de 95%</i>
Inspector 1	28	28	100	(89.85, 100)
Inspector 2	28	28	100	(89.85, 100)
Inspector 3	28	27	96.43	(81.65, 99.91)

3.2.6. Análisis de capacidad del proceso.

El siguiente paso fue llevar a cabo el primer análisis de capacidad del proceso, que se expone en la Figura 21, que incluye los datos recabados en las etapas de definir y medir. El dato que se tomó para realizar el análisis fue el tiempo de ciclo (en horas), como límite superior se tomó 50 horas por ciclo, el límite inferior como 10 horas y el objetivo de 30 horas, se tomaron 80 datos.

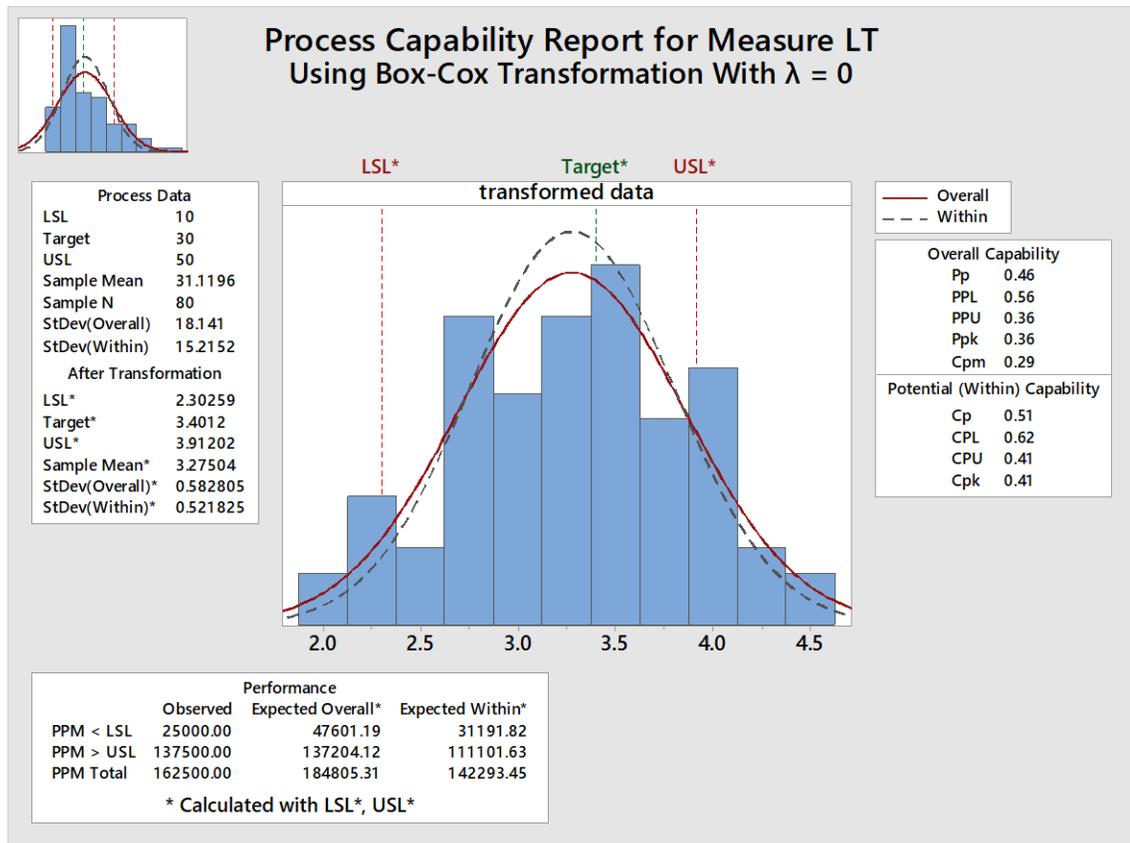


Figura 21. Capacidad del proceso a largo plazo en la etapa de medir (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

Se utilizó una transformación Box-cox, pues al no ser datos normales se tuvo que realizar una transformación (se realizó la prueba de bondad de ajuste y con base en ella se eligió la transformación Box-Cox). Después se hizo el gráfico I-MR para obtener el término a corto plazo, por lo que se eligieron los datos que se encuentran entre las observaciones 25 y 41 debido a que visualmente son la muestra que se encuentra más controlada (Ver Figura 22).

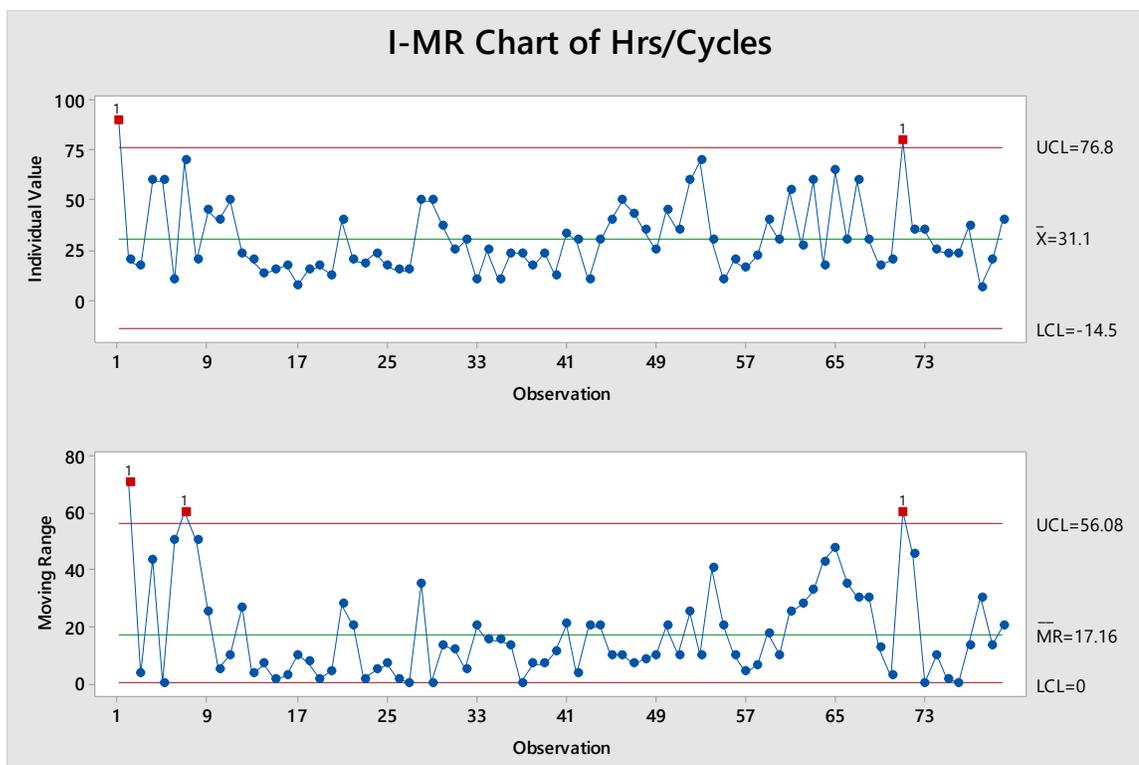


Figura 22. Gráfica I-MR de las horas por ciclo en la etapa de medir (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

Enseguida, se realizó el gráfico a corto plazo (Ver Figura 23) con los datos seleccionados con base en el I-MR, donde finalmente se encontraron los resultados, obteniéndose 162,500 de DPMO, durante las primeras dos fases. Un Z a corto plazo (Z_{st}) de 1.50 y un Z a largo plazo (Z_{lt}) de 1.08. Para obtener el dato que se requiere para realizar el gráfico de “Control contra Tecnología”, se resta el Z_{lt} al Z_{st} , lo que resulta en 0.42. En la Figura 24 se muestra el gráfico que se mencionó anteriormente y la posición donde se encuentra la estrella es el cuadrante inferior izquierdo, que indica “buen control pero tecnología pobre”.

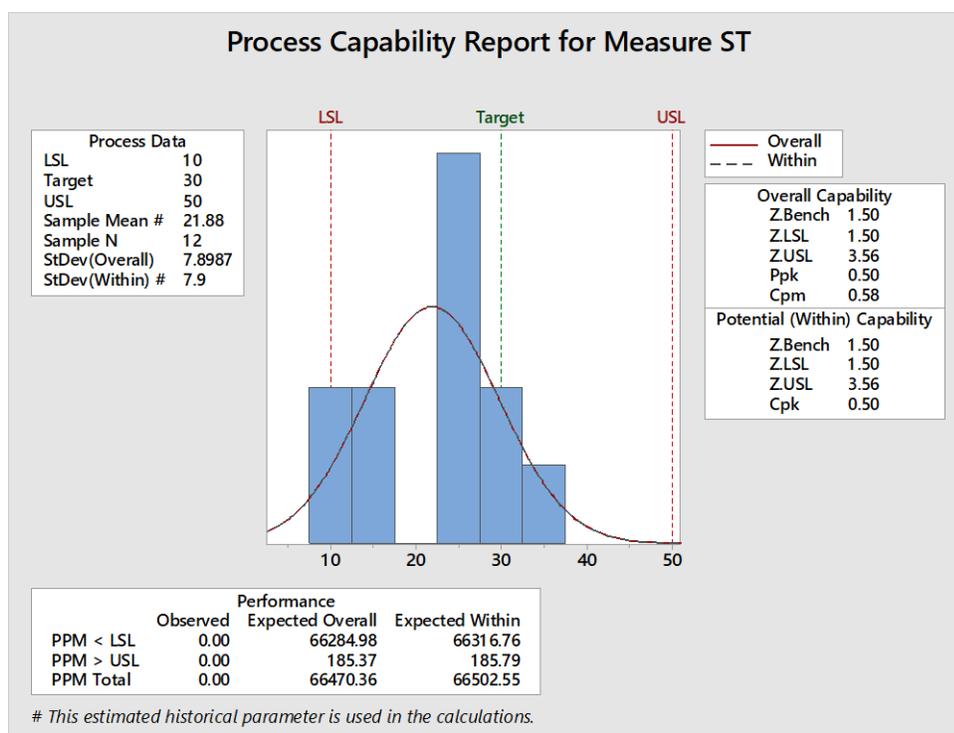


Figura 23. Capacidad del proceso a corto plazo en la etapa de medir (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

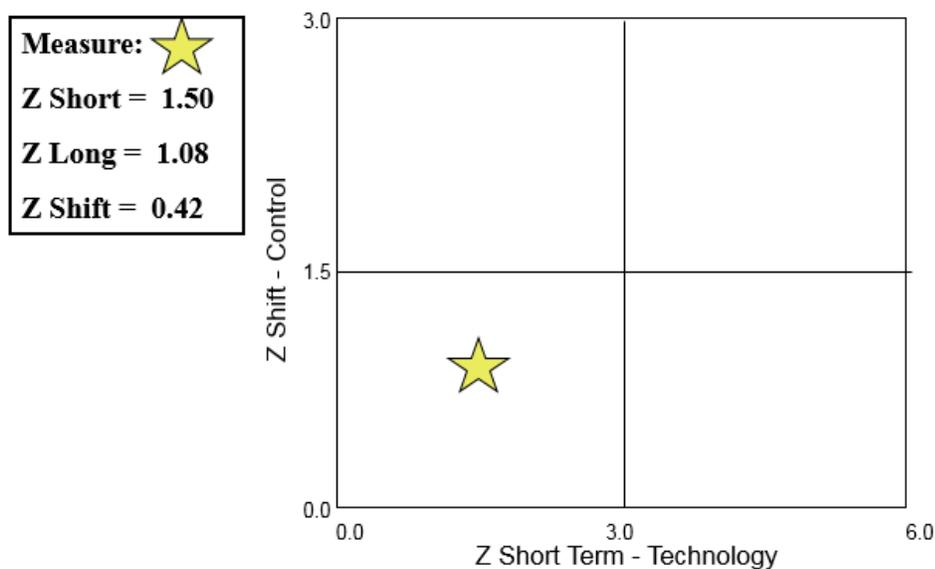


Figura 24. Gráfico de control vs tecnología del proceso en la etapa de medir (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

Por último, se agrega un gráfico (Ver Figura 25) donde se muestre el avance de la reducción del DPMO en cada fase, se tiene como una cifra inicial 162,500 defectos por millón de oportunidades. Se monitoreará cada que se concluya una de las fases de la metodología.

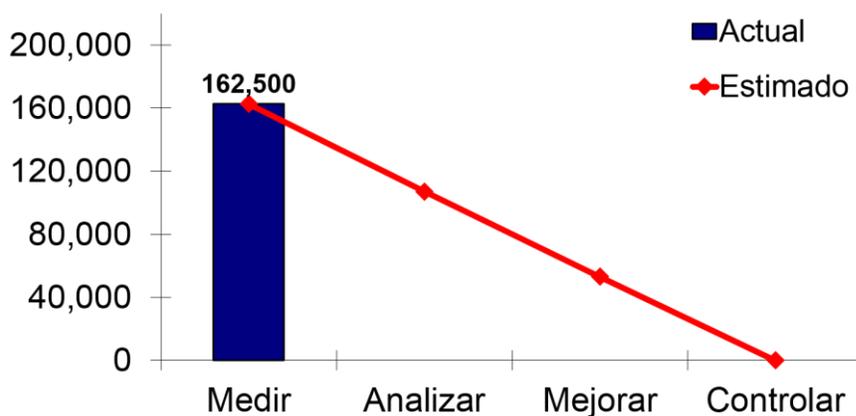


Figura 25. Reducción de Defectos Por Millón de Oportunidades por fase en la etapa de medir (CPP, 2019).

3.3. Etapa analizar.

Una vez que se determinaron y midieron las variables del proyecto, se procedió a realizar el análisis. Primeramente, se determinaron las variables a controlar (ver Tabla 6) con base en las mediciones que se llevaron a cabo en la fase anterior, considerando 2 principales:

- 1) La calidad de fundición (para la planta de CPP Pomona).
- 2) La eficiencia de los soldadores.

Tabla 6. Variables a controlar

Variable	Parámetro	Estrategia de mejora
Calidad de fundición	Cantidad y ubicación de los defectos	Retroalimentación a la planta de Pomona.
Defectos de re trabajo	Soldaduras aceptadas (reducción de ciclos de re trabajo)	Entrenamiento cruzado entre soldadores

3.3.1. Análisis de cantidad de soldaduras.

Para verificar si los defectos de fundición han disminuido, se ha realizado un análisis de varianza y como gráfico se eligió un gráfico de cajas (Ver Figura 26) de la cantidad de soldaduras (eje y) por etapa, que en este caso son las etapas de medir y analizar (eje x). Los resultados indican que la cantidad de soldaduras no ha cambiado de una fase a otra, lo que es lógico, ya que no se ha realizado ningún cambio desde que inició el proyecto.

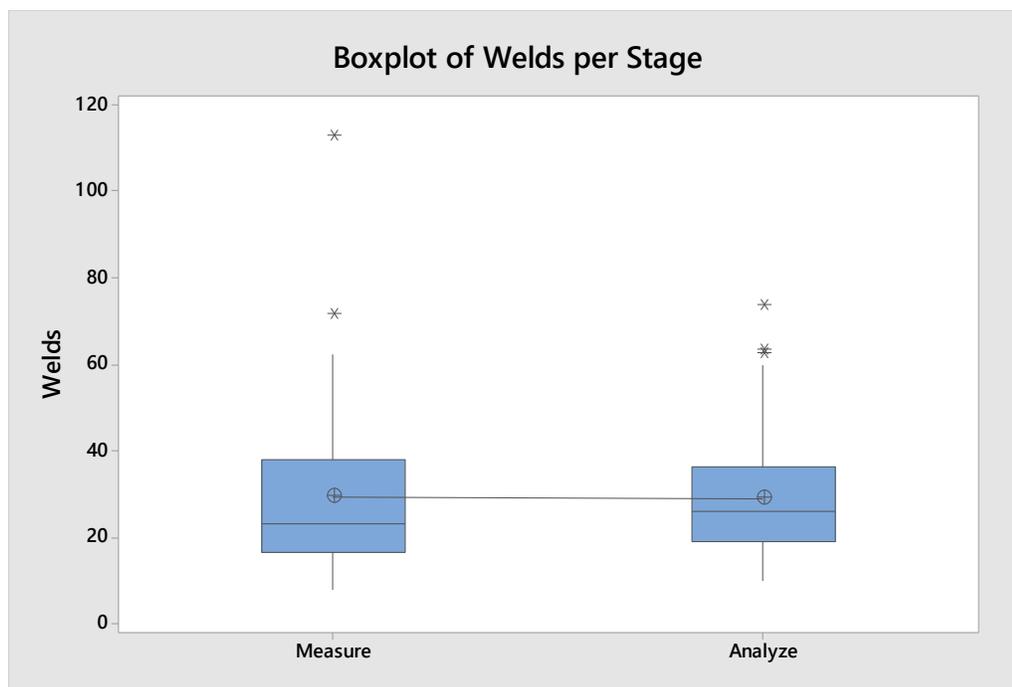


Figura 26. Diagrama de cajas de la prueba t de dos muestra de soldaduras por etapa de medir y analizar (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

En la Tabla 7, se muestra que la hipótesis nula indica que las medias son iguales y el valor P es de 0.920, por ello, la hipótesis nula se acepta con base en el valor P. Se concluye que la calidad de fundición sigue siendo la misma en los últimos meses, lo cual corresponde a la falta de implementación de mejoras que se aplicarán en las siguientes fases.

Tabla 7. Resultados de la prueba de hipótesis de la prueba t de dos muestras de soldaduras por etapa.

Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$
Valor P	0.920

3.3.1.1. Análisis de correlación defectos de fundición/re trabajo.

Se realizó un análisis de correlación (Ver Figura 27), para determinar si existe una correlación entre la cantidad de defectos de fundición y la cantidad de defectos de soldadura durante los meses de mayo y junio. La hipótesis nula indica que no existe una correlación lineal y la hipótesis alterna que existe una correlación lineal. Basado en el coeficiente de Pearson (0.560), se acepta la hipótesis alterna y se concluye que la correlación lineal es suficiente.

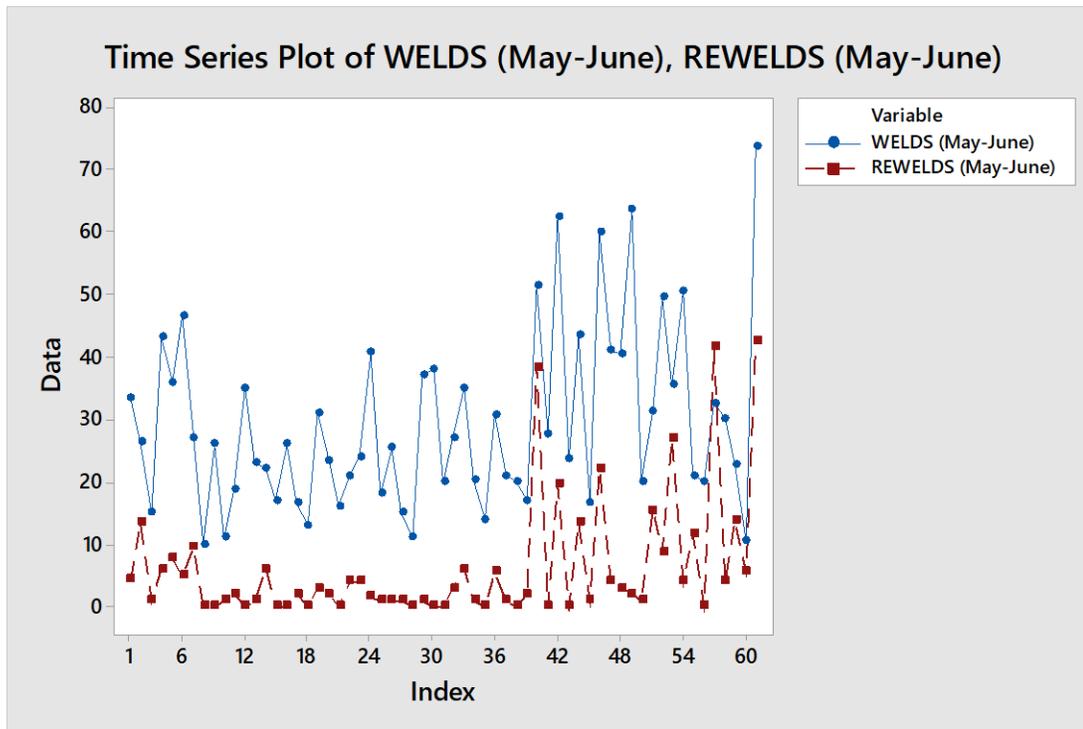


Figura 27. Análisis de correlación entre defectos de fundición y re trabajo (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

3.3.2. Análisis tiempo de ciclo.

En la Figura 28, se presenta una gráfica de cajas de un análisis de varianza de las horas por ciclo (eje y) entre las dos últimas fases que son medir y analizar (eje x). Se visualiza entre ambas cajas una pequeña diferencia en el diagrama, ya que en la fase de medir el tiempo de ciclo era de 30.76 horas y en la fase de analizar de 28.12 horas, lo que es una reducción de 2.64 horas por ciclo.

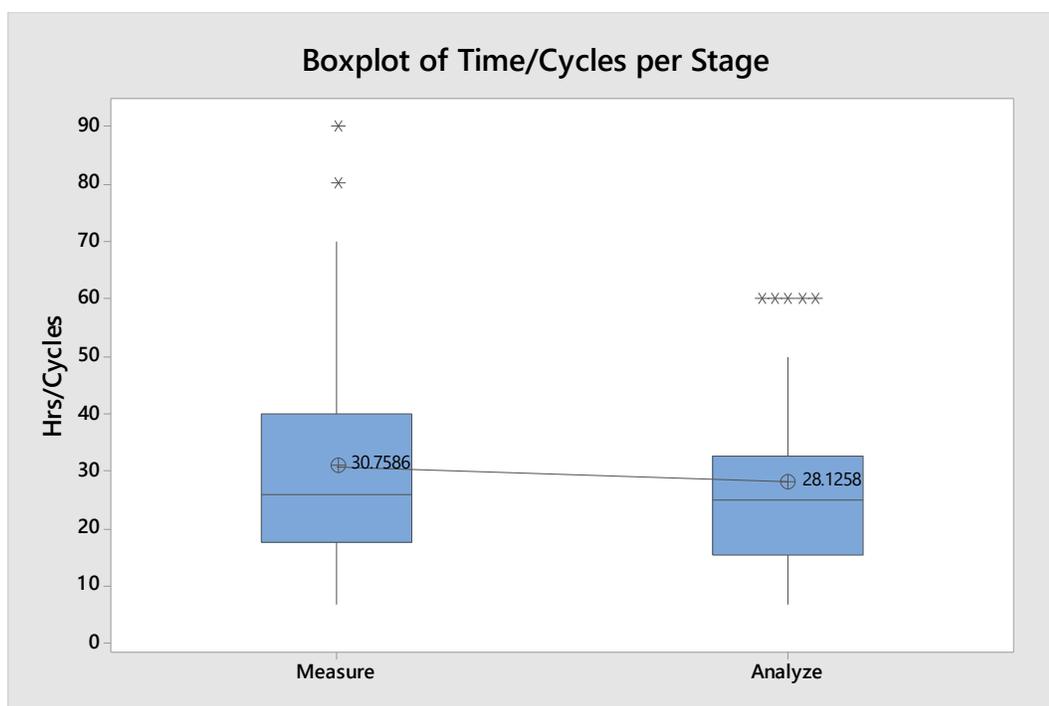


Figura 28. Diagrama de cajas del ANOVA de tiempo en horas por ciclo por etapa (Medir-Analizar) (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

Con referencia en la figura anterior y en la tabla 8, se verifica que en este caso el valor P es de 0.244, lo que indica que no existe una diferencia significativa, por lo que la hipótesis nula se acepta (ambas medias son iguales).

Tabla 8. Resultados del análisis de varianza de tiempo en horas por ciclo por etapa

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Factor	1	914.7	914.7	1.37	0.244
Error	144	96280.3	668.6		
Total	145	97195.1			

3.3.3. Prueba t de dos muestras (cantidad de defectos).

Por otra parte, se realizó una prueba t de dos muestras de cantidad de horas por pieza, donde se dividió el total de piezas según la cantidad de defectos, la primera muestra constaba de piezas que poseían de uno a veintidós defectos de fundición y la segunda muestra piezas con veintidós defectos o más. En la siguiente gráfica de cajas (ver Figura 29) se muestra el resultado, en el que se observa que la media de la primer muestra es de 25.52 defectos por pieza y que en la segunda muestra es de 34 defectos por pieza.

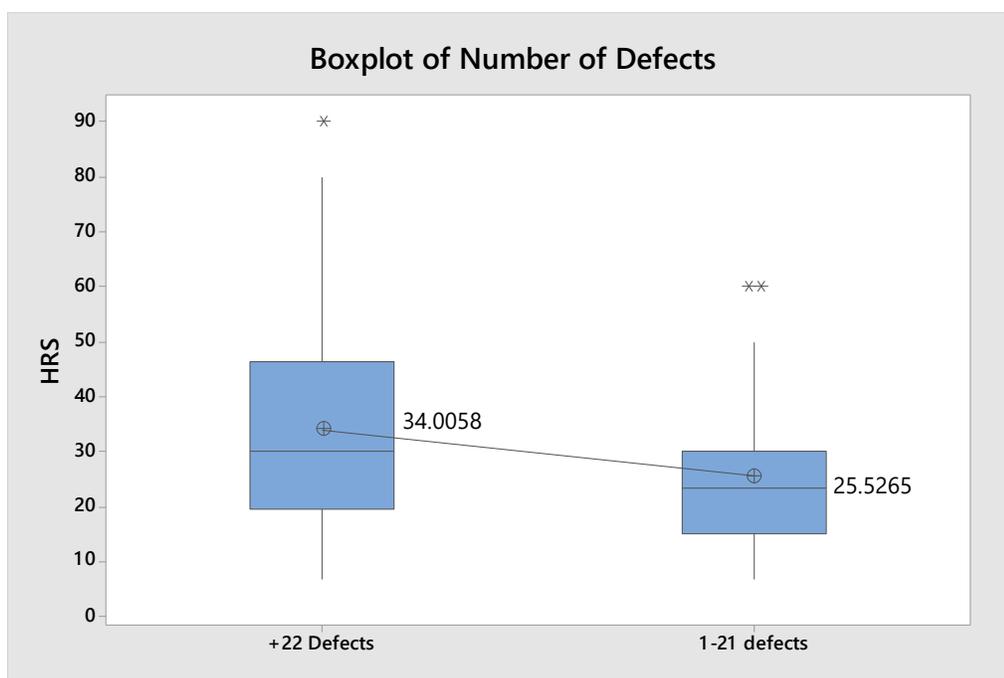


Figura 29. Diagrama de cajas de la prueba t de dos muestras del número de defectos (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

Con base en el gráfico anterior y la Tabla 9, esta última indicando que la hipótesis nula señala que las medias de ambas muestras son iguales y la hipótesis alterna que las medias son distintas, se declara que las medias son distintas, probando que se acepta la hipótesis alterna, pues tiene un valor P de 0.008. En otras palabras, se concluye que, mientras la pieza tenga más defectos, se requiere más tiempo para trabajarse.

Tabla 9. Resultados de la prueba de hipótesis de la prueba t de dos muestras del número de defectos

Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$
Valor P	0.008

3.3.4. Análisis de la pieza por área.

Durante la etapa de analizar, se dividió la pieza en áreas (Ver Figura 30) para determinar si había mayor cantidad de defectos en ciertas áreas. Al analizar los mapas de soldadura, se determinó la división en 7 áreas (nombradas de la 'A' a la 'G'), en las que se contabilizó la cantidad de defectos de fundición y de re trabajo en cada área para determinar en qué área surge una mayor cantidad de defectos. También se debe considerar que la cantidad de castings trabajados desde el inicio del proyecto hasta la etapa de analizar fue de 120 piezas.

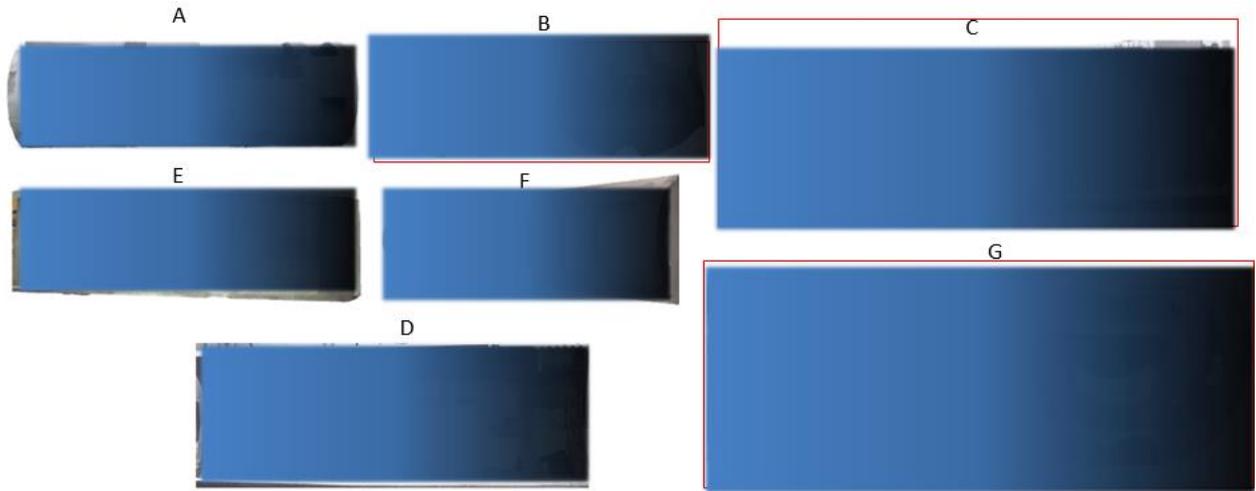


Figura 30. División de la pieza en áreas (CPP, 2019).

Primeramente, se realizó un diagrama de Pareto (Ver Figura 31) con la cantidad de defectos de fundición por área, donde las tres con más defectos resultaron ser el área G con 740 defectos, el área C con 690 defectos y el área F con 621. A continuación, se realizó otro diagrama de Pareto (Ver Figura 32), sin embargo, en este caso se muestra el tipo de defecto de fundición.

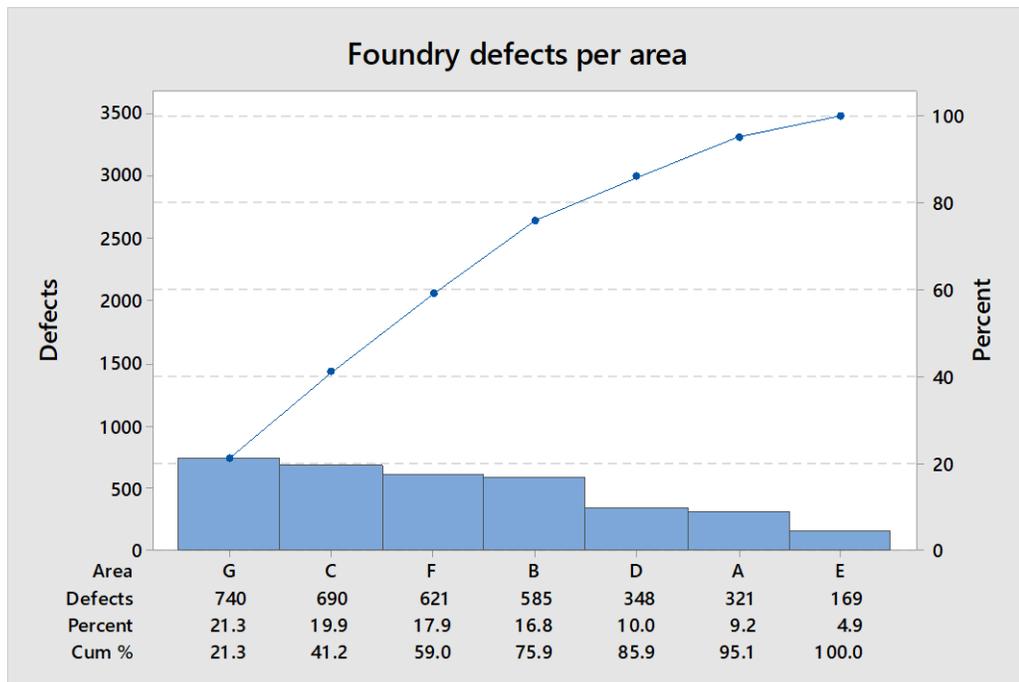


Figura 31. Diagrama de Pareto de los defectos de fundición por área (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

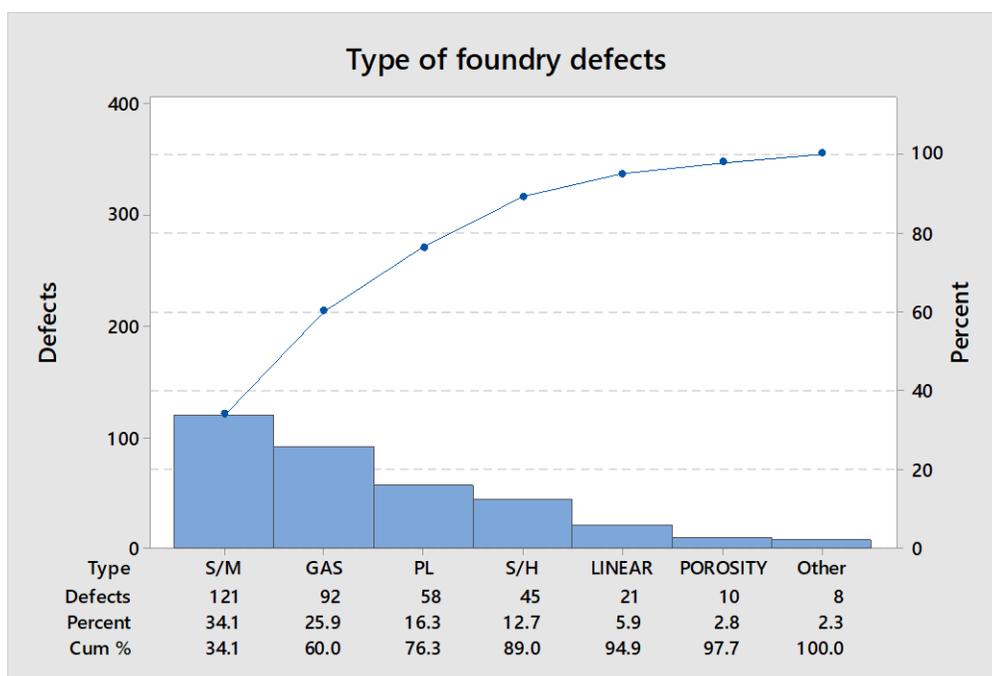


Figura 32. Diagrama de Pareto de los tipos de defectos de fundición (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

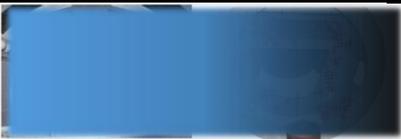
Como se puede observar, en la Tabla 10 se muestra cada tipo de defecto de fundición y los acrónimos correspondiente a cada uno. Con base en el diagrama anterior, el tipo de defecto de fundición con mayor recurrencia era el Sand mold (o inclusión) con 121 apariciones, el segundo el gas (92 veces) y el tercero PL (línea divisoria) con 58 apariciones.

Tabla 10. Acrónimos de los defectos de fundición

<i>S/M</i>	Mold Sand (inclusión)
<i>Gas</i>	Gas hole (agujero de gas)
<i>PL</i>	Parting line (línea divisoria)
<i>S/H</i>	Shrinkage (contracción)
<i>Linear</i>	Lineal (defecto lineal)
<i>Porosity</i>	Porosity (porosidad)
<i>LOM</i>	Falta de material (lack of material)

Prosiguiendo con el análisis, se realizó un diagrama en el cual se indicó con cruces rojas las zonas la ubicación de los defectos en cada área. En la Tabla 11 se muestran las tres áreas con mayor cantidad de defectos de fundición, en la segunda columna la imagen del área con los defectos señalados en rojo y en la tercera columna el promedio de defectos en esa área.

Tabla 11. Promedio de defectos por área

Área	Figura	Promedio de defectos
G		5.35
C		5.0
F		4.47

De acuerdo al análisis anteriormente descrito, se realizó el mismo análisis para los defectos de soldadura con un ANOVA: se realizaron dos diagramas de Pareto, uno de la cantidad de defectos de re trabajo por área (Ver Figura 33), en el que se muestra que el área G (124 defectos) es quien más contribuye a la cantidad de defectos de re trabajo, seguido del área A (95 defectos) y el área F (65 defectos). El segundo diagrama de Pareto es acerca del tipo de defecto de re trabajo (Ver Figura 34).

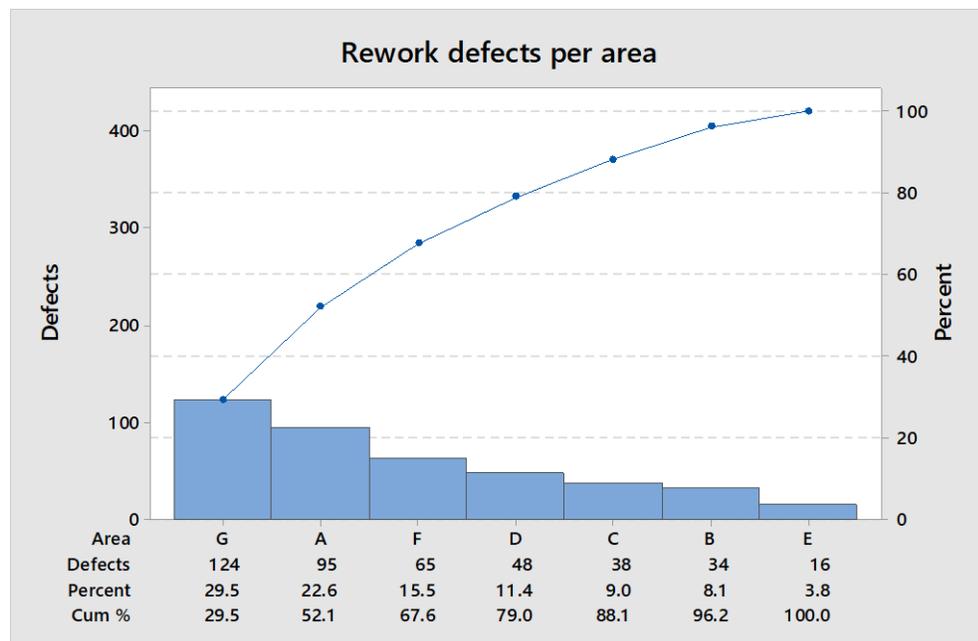


Figura 33. Diagrama de Pareto de los defectos de re trabajo por área (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

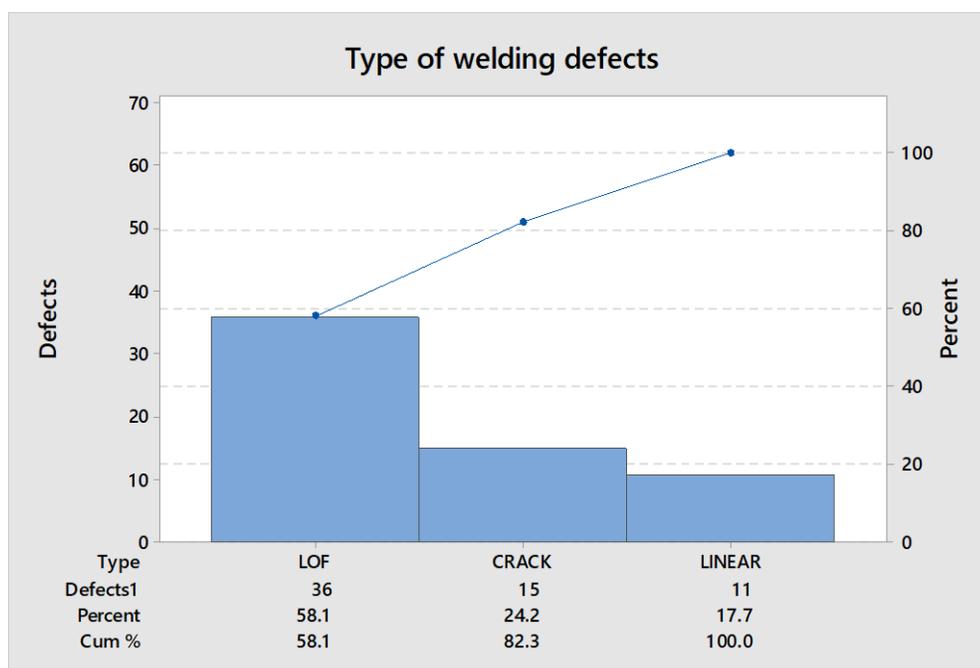


Figura 34. Diagrama de pareto de los tipos de defectos de re trabajo (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

En la Tabla 12 se presentan los acrónimos de los tipos de defectos de re trabajo y su significado, en este caso son tres tipos: falta de fusión, superficie agrietada y defecto lineal. Por último, en la Tabla 13 se muestran las tres áreas con mayor cantidad de defectos de re trabajo, siendo las áreas G (2.47 defectos de re trabajo en promedio), A (2.38 defectos de re trabajo en promedio) y F (2.22 defectos de re trabajo en promedio) las áreas que tienen una mayor concentración de defectos como se señala con cruces rojas en los diagramas correspondientes.

Tabla 12. Acrónimos de los defectos de re trabajo

<i>LOF</i>	Lack of fusion (falta de fusión)
<i>CRACK</i>	Cracked surface (superficie agrietada)
<i>LINEAR</i>	Lineal (defecto lineal)

Tabla 13. Promedio de defectos por área

Área	Figura	Promedio de defectos
G		2.47
A		2.38
F		2.22

3.3.5. Análisis de la eficiencia de los soldadores.

Luego, se realizó un análisis de varianza (Ver Figura 35) acerca de la eficiencia de todos los soldadores de aluminio (la pieza en cuestión y otras) donde se consideró la eficiencia de los soldadores como el total de soldaduras aceptadas/total de soldaduras. El resultado fue que todos obtuvieron una eficiencia mayor al 90% y un valor P de 0.526 (ver Tabla 14), lo que indica que la hipótesis nula (que las medias son significativamente distintas) se acepta.

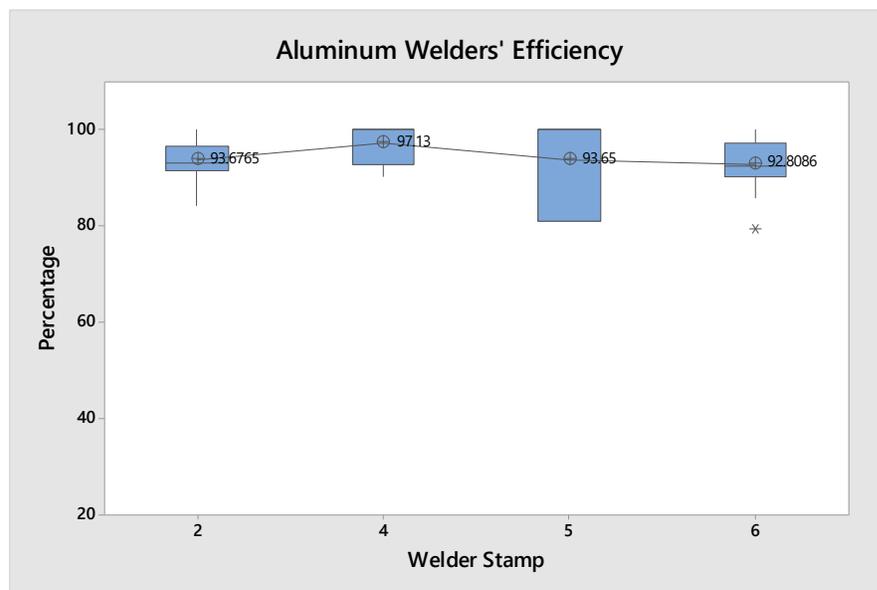


Figura 35. Diagrama de cajas del ANOVA de la eficiencia de los soldadores de aluminio (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

Tabla 14. Resultados del análisis de varianza de la eficiencia de los soldadores de aluminio.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Factor	3	69.53	23.18	0.76	0.526
Error	35	1071.13	30.60		
Total	38	1140.66			

3.3.6. Análisis de capacidad etapa de analizar.

Se realizó el mismo procedimiento que en la etapa anterior, la única diferencia fueron los datos que se utilizaron (Ver Figura 36). Después se hizo el gráfico I-MR para obtener el término a corto plazo, por lo que se eligieron los datos que se encuentran entre las observaciones 113 y 127 debido a que visualmente es la muestra que se encuentra más controlado (Ver Figura 37).

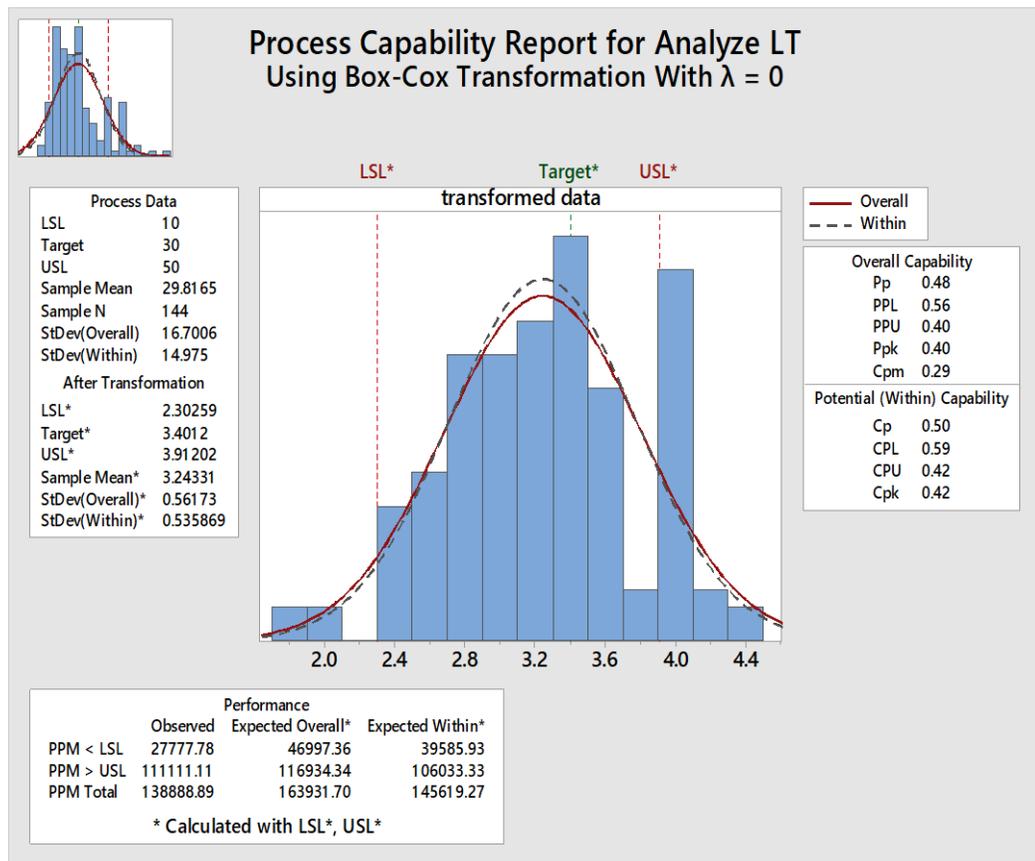


Figura 36. Capacidad del proceso a largo plazo en la etapa de analizar (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

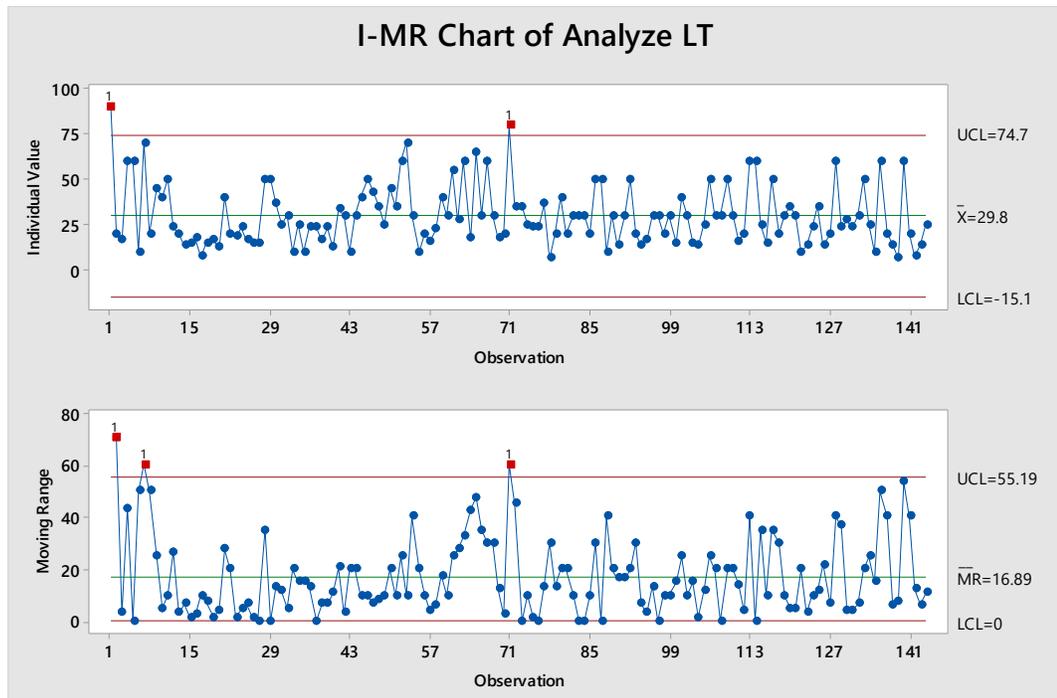


Figura 37. Gráfico I-MR en la etapa de analizar (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

A continuación, se llevó a cabo el gráfico a corto plazo (Ver Figura 38) con los datos seleccionados con base en el I-MR y de esta manera se encontraron los resultados, obteniéndose 138,888.89 de DPMO. Un Z a corto plazo (Z_{st}) de 1.52 y un Z a largo plazo (Z_{lt}) de 1.20. Al restar el Z_{lt} al Z_{st} , lo que resulta en 0.32. En la Figura 39 se muestra el gráfico 'Control contra Tecnología', en el que la posición de la estrella es el cuadrante inferior izquierdo, que indica "buen control pero tecnología pobre", sin embargo, se ha mejorado la posición debido a que la estrella se está moviendo hacia la derecha.

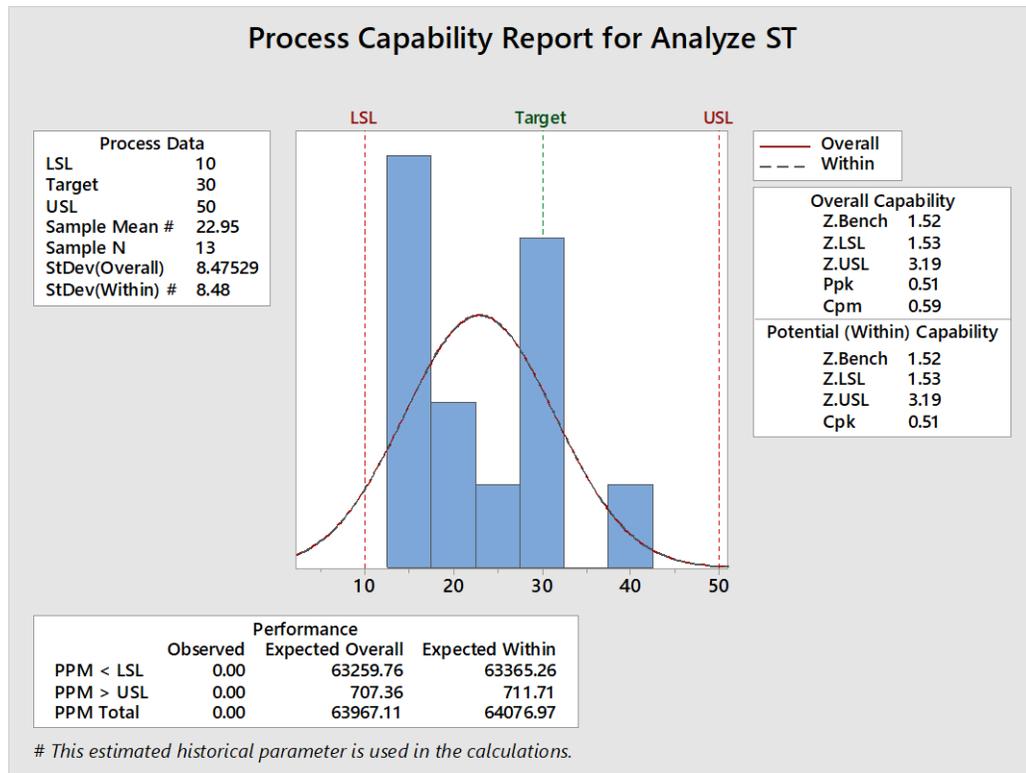


Figura 38. Análisis de capacidad a corto plazo en la etapa de analizar (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

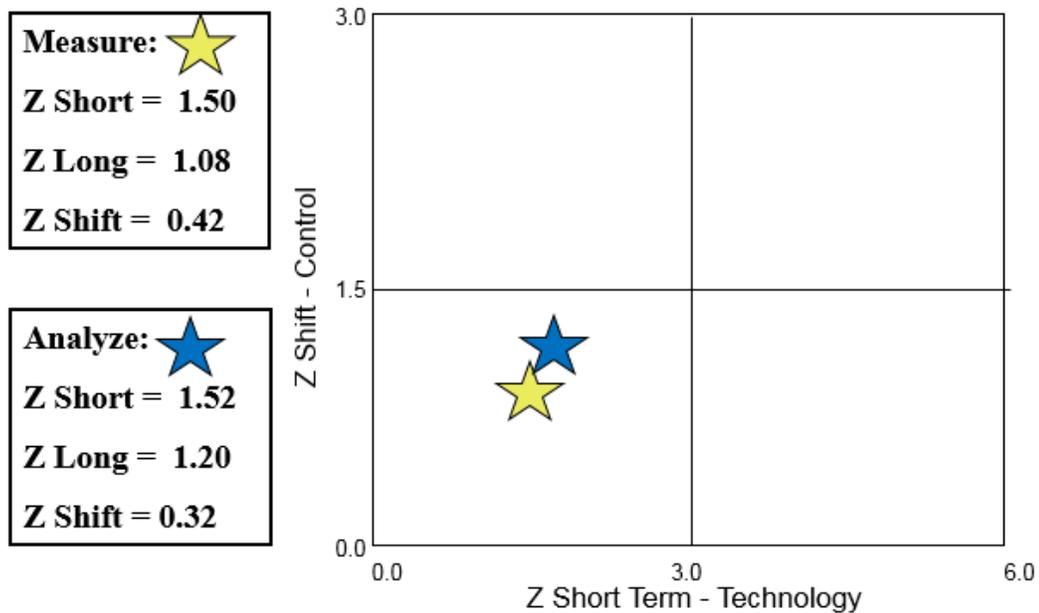


Figura 39. Gráfico de control vs tecnología del proceso en la etapa de analizar (CPP, 2019).

Por último, con el dato anteriormente obtenido se realiza el gráfico de reducción de DPMO que se presenta en la Figura 40 y se observa el contraste entre las primeras dos fases (definir y medir) y la tercera

(analizar), de la metodología DMAIC, donde se muestra una reducción de DPMO aproximadamente del 15% (de 162,500 a 138,888.89, aproximadamente).

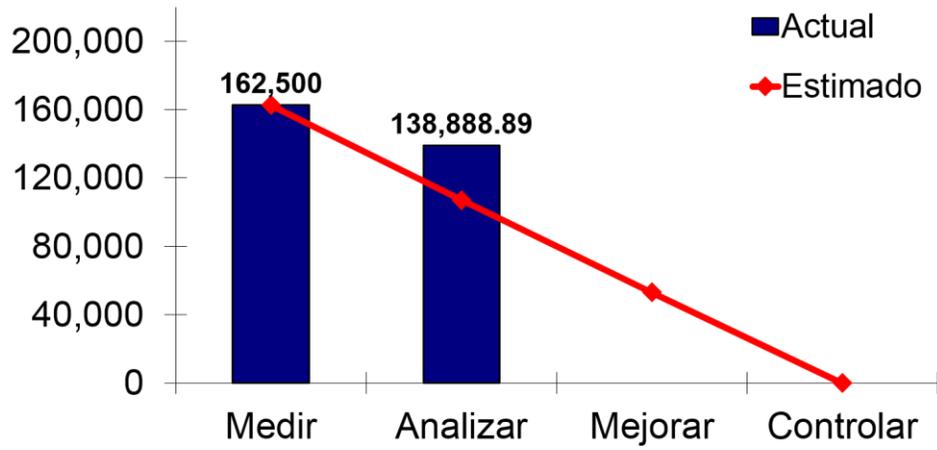


Figura 40. Reducción de Defectos Por Millón de Oportunidades por fase en la etapa de analizar (CPP, 2019).

Capítulo 4. Resultados y Discusión

4.1. Etapa mejorar

Esta etapa inicia con la planificación de las mejoras que se aplicaron. Primero, se encontraron las variables a controlar en la fase anterior (Ver Tabla 15) donde se mencionan las dos variables encontradas: 1) la calidad de fundición (que depende de la cantidad y ubicación de los defectos) y 2) la eficiencia de los soldadores (la cantidad de ciclos y soldaduras aceptadas).

Tabla 15. Variables a controlar

Variable	Parámetro	Estrategia de mejora
Calidad de fundición	Cantidad y ubicación de los defectos	Retroalimentación a la planta de Pomona.
Eficiencia de los soldadores	Soldaduras aceptadas (reducción de ciclos de re trabajo)	Entrenamiento cruzado entre soldadores

En segunda instancia, se realiza el sistema de planeación que se refiere a cómo se van a controlar las variables y el último punto es la mejora del flujo del proceso (Ver Figura 41). Con lo anterior, se eliminan los residuos (en este caso, el tiempo y cantidad de ciclos de re trabajo).

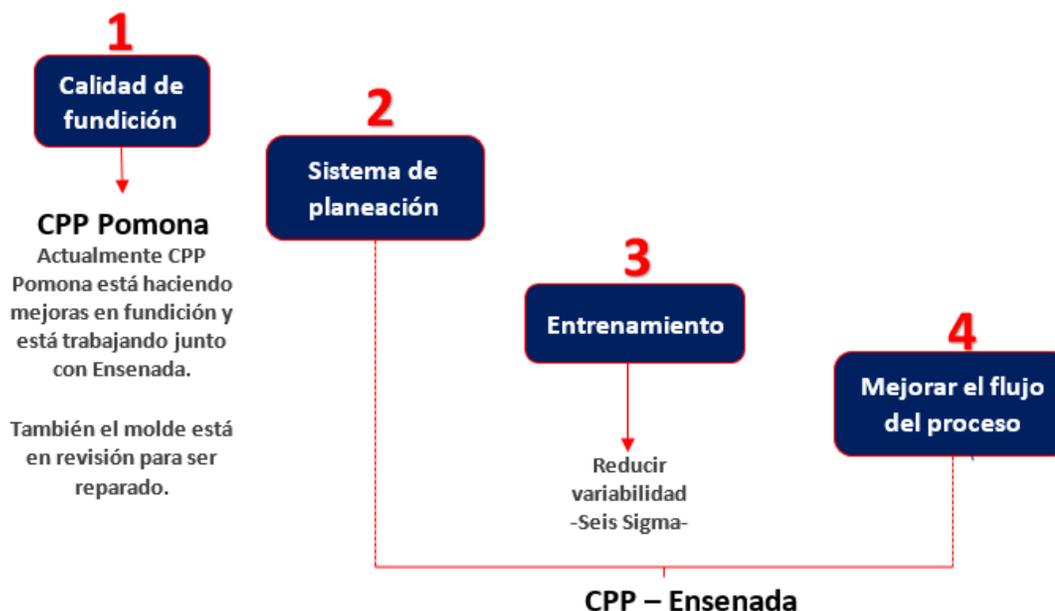


Figura 41. Clasificación de causas principales (CPP, 2019).

4.1.1. Calidad de fundición.

Como resultado de la retroalimentación que se le ha dado a la planta de CPP Pomona a lo largo del proyecto, durante esta fase la planta hermana trabajó en la revisión del molde para ser reparado. Por ello, durante la fase de mejora hubo una baja en el movimiento de piezas, pero esto fue oportuno para aplicar las mejoras que resultaron del análisis anteriormente realizado y las mismas se presentan a continuación.

4.1.1.1. Resultados de las acciones de mejora.

CPP Ensenada y CPP Pomona siguen trabajando en conjunto, retroalimentando la primera a la segunda acerca de la calidad de fundición, que se refiere a la cantidad de defectos de fundición y también a la ubicación de los mismos, este último punto es muy relevante debido a que le muestra a la planta de Pomona que partes del molde tienen mayor impacto en la pieza final. En la Figura 42 se observa un diagrama de cajas donde se presentan en el eje 'y' la cantidad de defectos de fundición y en el eje 'x' el mes en cuestión. Esta gráfica es parte del reporte a la planta de Pomona sobre los defectos de fundición.

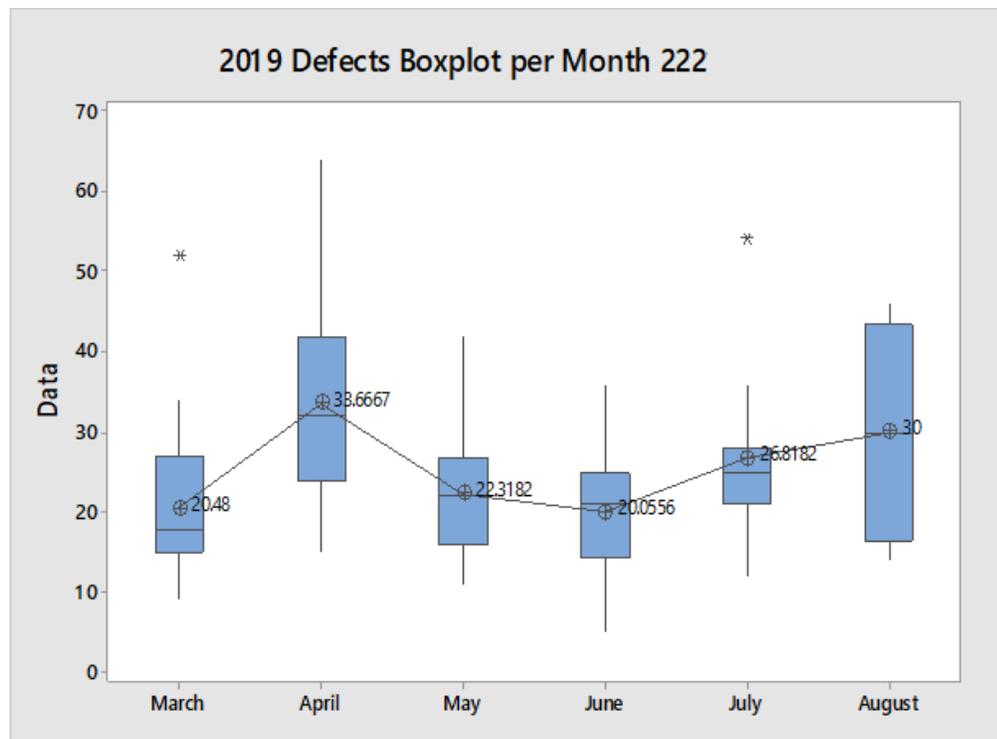


Figura 42. Diagrama de cajas cantidad de defectos de fundición por mes (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

4.1.2. Sistema de planificación.

Se procedió a realizar el plan de entrenamiento, primeramente se planificó el entrenamiento cruzado entre soldadores, que implica recabar las mejores prácticas de cada soldador que se añadieron a la “Técnica de soldadura” (ver Anexo 2) en un apartado al final del documento para hacerla más robusta. En la Figura 43 se muestra el diagrama del plan de entrenamiento, donde se muestran las actividades a llevar a cabo en cada proceso (soldadura y digo out), además del tiempo que durará cada entrenamiento.



Figura 43. Diagrama del plan de entrenamiento

Al realizar el análisis del proceso, se encontró que la sección de ‘dig out’ (corte y biselado) no se encontraba estandarizada, por lo que se llevó a cabo la realización de la Norma Operativa para ‘dig out’, donde se incluyó el ángulo del bisel así como la forma y las herramientas sugeridas para su correcta realización. Del mismo modo, se tiene en cuenta mandar a certificar a otros dos soldadores para que puedan soldar la pieza de estudio de esta tesis, como plan de contingencia. En el Anexo 3 se muestra el documento oficial denominado como “Norma Operacional 222xxxxx dig out”. En el Anexo 4 y 5 se muestra el documento del entrenamiento de los operadores en ambos documentos técnica de soldadura y norma operacional de digo out).

4.1.3. Resultados del entrenamiento.

Dentro de los resultados del entrenamiento, se presentan lo que se logró con respecto a la cantidad de re soldaduras o defectos de re trabajo, la eficiencia de los soldadores, duración de ciclo de re trabajo, cantidad de ciclo de re trabajo, representándolo con análisis de varianza en cada una de las categorías

mencionadas. Es relevante recalcar que es la medición inmediata después de la aplicación del entrenamiento.

4.1.3.1. Cantidad de re soldaduras.

Como resultado de las mejoras implementadas, la cantidad de “re soldaduras” bajó considerablemente. Se realizó un análisis de varianza con los datos de soldaduras después del primer ciclo antes y después de la mejora y se obtuvo un diagrama de cajas (Ver Figura 44) que muestra la diferencia entre las medias, 23.28 re soldaduras antes y 15.88 en el momento de la medición.

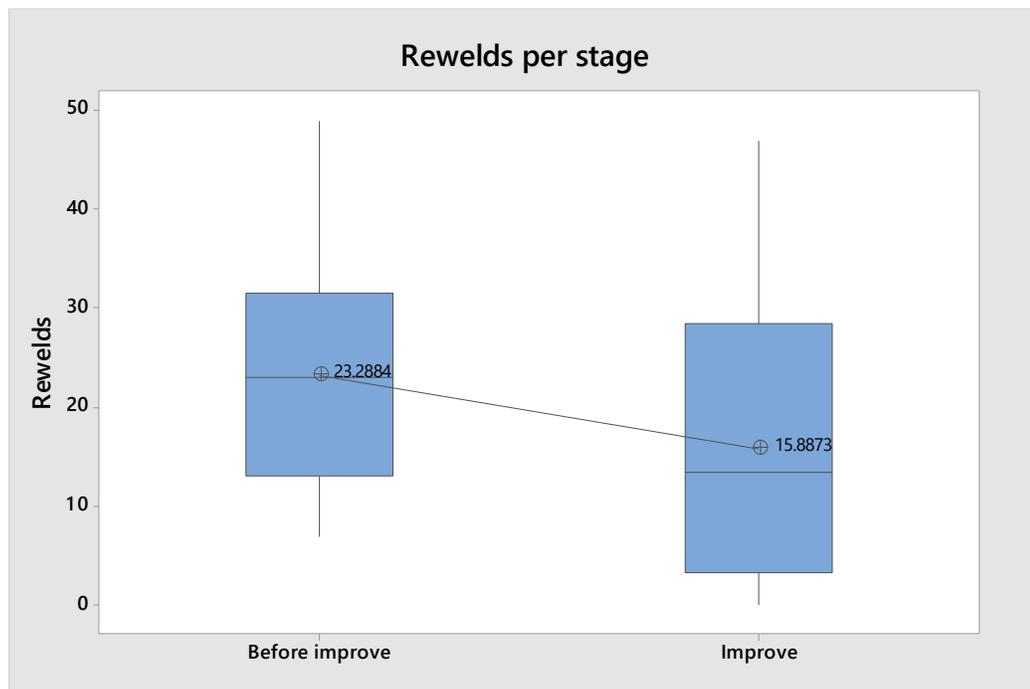


Figura 44. Diagrama de cajas de la prueba t de dos muestras de re soldaduras por etapa antes y después de la etapa de mejora (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

Después, al observar el resultado en la Tabla 16, se señala que la diferencia de medias es significativa, ya que la hipótesis nula indica que las medias son iguales y la alterna que son diferentes. Basando el resultado en el valor P, que en este caso es de 0.004, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna, pues el valor P es menor a 0.05. Lo anterior se puede resumir en que existe una diferencia antes y después de la mejora y que se ha reducido lo suficiente para ser significativa.

Tabla 16. Resultado de la prueba de hipótesis de la prueba t de dos muestras de re soldadura por etapa.

Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$
Valor P	0.004

4.1.3.2. Eficiencia de los soldadores.

De igual forma, se llevó a cabo un análisis de varianza correspondiente a la eficiencia de los soldadores (solamente los dos soldadores que están certificados para trabajar la pieza con número de parte 222xxxx), en el diagrama de cajas (Ver Figura 45) se muestra un leve incremento en el primer ciclo de trabajo, de la etapa de medir con 88.5% de eficiencia, en la siguiente etapa se mantuvo el mismo porcentaje de eficiencia y en la fase de mejora incrementó hasta casi el 90%.

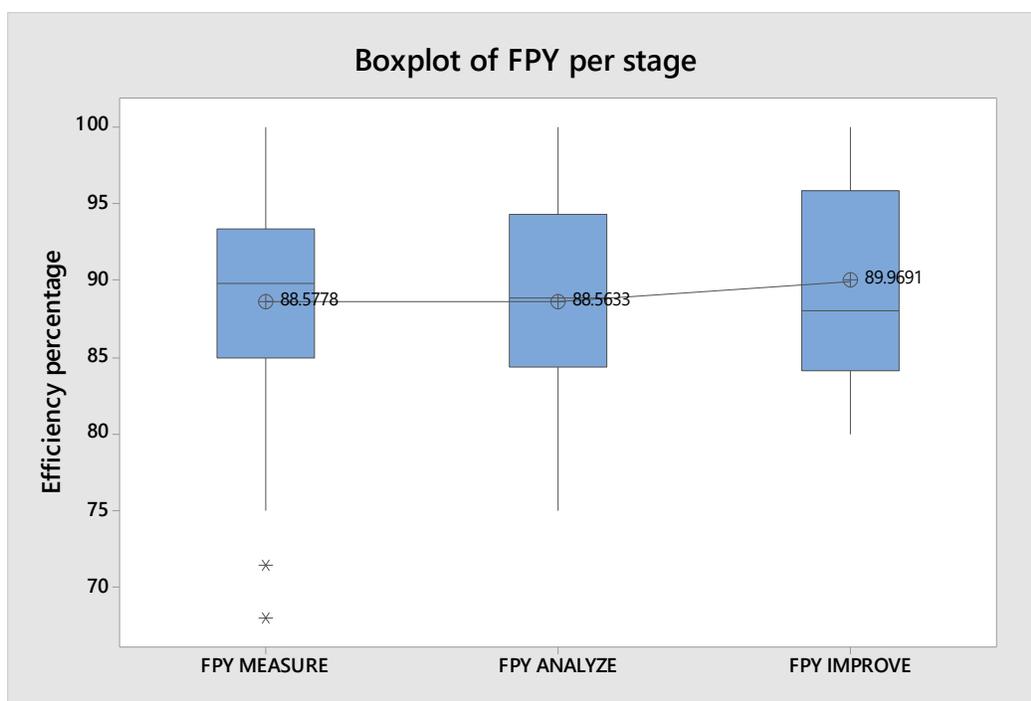


Figura 45. Diagrama de cajas del ANOVA de 'First Pass Yield' del porcentaje de la eficiencia de los soldadores por etapa medir-analizar-mejorar (CPP, 2019). Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

Aun cuando en el gráfico anterior muestra el aumento del porcentaje de eficiencia, la diferencia no es significativa ya que con base en la Tabla 17, el valor P es de 0.499, al tener un valor P tan alto, se

concluye la leve diferencia de medias no es suficiente para notar una diferencia, aunque, el porcentaje de eficiencia ya era alto.

Tabla 17. Resultado del análisis de varianza del FPY del porcentaje de la eficiencia de los soldadores por etapa.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Semana	2	63.74	31.87	0.70	0.499
Error	155	7081.81	45.69		
Total	157	7145.56			

4.1.3.3. Duración ciclo de re trabajo.

Al seguir con los análisis de varianza, en el caso del tiempo de ciclo (en horas), se observa en la Figura 46 la diferencia entre las etapas de medir, analizar y mejorar, en la primera se tiene una media de 30.75 horas por ciclo, en la segunda de 28.12 horas por ciclo y en la última un promedio de 26.40 horas por ciclo, haciendo notar como ha disminuido la media (aproximadamente 14.16%) por cada etapa del proyecto.

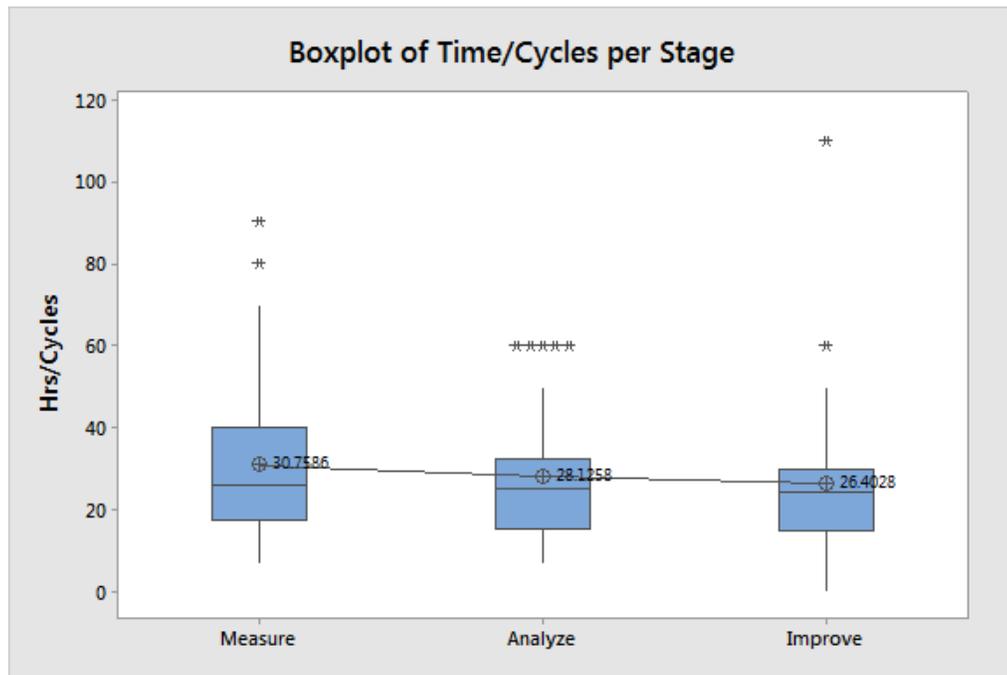


Figura 46. Diagrama de cajas del ANOVA de tiempo de ciclo por etapa medir-analizar-mejorar (CPP, 2019).

Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

Siguiendo con el mismo ANOVA, el resultado que se observa en la Tabla 18 muestra que no hay una diferencia significativa entre las medias de cada etapa, ya que el valor P es de 0.386, o sea, demasiado

alto para ser significativo y demostrar la disminución, aunque, evidentemente, ha decrecido en aproximadamente 4 horas por ciclo.

Tabla 18. Resultado del análisis de varianza de tiempo de ciclo por etapa

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Semana	2	565.2	282.6	0.96	0.499
Error	178	52616.3	295.6		
Total	180	53181.5			

4.1.3.4. Cantidad de ciclos.

En el caso de cantidad de ciclos, se realizó otro análisis de varianza desde la etapa de medir, pasando por la fase de analizar, hasta la etapa de mejorar, teniendo, por etapa 2.4, 2.3 y 2.08 ciclos, respectivamente. Al observar el gráfico de cajas (Ver Figura 47) que se muestra a continuación, se señala la evidente disminución de la cantidad de ciclos en un 14.86 por ciento aproximadamente.

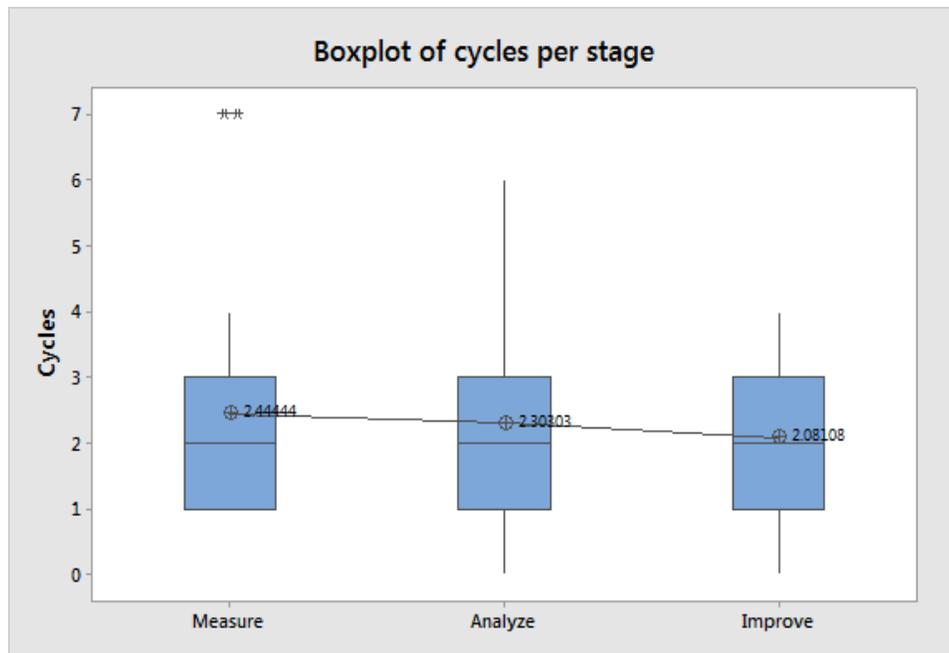


Figura 47. Diagrama de cajas del ANOVA de la cantidad de ciclos por etapa medir-analizar-mejorar (CPP, 2019).

Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

Continuando con el ANOVA anterior, el resultado que arroja para el valor P es de 0.503, lo que muestra que la disminución todavía no es significativa (Ver Tabla 19), puesto que el valor P es muy grande comparado con el valor significativo de 0.005.

Tabla 19. Resultado del análisis de varianza de la cantidad de ciclos por etapa

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Semana	2	2.473	1.236	0.69	0.503
Error	136	243.585	1.791		
Total	138	246.058			

4.1.4. Mejorar el flujo del proceso.

Para la mejora del flujo del proceso se tomaron en cuenta las estrategias que se aplicaron anteriormente y como el resultado fue favorable, se establecieron como sistema de control el monitoreo de las actividades que se estandarizaron (corte y biselado) así como el trabajo en conjunto con el departamento de calidad. Además, como sistema de validación se muestran en la última columna de la Tabla 20.

Tabla 20. Soluciones del proceso y estrategias de control

	Causa de la variación	Puntos clave de los procesos corregidos	Sistema de control	Validación
1	Defectos de fundición	-Actualmente el molde está en revisión para ser reparado	-Procedimiento y hojas de registro -Retroalimentación con el cliente sobre la calidad de fundición	-Mejora de fundición -Retroalimentación semanal
2	Defectos de soldadura	-Entrenamiento cruzado de los soldadores -Actualización de la técnica de soldadura que incluye recomendaciones	-Procedimiento y hojas de registro -Trabajo estandarizado -Seguir la técnica de soldadura	-Plan de entrenamiento -Monitoreo semanal de re trabajo
3	Tiempo de re trabajo y cantidad de ciclos	-Norma operacional de “dig out” para el tomahawk -Plan de capacitación para tres nuevos soldadores para el *****.	-Procedimiento y hojas de registro -Trabajo estandarizado -Retroalimentación del Departamento de Calidad.	-Entrenamiento

En el punto número 1 de la Tabla 20, la causa de variación son los defectos de fundición. Con los castings que se trabajaron, 27 desde el 22 de junio de 2019 con 484 defectos, se realiza el análisis de cantidad y ubicación de defectos, respectivo a la etapa de mejorar.

4.1.4.1. Resultados reportes de la calidad del casting.

Para seguir con lo solicitado por la planta de Pomona y realizar el informe de las zonas que más contribuyen a los defectos de fundición (ver Tabla 21), se presenta que el área F contiene el 23.1% de los defectos de fundición, el área B con el 21.7% y el área G con el 17.6% (Ver Figura 48). El resultado de la retroalimentación en las primeras fases impactó al top 3 de las áreas señaladas en la fase de analizar: el área G bajó del primer lugar al tercero, el área C del segundo lugar bajó al quinto lugar y el área F del tercer lugar subió al primero. La conclusión en este punto indica que atacaron las zonas G y C pero se descuidó la zona F.

Tabla 21. Concentración de defectos de fundición por área en la etapa de mejora

Área	Figura	Porcentaje de defectos
F		23.1%
B		21.7%
G		17.6%

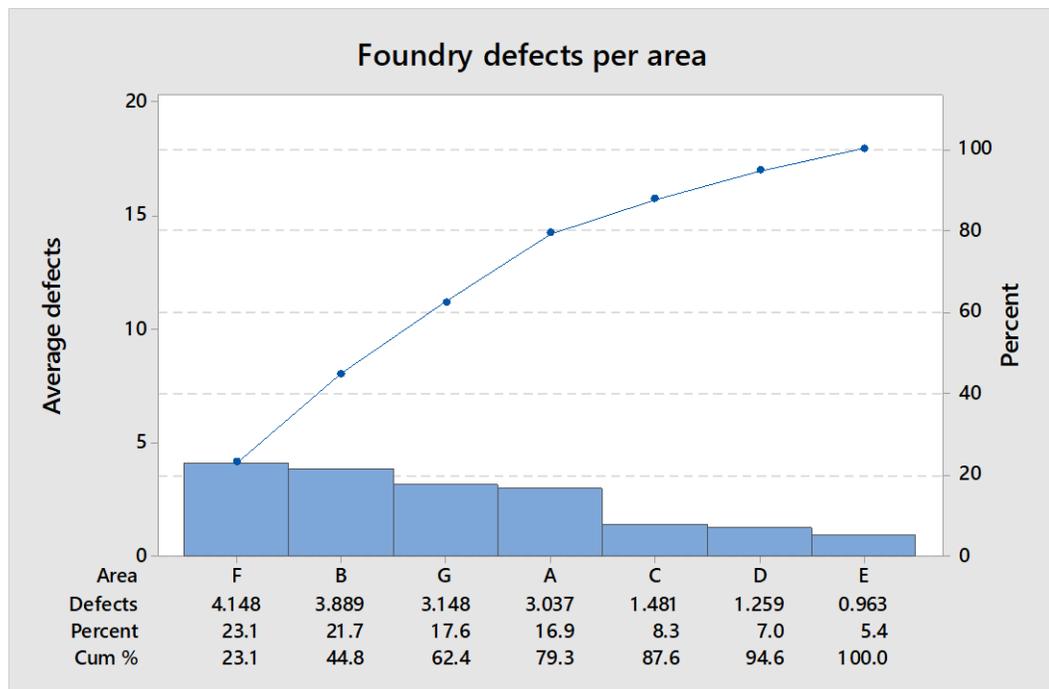


Figura 48. Diagrama de Pareto de defectos de fundición por área en etapa de mejora Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

En la Figura 49 se muestra el promedio de cada tipo de defecto en los 27 castings que se trabajaron en la fase de mejorar, siguiendo en primer lugar el S/M (inclusión), en segundo lugar se encontraba en gas (ahora en cuarto lugar) pero su puesto lo tomó el tipo de defecto S/H (contracción) y por último en tercer lugar se encontraba el PL (línea divisoria) ahora en quinto puesto, en contraste al tercer lugar actual que es LOM (falta de material).

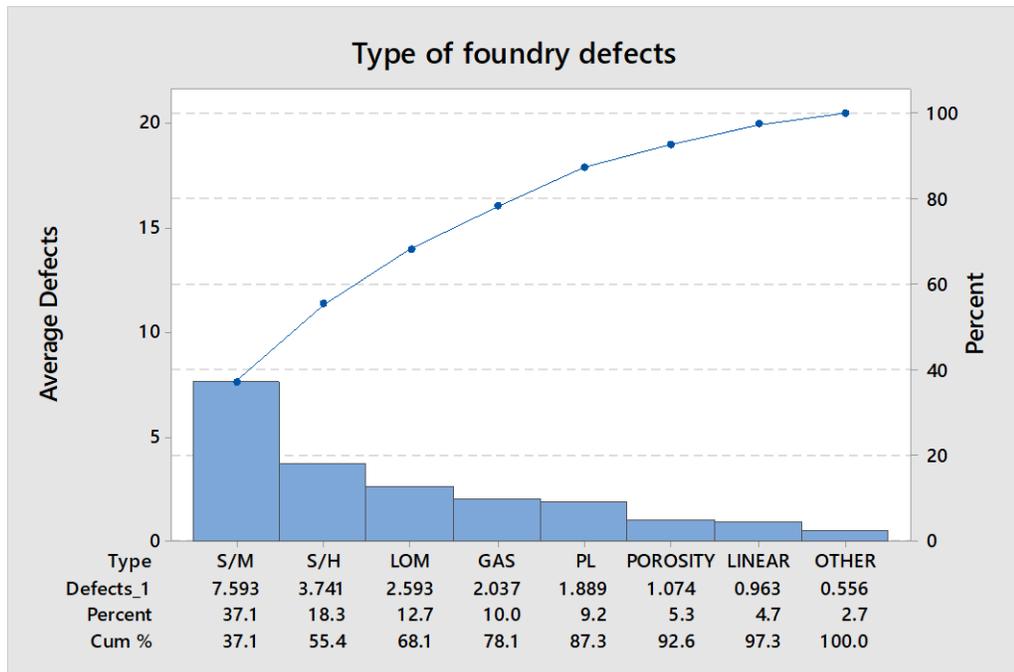


Figura 49. Diagrama de pareto de los tipos de defectos de fundición por área en etapa de mejora (CPP, 2019)
Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

4.1.5. Análisis de capacidad fase de mejorar.

Como en cada fase, se realizó el análisis de capacidad para observar el cambio en los DPMO, se utilizó el mismo procedimiento que antes (Ver Figura 50). Llegando a este punto, se realizó el gráfico I-MR para obtener el término a corto plazo, por lo que se eligieron los datos que se encuentran entre las observaciones 73 y 109 debido a que visualmente es la muestra que se encuentra más controlado (Ver Figura 51).

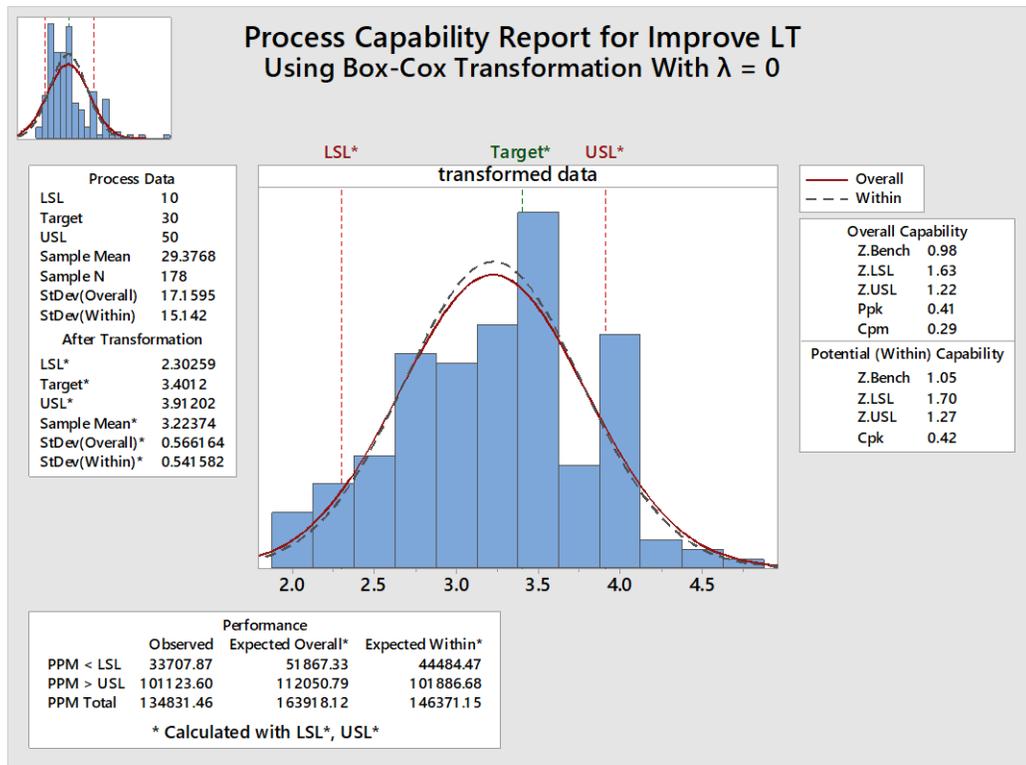


Figura 50. Capacidad del proceso a largo plazo en la etapa de mejorar (CPP, 2019) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

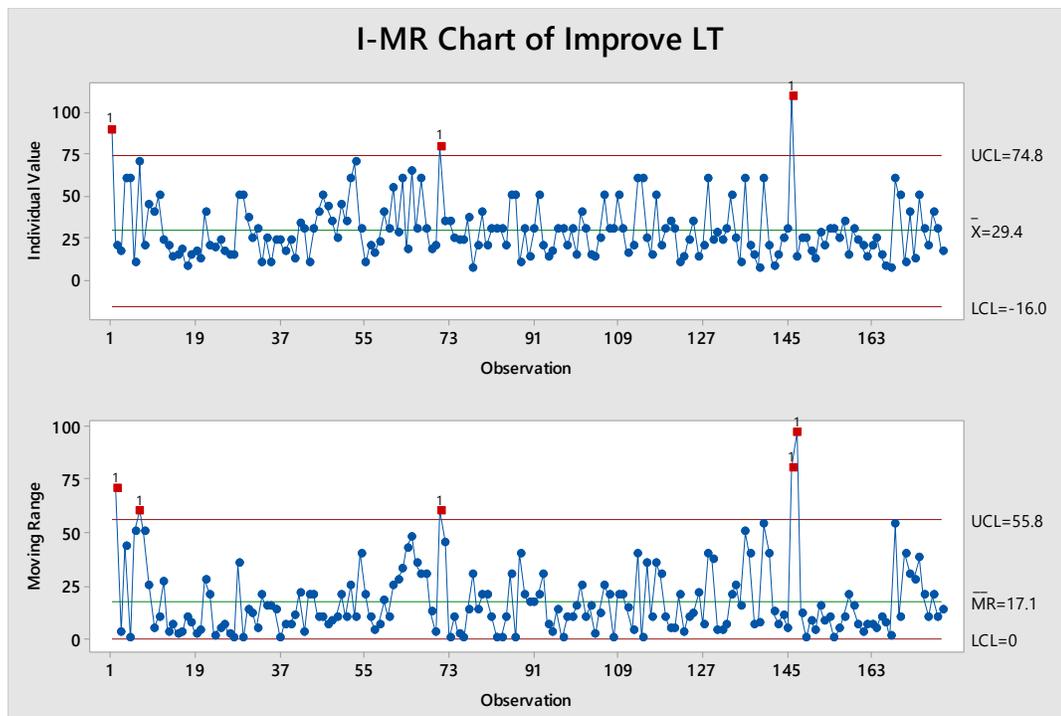


Figura 51. Gráfico I-MR en la etapa de mejorar (CPP, 2019) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

Enseguida, se realizó la gráfica a corto plazo (Ver Figura 52) con los datos seleccionados basado en el I-MR, encontrando como resultado los DPMO de 134,831.46 donde se observa el contrasta entre las cuatro fases, con una reducción de DPMO aproximadamente del 17.2% hasta la fase de mejorar (Ver Figura 53).

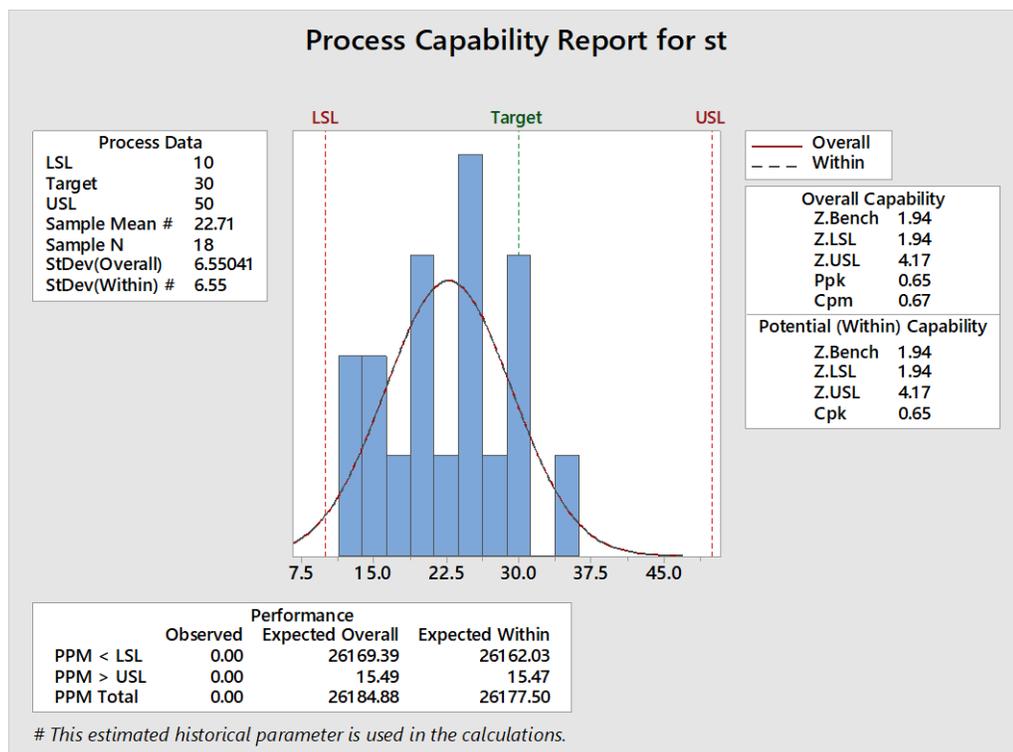


Figura 52. Análisis de capacidad a corto plazo en la etapa de mejorar (CPP, 2019) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

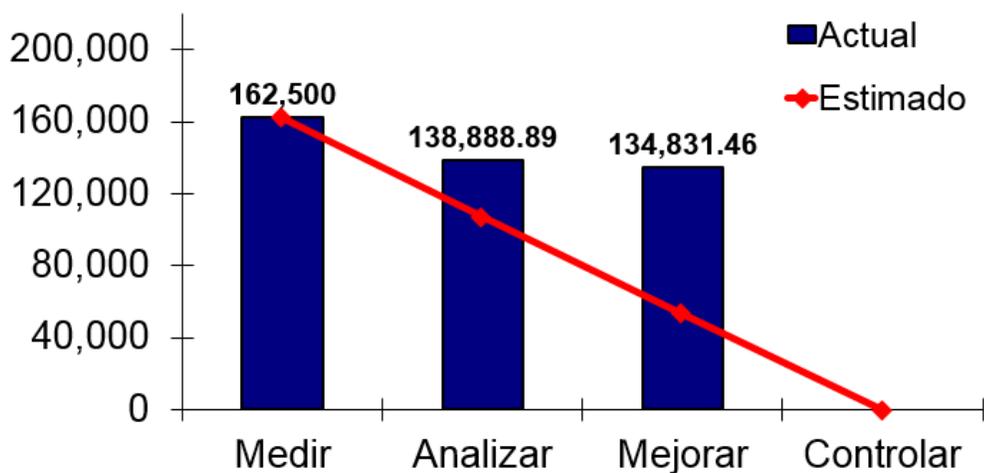


Figura 53. Reducción de Defectos Por Millón de Oportunidades por fase en la etapa de mejorar (CPP, 2019) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno.

En este punto, se obtiene un Z a corto plazo (Zst) de 1.94 y un Z a largo plazo (Zlt) de 1.23. Al restar el Zlt al Zst, lo que resulta en 0.71. En la Figura 54 se muestra el gráfico ‘Control contra Tecnología’, en el que la posición de la estrella es el cuadrante inferior izquierdo, que indica “buen control pero tecnología pobre”, sin embargo, se ha mejorado la posición debido a que la estrella se está moviendo hacia la derecha.

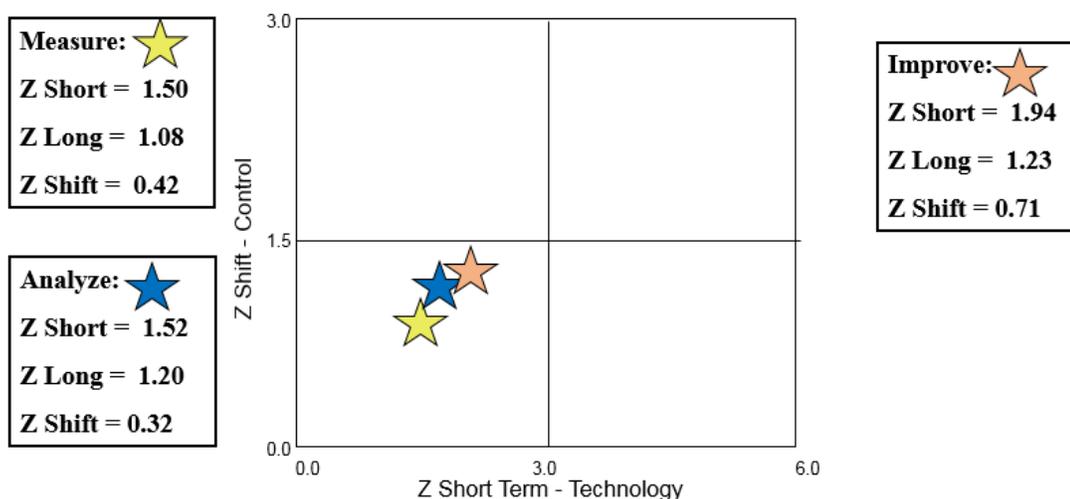


Figura 54. Gráfico de control vs tecnología del proceso en la etapa de mejorar (CPP, 2019) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno.

3.4. Etapa controlar

Para concluir con la metodología DMAIC, se llevó a cabo la última fase, que es la fase de “controlar”. Para continuar con lo aplicado en la etapa anterior y verificar los resultados de las mejoras implementadas, se realizaron los gráficos de control necesarios para cada variable, así como los análisis finales de: defectos de fundición, financiero, entre otros.

3.4.1. Análisis financiero

En este punto del proyecto, es necesario recordar que el objetivo era disminuir al menos un 20% del costo de re trabajo. A causa de las fases anteriores, el resultado hasta la fase de controlar ha sido el ahorro de \$13,438 dólares en costo de re trabajo, lo que representa el 30.16% (Ver Figura 55).

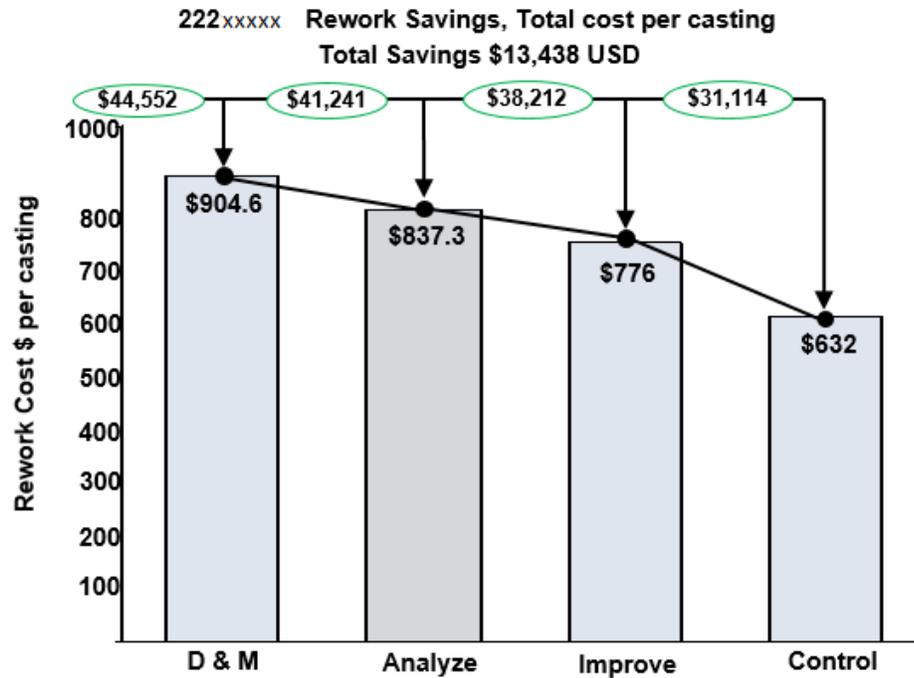


Figura 55. Gráfica del ahorro en re trabajo y costo total por etapa de definir y medir-analizar-mejorar (CPP, 2019)
Gráfico original en inglés para reporte técnico interno.

En el siguiente gráfico (Ver Figura 56), se muestra la disminución de la cantidad de defectos de fundición desde la primera etapa hasta la última medición. Como resultado se obtiene un 39.2% de disminución, considerando que en la primera fase de tenían en promedio 28 defectos de re trabajo por casting en contraste con los 17 defectos (en promedio) de re trabajo por casting que se trabajan actualmente. En este gráfico no se tomaron en cuenta los defectos de fundición.

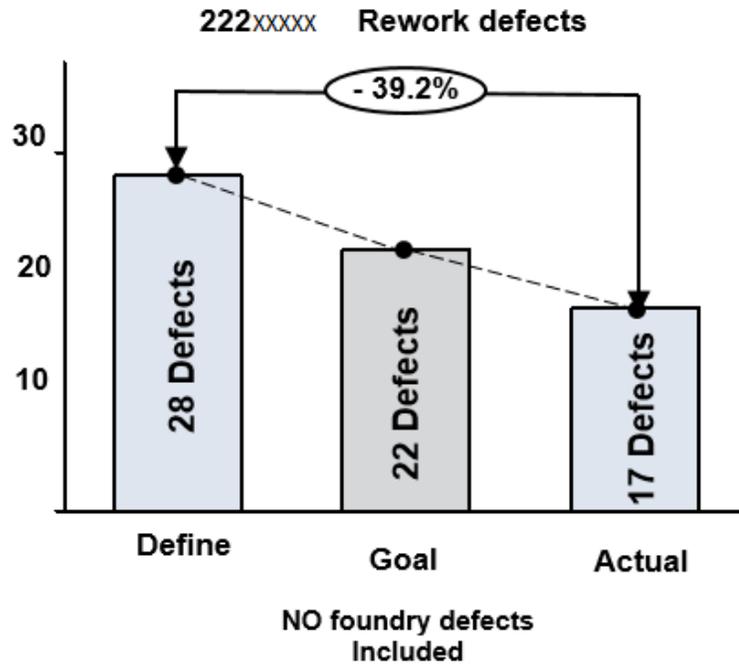


Figura 56. Gráfico de los defectos de re trabajo por etapa definir-objetivo-actual (CPP, 2019) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno.

3.4.2. Nuevo proceso

El resultado del mejoramiento del proceso entre la estación de dig out y soldadura es la retroalimentación, que se presenta en la Figura 57, esta retroalimentación que lleva a cabo el soldador al cortador para verificar si el corte y biselado está realizado correctamente. Además, dentro de las mejoras también se encuentran las revisiones para monitorear que se siga la nueva documentación adecuadamente (Norma operacional de corte y las recomendaciones de la Técnica de soldadura).

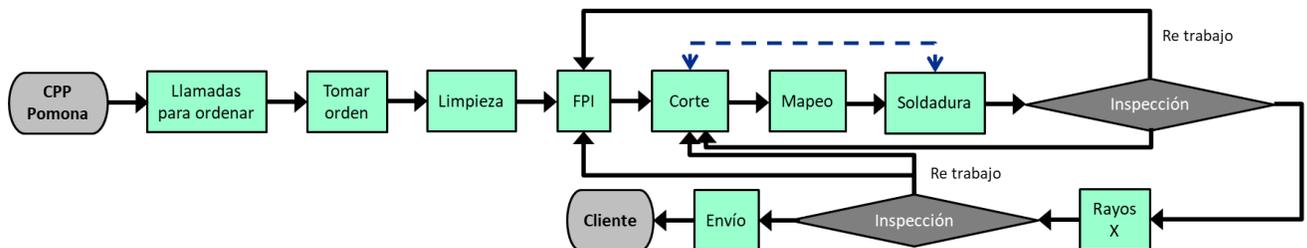


Figura 57. Nuevo mapa del proceso (CPP, 2019) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno.

3.4.3. Resultado final cantidad de defectos de fundición.

Después de todas las fases, la cantidad de defectos de fundición disminuyó notoriamente como se muestra en la Figura 58 (en el eje x las últimas tres fases y en el eje y la cantidad de defectos de

fundición) se observa que la media bajó desde la etapa de mejora (18.92 defectos) hasta una media de 10.5 defectos en la fase de controlar, siendo esto una disminución del 54.94%.

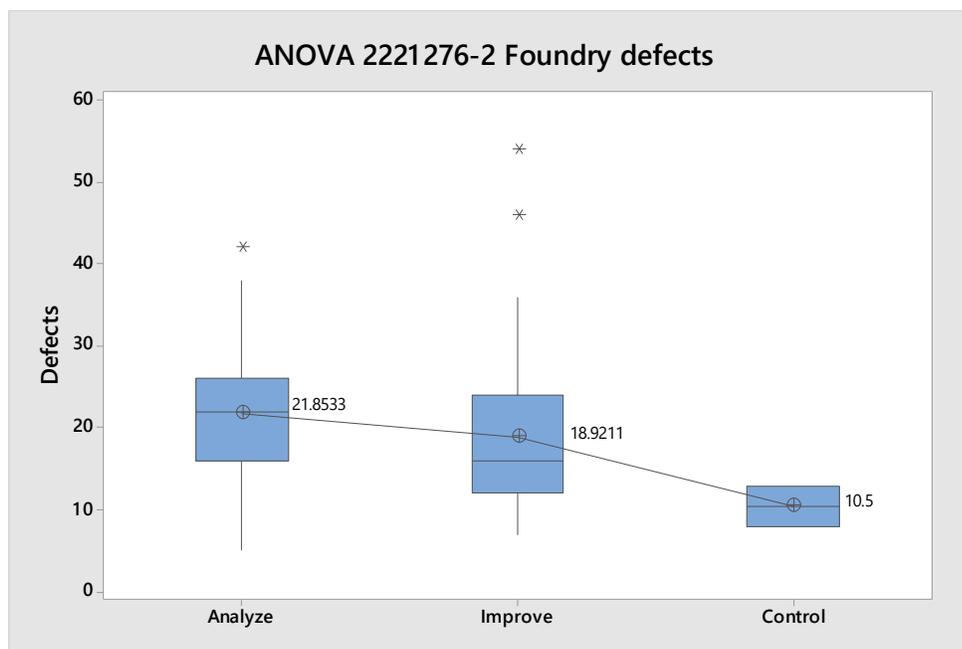


Figura 58. Diagrama de cajas de los defectos de fundición por etapa de analizar-mejorar-control (CPP, 2019)

Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

Observando los resultados del mismo ANOVA, en la Tabla 22 se observa que el valor P es de 0.062, lo que indica que todavía no es una diferencia significativa, pues es un valor un poco más alto que 0.05, pero la tendencia indica que probablemente el próximo disminuya la cantidad de defectos de fundición y por lo tanto, el valor P sea significativo.

Tabla 22. Resultado del análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Semana	2	428.1	214.04	0.69	0.503
Error	112	8394.6	74.95		
Total	114	8822.7			

3.4.4. Resultado final defectos de re trabajo.

A su vez, se realizó un análisis de varianza para los defectos de re trabajo desde la fase de definir hasta control, lo que resultó en una disminución de la media de 28.41 re soldaduras hasta 16.6 re soldaduras en la fase de control (Ver Figura 59), resultando en el decrecimiento en un 41.46% desde el inicio del proyecto.

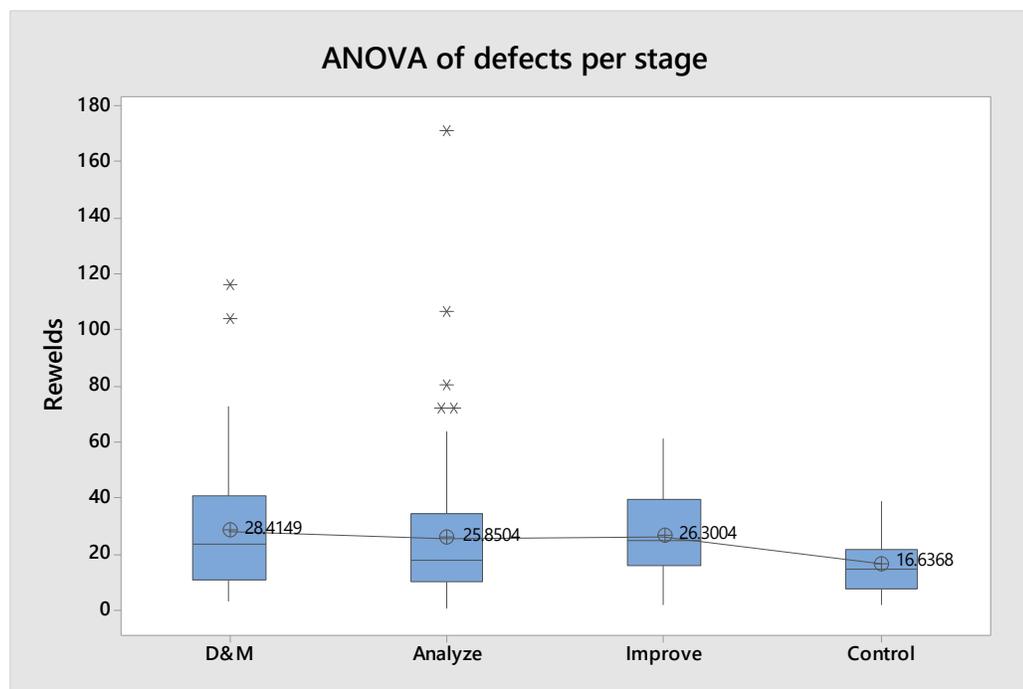


Figura 59. Diagrama de cajas de defectos de re trabajo por etapa Definir y Medir-Analizar-Mejorar-Controlar (CPP, 2019) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

Siguiendo en el mismo análisis de defectos de fundición desde el inicio del proyecto hasta la etapa de controlar, en la Tabla 23 se muestra el resultado obtenido y se resalta que el valor P con valor 0.503 aún no es significativo, aunque con certeza hay una disminución de la cantidad de re soldaduras que se percibe en el gráfico anterior.

Tabla 23. Resultado del análisis de varianza de re soldaduras por etapa.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Semana	3	1897	632.3	0.69	0.503
Error	193	98841	512.1		
Total	196	100738			

Con respecto al control del proyecto, se presenta un gráfico de control en la Figura 60: se llevó a cabo un I-MR de los ciclos de re trabajo por etapa, mostrando por separado las tres últimas etapas: analizar, mejorar y controlar, observando como la media baja en cada etapa y con este gráfico se demuestra que la variable elegida se va centrando conforme avanza el tiempo y disminuyendo la variabilidad en la cantidad de ciclos de re trabajo. Otro punto que resalta en el gráfico es como los límites se separan, sin embargo, eso es totalmente esperado, ya que en la etapa de mejorar se hacen los cambios (inclusive

puede aumentar la variabilidad) y en la etapa de controlar los límites se cerrarán conforme se sigan realizando las mejoras implementadas.

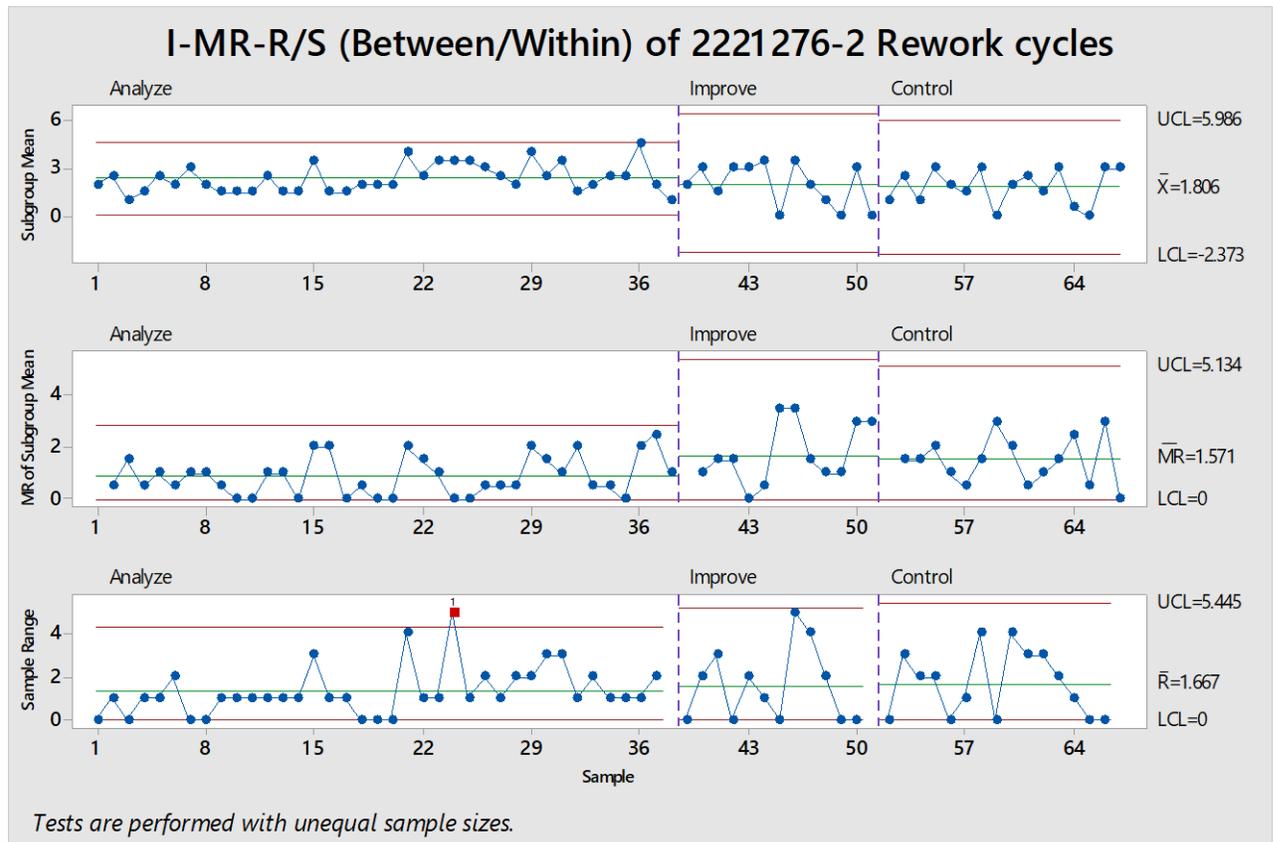


Figura 60. Gráfico I-MR de ciclos de re trabajo por etapa de analizar-mejorar-control (CPP, 2019) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

Continuando con el siguiente análisis de varianza, en la Figura 61 se muestra el resultado con respecto a la cantidad de ciclos de re trabajo; en el gráfico citando se observa una mejora entre las tres fases presentadas, ya que la cantidad de ciclos disminuye notoriamente con una reducción de 32.48% entre la fase de análisis y control.

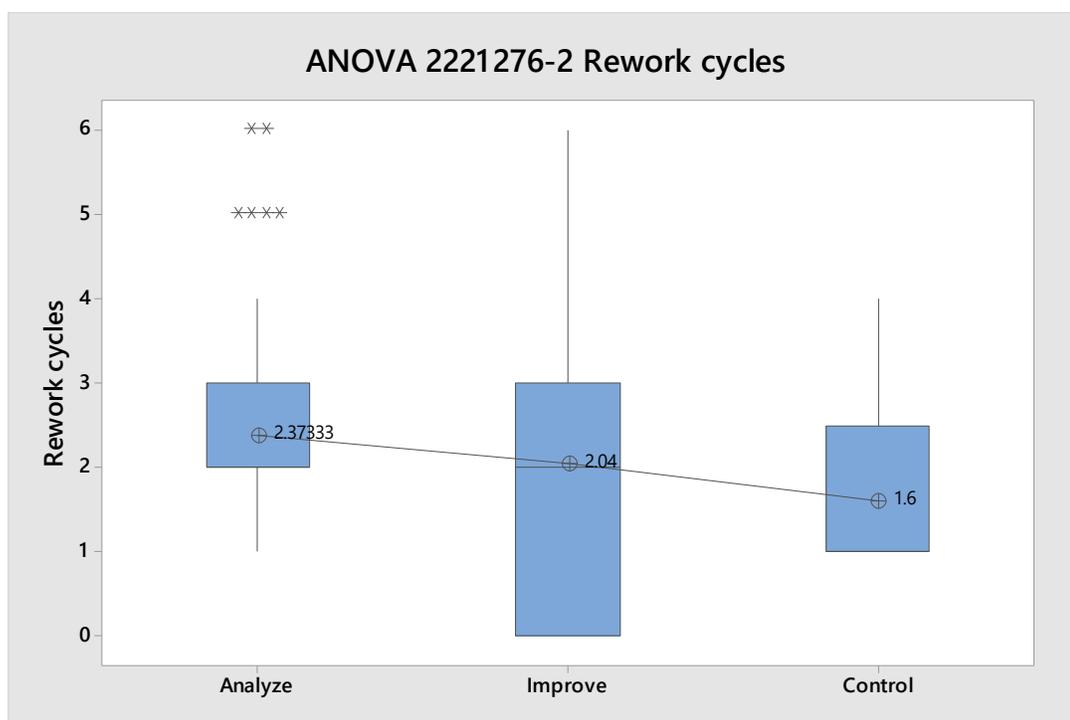


Figura 61. Gráfica de cajas del ANOVA de la cantidad de ciclos de re trabajo por etapa de analizar-mejorar-control (CPP, 2019) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

Ahora se observa la Tabla 24, que corresponde al resultado del gráfico anterior, donde se presenta un valor P de 0.315, que no demuestra una diferencia significativa, sin embargo, el gráfico comprueba la disminución de la cantidad de ciclos.

Tabla 24. Resultado del análisis de varianza de la cantidad de ciclos de re trabajo

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Semana	2	4.350	2.175	1.17	0.315
Error	102	189.707	1.860		
Total	104	194.057			

Se procedió a realizar el I-MR de los defectos de soldadura, en este caso se observa una gran mejora, ya que se puede apreciar las tres últimas fases: analizar, mejorar y controlar (Ver Figura 62). Durante la fase de mejorar se observa un leve incremento de los límites, lo cual es totalmente lógico al implementar algún plan de mejora, siguiendo con la fase de control el resultado que se presenta son unos límites más cerrados y un proceso más centrado en la media.

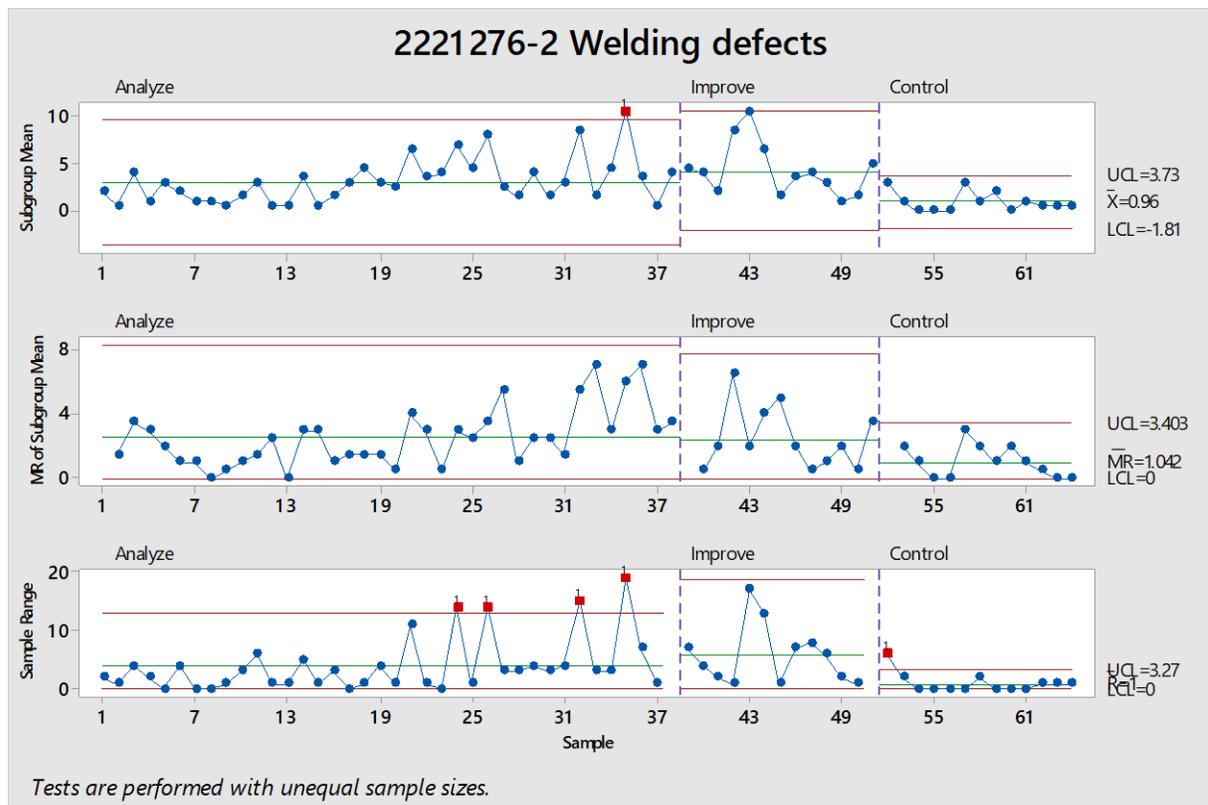


Figura 62. Gráfico I-MR de los defectos de re trabajo por etapa (analizar-mejorar-control)

3.4.5. Resultado final tiempo de ciclo.

Otro de las variables elegidas fue el tiempo de ciclo y con los datos recabados, se realizó un análisis de varianza con una gráfica de intervalo (Ver Figura 63) sobre la duración de ciclo durante las fases de analizar, mejorar y controlar, donde se observa una gran reducción en promedio de 60.49% del tiempo en horas.

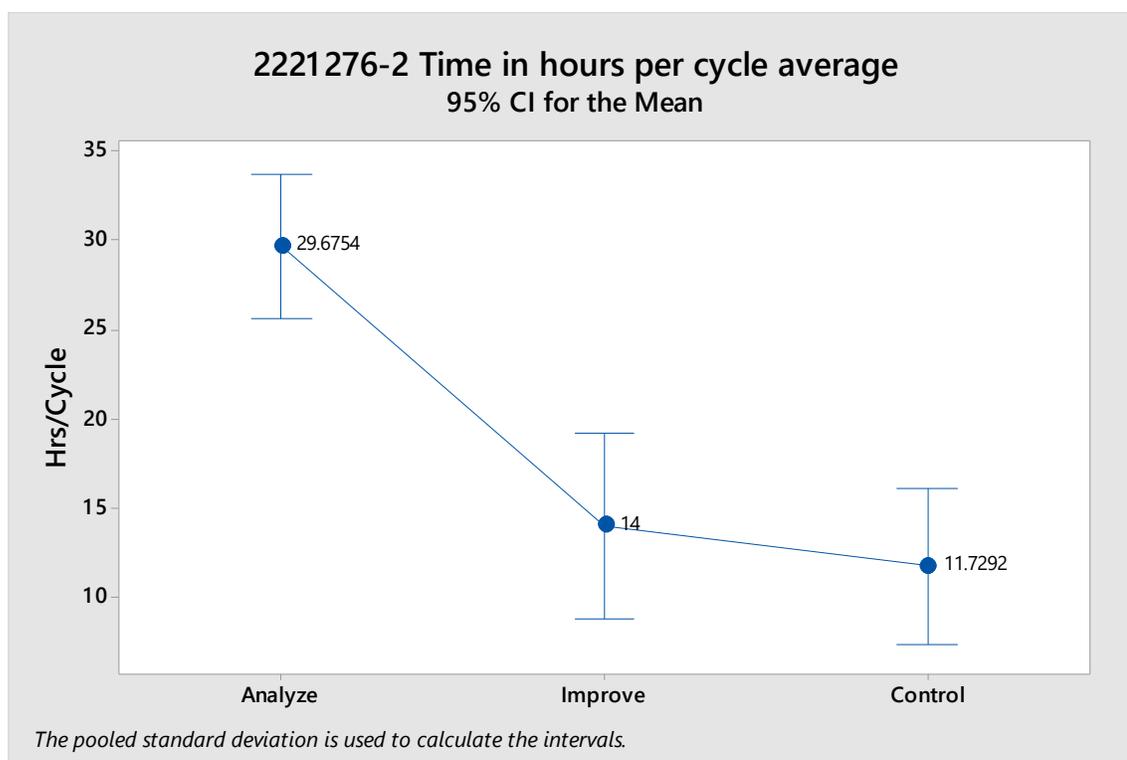


Figura 63. Gráfica de intervalo del ANOVA de tiempo de re trabajo por ciclo por etapa de analizar-mejorar-control (CPP, 2019) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

Con respecto al mismo análisis de varianza, en la Tabla 25 se observa el valor P de 0.000, que demuestra la diferencia de medias que se observa en el gráfico anterior; por lo tanto, se declara que el valor P resultante es significativo porque es menor que 0.05, como conclusión: la diferencia entre las medias de analizar, mejorar y controlar con respecto a la cantidad de horas por ciclo es significativa.

Tabla 25. Resultado del análisis de varianza de tiempo de re trabajo por ciclo por etapa.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Semana	2	4388	2193.9	12.95	0.000
Error	63	10674	169.4		
Total	65	15062			

3.4.6. Resultado final defectos por área.

Para finalizar con el análisis la cantidad de defectos por área de la pieza (parte del reporte de retroalimentación que se hace hacia la planta de CPP Pomona), se realizó el diagrama de Pareto de la última fase (Ver Figura 64) de la metodología, donde el área que terminó en primer lugar fue el área F con 112 defectos, en segundo lugar la zona B con 105 defectos y en tercer lugar el área G con 85 defectos.

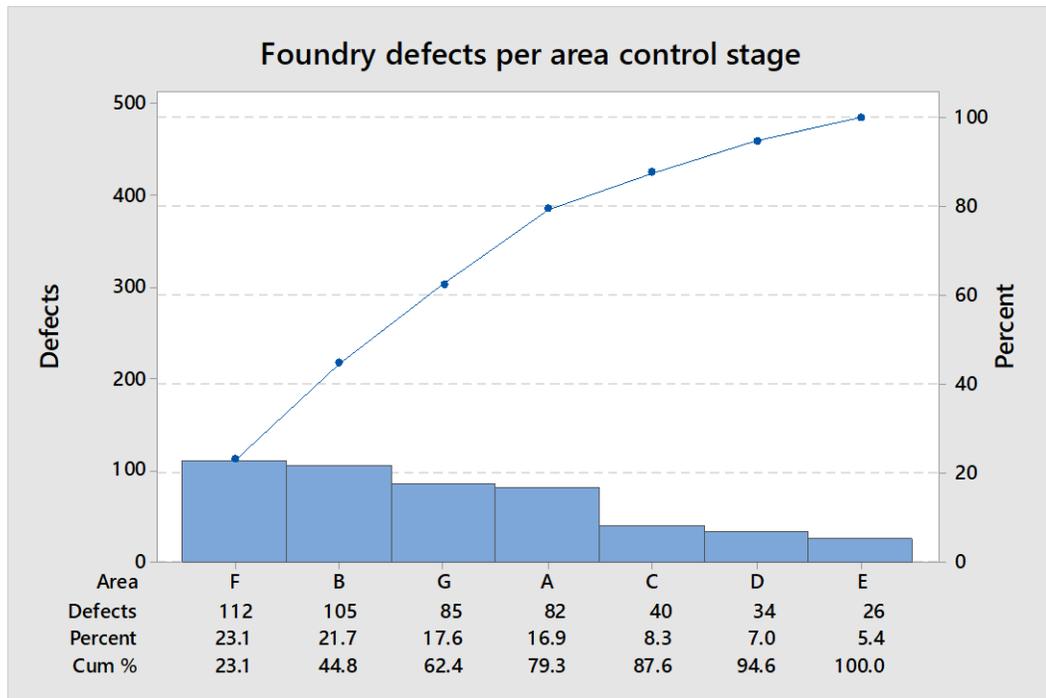


Figura 64. Pareto de defectos de fundición en áreas fase de control (CPP, 2019) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

Con respecto al mismo análisis de varianza, en la Tabla 26 se presentan tres columnas: la primera indica el área en cuestión, siendo el área A quien más contribuye a los defectos de fundición, en la segunda columna se presentan los diagramas con los defectos marcados donde se ubican y la tercera columna muestra el porcentaje de defectos en promedio.

Tabla 26. Mayores contribuidores a defectos de fundición.

Área	Imagen	Promedio de defectos
A		23.1%
G		21.7%
B		17.6%

3.4.7. Mapa del flujo de valor final.

Para concluir con el análisis del proceso final, se realizó de nuevo el VSM que se presenta en la Figura 65. El mapa ya se explicó anteriormente, en esta ocasión solamente se resaltarán los cambios que tuvo con base en las mejoras implementadas durante este proyecto. Al estandarizar el proceso de corte, se tiene un proceso más controlado, de igual manera en soldadura que el tiempo disminuyó notoriamente, especialmente el tiempo de espera que antes se encontraba en 2027 minutos y al finalizar el proyecto bajó a 1622 min. Por lo tanto, el resultado de las mejoras implica el incremento del valor no agregado a 10.78% (antes 9.08%).

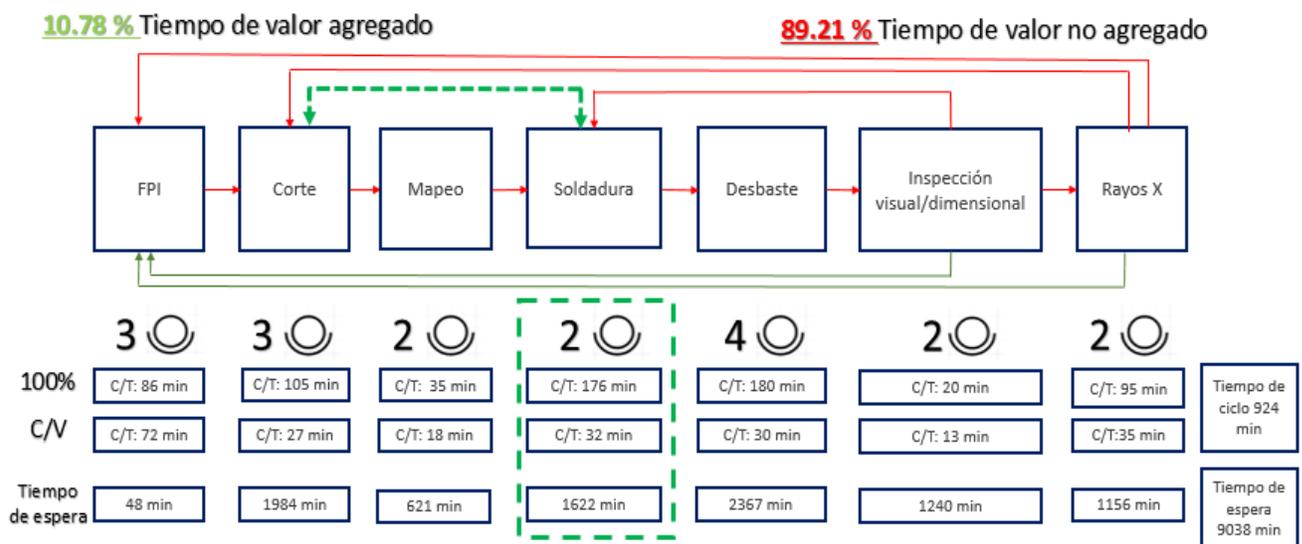


Figura 65. Mapa del flujo del proceso final

3.4.8. Análisis de riesgos.

El análisis de evaluación de riesgos (ver Tabla 27) se realizó al finalizar el proyecto, en él se mencionan las problemáticas que se abordaron a lo largo del proyecto, desde los defectos de fundición, hasta la configuración del herramental que se utiliza en el proceso. En la tabla mencionada, en la primera columna se encuentran los elementos a considerar, en la segunda la probabilidad en una escala de alto (A, con un valor de 3), medio (M, con un valor de 2) y bajo (B, con un valor de 1), en la tercer columna se encuentra el impacto que tiene en la misma escala anterior, en la cuarta la clasificación que obtiene al multiplicar los valores de las dos columnas anteriores y en la última columna se encuentra como se va a mitigar el impacto del riesgo mencionado. Se observa que los elementos que tienen más probabilidad de impactar negativamente son: los defectos de fundición en ciertas áreas y los cambios en las tolerancias dimensionales, ambos clasificados con un 6.

Tabla 27. Evaluación de riesgos en horas de re trabajo

Elemento	Probabilidad	Impacto	Clasificación	Disminución
Defectos de fundición afectan otras áreas de la pieza.	M	A	6	Informe de calidad al cliente en reunión semanal
Cambios en las tolerancias dimensionales por el departamento de ingeniería	M	A	6	Retroalimentación inmediata con el cliente y actualizaciones de MIS.
Nuevos operadores de re trabajo	B	A	3	Seguimiento estricto del plan de entrenamiento.
Aumento de los defectos de re trabajo	B	A	3	Monitoreo de la eficiencia de los soldadores y reentrenamiento
Limpieza insuficiente de las varillas antes de iniciar el proceso de soldadura	B	A	3	Auditorías del proceso.
Herramientas dimensionales y de re trabajo en malas condiciones	B	A	3	Revisiones periódicas por los departamentos de ingeniería y calidad
Información equivocada en instrucciones de trabajo.	B	A	3	Auditorías del proceso.
Configuración incorrecta del respaldo de cobre en proceso de soldadura	L	M	2	Seguimiento estricto del plan de entrenamiento.

3.4.9. Análisis de capacidad final.

Para concluir con la metodología DMAIC, se realizó el último análisis de capacidad para observar la cantidad de DPMO al finalizar el proyecto. Se utilizó el mismo procedimiento que antes (Ver Figura 66). A continuación, se realizó el gráfico I-MR para obtener el término a corto plazo, por lo que se eligieron los datos que se encuentran entre las observaciones 81 y 121 debido a que visualmente es la muestra que se encuentra más controlado (Ver Figura 67).

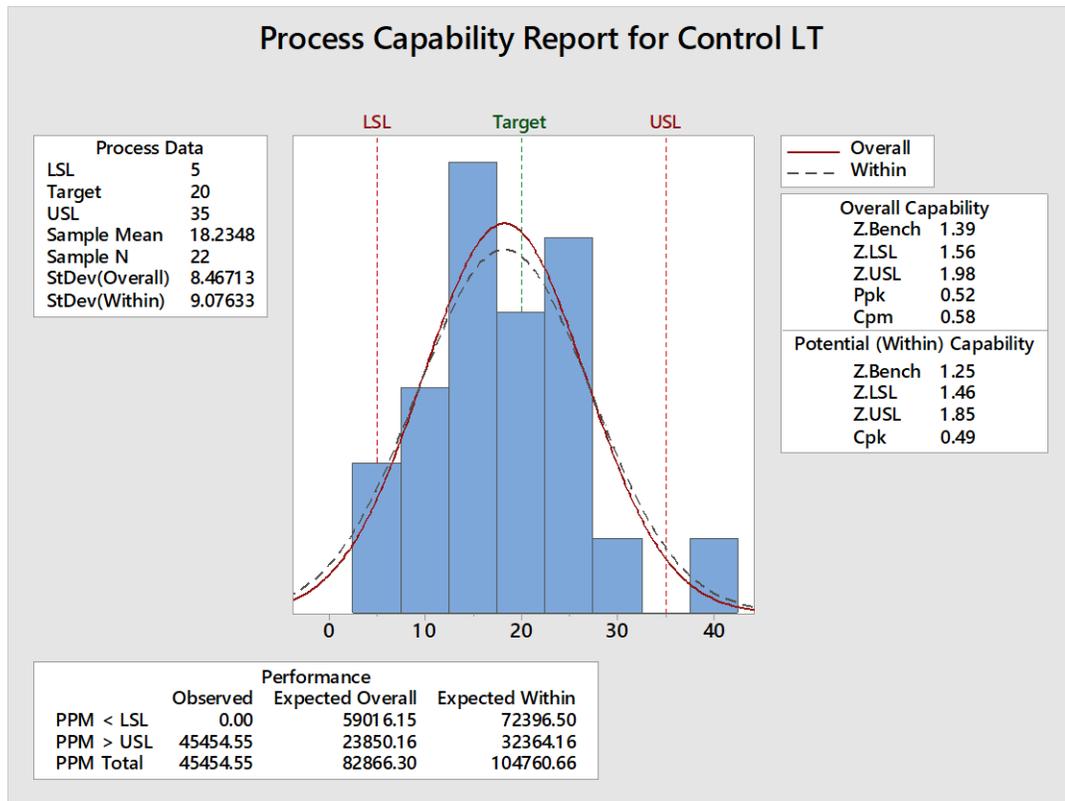


Figura 66. Capacidad del proceso a largo plazo en la etapa de controlar (CPP, 2020) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

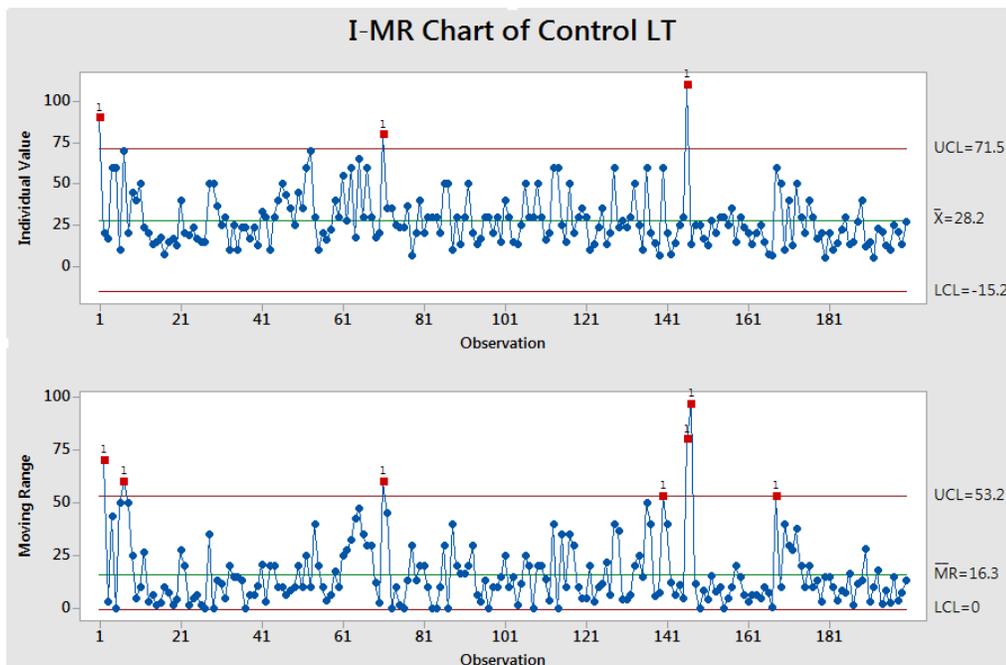


Figura 67. Gráfico I-MR en la etapa de control (CPP, 2020) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

Con base en esos datos, se llevó a cabo el gráfico a corto plazo (Ver Figura 68) encontrando como resultado los DPMO de 45,454.55 (Ver Figura 69) donde se observa la diferencia entra todas las etapas de la metodología, con una reducción final de DPMO aproximadamente del 72% (el inicial era de 162,500 DPMO).

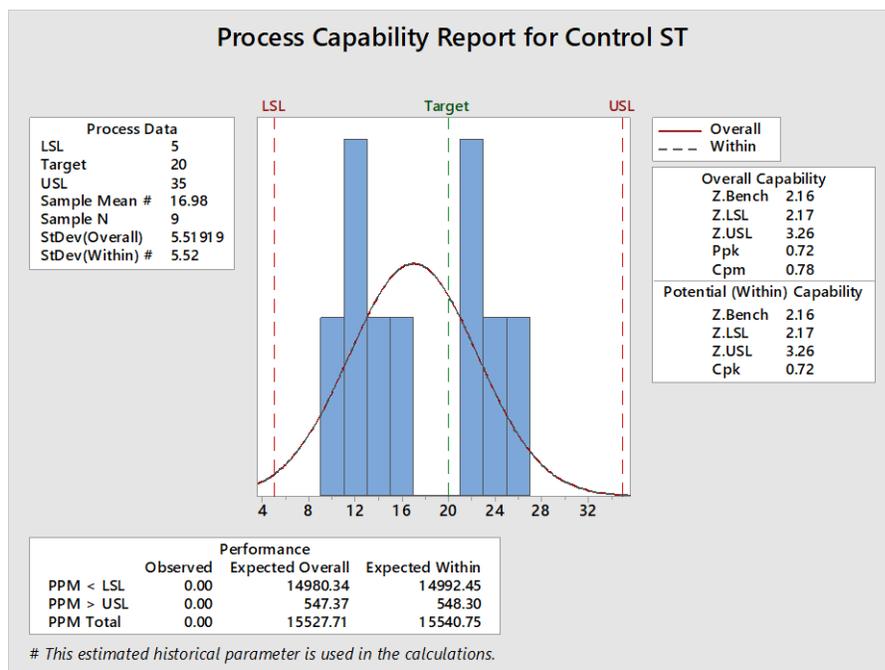


Figura 68. Análisis de capacidad a corto plazo en la etapa de controlar (CPP, 2020) Gráfico original en inglés para reporte técnico interno elaborado en Minitab17.

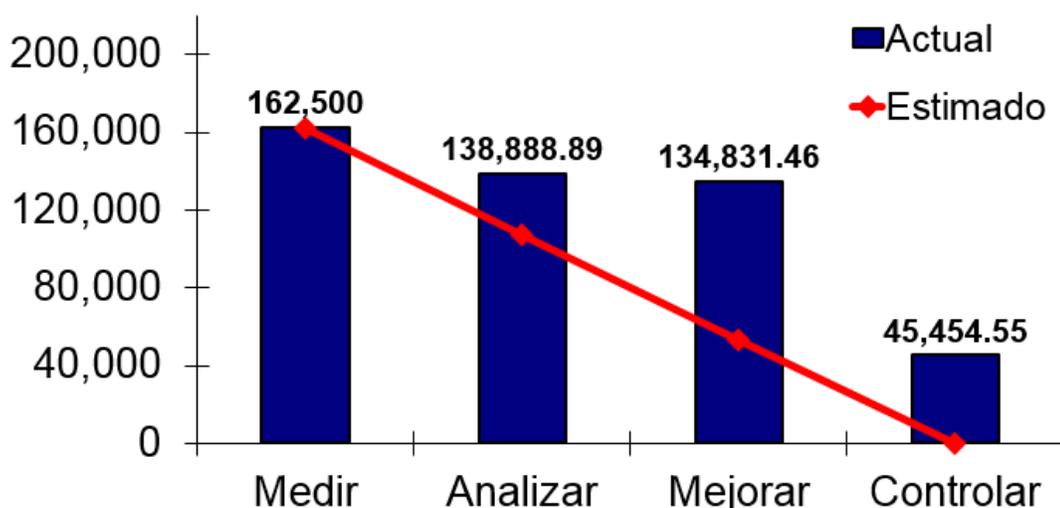


Figura 69. Reducción de Defectos Por Millón de Oportunidades por fase en la etapa de mejorar (CPP, 2020).

Como resultado del análisis de capacidad final, se obtuvo un Z a corto plazo (Zst) de 2.15 y un Z a largo plazo (Zlt) de 1.39. Al restar el Zlt al Zst, lo que resulta en 0.76. En la Figura 70 se muestra el gráfico 'Control contra Tecnología', en el que la posición de la estrella es el cuadrante inferior izquierdo, que indica "buen control pero tecnología pobre", lo que presenta una mejora visible en el proceso. Se observa que la estrella aun no llega al cuadrante esperado, sin embargo, la tendencia indica que si las mejoras implementadas se siguen, en algún momento se llegará.

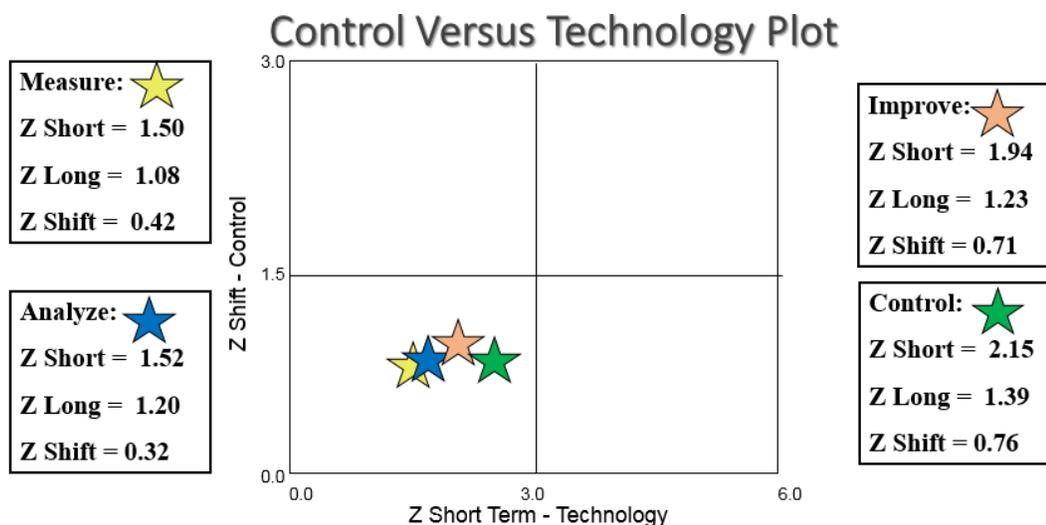


Figura 70. Reducción de Defectos Por Millón de Oportunidades por fase en la etapa de controlar (CPP, 2020).

3.4.10. Resumen ejecutivo y formato de cierre del proyecto.

Por último, se realizó el resumen ejecutivo para llevar a cabo el cierre del proyecto, en el que se muestra una recopilación de la información más relevante para ejecutar el cierre. En la Figura 71 se presenta detalladamente este documento indicando la información más relevante del proyecto, como cantidades iniciales de DMO, Zlt, Zst, cuestiones de objetivos, fechas, mejoras implementadas, puntos clave, entre otros.

Además, se anexó el documento de cierre del proyecto (Ver Figura 72), en el que se observa toda la información requerida para cerrar el proyecto apropiadamente y obtener las firmas del mentor Black Belt y del patrocinador del proyecto, así como clarificar las acciones abiertas después del cierre del proyecto.

Planta:	CPP Ensenada México.
Descripción del proyecto y objetivo:	Desarrollar y diseñar el método de Soldadura con base en las mejores prácticas para diciembre de 2019.
Beneficio del cliente:	Reducción de costo de re trabajo de \$239 dólares por casting.
Criterios de defectos:	Reducir los ciclos y tiempo de re trabajo en CPP Ensenada para el NP 222
DPMO inicial/final: Zst y Zlt inicial/final:	162,500 to 45,454 (DPMO), 222 1.50/1.08 to 2.15/1.39 (Zst y Zlt).
Lecciones aprendidas:	Reducir los ciclos y tiempo de re trabajo en CPP Ensenada para el (222)
Palabras clave:	Defectos de Soldadura y tiempo de re trabajo.
Resultados clave:	Entrenamiento, retroalimentación con el cliente.
Improvements	Reducción del tiempo de re trabajo, ciclos de re trabajo.
Controles:	Plan de entrenamiento, actualización de la Documentación y retroalimentación constante.
Fechas de finalización / ahorro:	Diciembre de 2019/ \$ 13,438 dólares.
Contacto de information:	okzanna.galarza@cetys.edu.mx

Figura 71. Resumen ejecutivo (CPP, 2020).

Project Closure Form							
Project Name: Increase productivity and efficiency in re-work of aluminum welding process							
Black Belt: Ruben Davis		Phone (909) 348-9470 ext. 5006		Site/Area CPP-Ensenada			
Sponsor: Jesus Valdez		Phone (909) 348-9470		BB Mentor Salvador Tinoco			
Initial/Final Conditions (fill in all that are applicable)				Project Completion Date: 19/12/2019			
	Initial	Final	% Reduction		Initial	Final	% Reduction
DPMO	162,500	45,454	72.02%	Non Conformances			
Losses				Zst / Zlt	1.50/1.08	2.15/1.39	
Cost	904 per casting	632 per casting	30.08%				
Open Action Items					Person Responsible		Estimated Completion Date
Keep reporting any trend on quality casting.					Ruben Davis		Open
Apply the project to any part number.					Ruben Davis		Open
Keep on going process audits to maintain the control of this project.					Ruben Davis		Open
Train all new welders prospects on the weld technique.					Ruben Da		Open
Concurrence:							
BB Mentor	Salvador Tinoco						
MBB							
Sponsor	Jesus Valdez						
Controller	Date: 15/07/2019						
	DPMO:	138.8K	3 Months	134.8K	6 Months	45.4K	12 Months
	Date:	15/07/2019		23/09/2019		12/02/2019	18 Months

Figura 72. Forma de cierre del proyecto, documento original en inglés para reporte técnico interno (CPP, 2020).

Capítulo 5. Conclusiones

Con base en la hipótesis planteada, se concluye que al implementar la herramienta Seis Sigma por medio de la metodología DMAIC se redujo el tiempo de ciclo en un 62.75% (de un promedio de 31.47 hrs por ciclo desde la fase de definir hasta 11.72 hrs por ciclo en la etapa de control) y el costo de re trabajo en 30.16% (\$13,438 dólares aproximadamente hasta el cierre del proyecto en diciembre de 2019) en el proceso de soldadura de aluminio del número de parte 222xxxxx. Es importante recalcar que al mencionar la implementación de la herramienta y metodología es necesario contar con un equipo base, que incluya un mentor (persona que ya tenga la certificación de Black Belt) y de preferencia un Master Black Belt que a lo largo del proyecto, guíen al equipo.

Durante la realización de este trabajo se aplicó cada fase de la metodología DMAIC, en la fase de definir se planificó el proyecto y se planteó el desarrollar e implementar un nuevo método de re trabajo en soldadura capaz de permitir la reducción de costo y tiempo de re trabajo al menos en 20%, en tiempo de 31.47 hrs/ciclo hasta 25.18 hrs/ciclo y en costo de \$56.4 a \$42.9 miles de dólares, así como definir la fecha de conclusión del proyecto en diciembre de 2019. En la siguiente fase, medir, se realizó la primer medición de las variables en tiempo, cantidad de defectos de soldadura y eficiencia de los soldadores, concluyendo en esta fase que la idea inicial de que la eficiencia de los soldadores sería la variable a controlar se refuta, debido a que la eficiencia de ambos soldadores se encuentran por encima del 85%.

A lo largo de la aplicación de cada fase de la metodología DMAIC, se realizó el análisis de capacidad para obtener los DPMO y se observa que de la primera a la última fase, se redujeron 117,045.45 DPMO. A lo largo del desarrollo del proyecto, se aplicaron herramientas de manufactura esbelta como SIPOC (con esta herramienta se expuso explícitamente el proceso en cuestión), diagrama de Pareto (en base a esta herramienta se eligió el número de parte para la implementación de este proyecto), diagrama de causa-efecto (se encontraron las causas principales que se debían atacar en las fases siguientes), prueba de hipótesis (en cuestión de tiempo de ciclo, se comprobó que hay una mejora, ya que el valor P es de 0.000, lo que indica diferencia de medias).

Durante la realización de este proyecto se siguió la metodología DMAIC, la cual basa sus conclusiones en tres puntos esenciales: actividades abiertas después del cierre del proyecto, lecciones aprendidas y mejores prácticas. A continuación se presentan las conclusiones de cada punto.

5.1. Lecciones aprendidas.

Para iniciar, una de las principales lecciones aprendidas de este proyecto de tesis fue que se debe estandarizar el trabajo, por ejemplo, en este proyecto se realizó la Norma Operacional de dig out para el número de parte 222xxxxx, ya que previo al proyecto solamente se tenían ayudas visuales. Luego de la estandarización y entrenamiento en la nueva documentación, se demostró un avance significativo. Continuando con la documentación referente al número de parte 222xxxxx, se actualizó la técnica de soldadura. Este documento ya se tenía, pero con base en este proyecto se añadió una sección al final de la misma donde se desarrolló una serie de recomendaciones que incluían puntos relevantes en: preparación de la herramienta y estación de trabajo, corte, preparación de las varillas antes de soldar, respaldos de cobre, manejo de la punta de tungsteno y soldadura.

La siguiente lección aprendida es que los soldadores deben trabajar con limpieza en su área, materiales y herramienta, esta declaración puede parecer muy básica, sin embargo este principio pero es bastante relevante al tomar en cuenta la importancia de la limpieza de las varillas para soldar antes de iniciar. Otro punto importante es el tener un plan de entrenamiento y un responsable en cada área (como dig out y soldadura) ya que al implementar alguna mejora en el proceso, se debe tener un estándar de como proseguir con las aplicaciones de las mejoras.

Por otra parte, es necesario evitar los cuellos de botella en el proceso de soldadura, ya que durante el análisis del proyecto se encontró que evidentemente existen castings que presentan a los operadores (cortadores, soldadores y/o inspectores) mayor complicación para trabajar, por ello, en ocasiones la duración de los ciclos se prolonga. Sin embargo, es preciso trabajar con calidad cada casting y no demorar el proceso en aquellas piezas que presenten aquellas eventualidades.

5.2. Mejores prácticas

Entre las mejores prácticas que se encontraron se presenta el aseguramiento de la técnica de biselado entre los operadores de dig out y soldadura, ya que antes de la fase de mejora de este proyecto, se presentaba el caso de que los cortadores no tenían un estándar para realizar el proceso. Actualmente el cortador sigue la Norma Operacional de dig out para el número de parte 222xxxxx y si el resultado del corte no cumple con los requerimientos del soldador (en este caso el cliente del cortador), se regresará la pieza a la estación de corte hasta que el orificio tenga el bisel, con el ángulo descrito en la Norma Operacional.

Por otro lado es muy importante la comunicación entre los departamentos de ingeniería y calidad, debido a que estos departamentos influyen en el control adecuado del proceso. De acuerdo al punto anterior, igualmente la comunicación entre los operadores de corte, soldadura e inspectores es muy importante pues del trabajo en conjunto de cada parte del proceso influye en la cantidad de ciclos y/o duración del mismo, ya que en ocasiones durante la primera inspección, ya sea de líquidos penetrantes o Rayos X no se perciben los defectos, hasta el segundo o “n” número de ciclo y una vez que esos defectos se trabajan, cuentan como soldadura y no como re soldadura (realmente no debe afectar la eficiencia de los soldadores).

5.3. Actividades abiertas después del cierre del proyecto.

Iniciando con el punto número uno, y con base en el resultado exitoso del proyecto, se sugiere que las mejoras implementadas anteriormente se apliquen en otros nuevos números de parte de la misma planta (CPP Pomona) y otras dos plantas hermanas, como se muestra en la Figura 73.



Figura 73. Diagrama del potencial del Proyecto

Acorde con lo planteado a lo largo de esta tesis, se concluye que se debe continuar con los reportes semanales a la planta de CPP Pomona con el propósito de que se detecte cualquier tendencia en la calidad de las piezas que se funden, a fin de que se evite que la cantidad de ciclos y tiempo de re trabajo

aumente al encontrar dificultad para trabajar con ciertas áreas de la pieza y se ataque en cuanto de detecten este tipo de problemas.

Con respecto a las eventualidades que suceden en determinado momento, cuando llega a la planta una gran cantidad de piezas de trabajo y considerando que solamente hay dos soldadores certificados para trabajar el número de parte 222xxxxx, se debe tomar en cuenta el entrenamiento de nuevos soldadores, lo que quiere decir una inversión para certificar por lo menos a dos soldadores más. Asimismo, se les debe proporcionar el entrenamiento en las recomendaciones y actualización de la técnica de soldadura que se realizó en este proyecto.

A su vez, en el tema del control de procesos, se concluye que las auditorías de proceso deben continuar debido a que mantener el control es necesario para que, se pueda continuar con la tendencia de bajar tanto la cantidad de ciclo (lo ideal es que los defectos de fundición se trabajen en un solo ciclo), como la duración del tiempo de ciclo.

Anexos

Anexo 1

1. Claridad del problema que resuelve.

La problemática que se aborda en este proyecto de tesis es la reducción al menos en 20% del tiempo de ciclo y costo de re trabajo en una pieza específica de aluminio con número de parte 222xxxxx, implementando la herramienta Seis Sigma y aplicando la metodología DMAIC (por sus siglas en inglés). El problema se encuentra dentro de los procesos especiales (Pruebas No Destructivas), entre el proceso de corte y soldadura. Principalmente, el problema se divide en varias cuestiones específicas:

- *Disminuir el tiempo de espera de las piezas con número de parte 222xxxxx.* Generalmente se trabajan las piezas según el orden de llegada, sin embargo, por las dificultades que presentan, las piezas se van rezagando.
- *Disminuir el tiempo de ciclo en el proceso de soldadura.* Durante el proceso de soldadura se rehacía el corte, debido a que no tenía los ángulos correctos para la realización de la soldadura, por lo tanto el tiempo del proceso de soldadura se sumaba al de corte y como consecuencia se obtenía una duración mayor del ciclo de soldadura.
- *Estandarizar el proceso en la estación de dig out (corte).* Sin un documento donde se estandarice el proceso de corte, los operadores realizaban el proceso sin una guía estándar, por lo que los cortes no se realizaban de manera estandarizada.
- *Aplicar las mejores prácticas en el proceso de soldadura.* El proceso de soldadura se realiza con base en la experiencia de los soldadores, por ello se deben obtener de cada uno las mejores prácticas para añadirlas a una serie de recomendaciones que apoyen el trabajo limpio, organizado y que reduzca la posibilidad de tener defectos de re trabajo.

2. Contar con al menos un usuario al que beneficia.

Inicialmente, este proyecto se lleva a cabo en la empresa CPP (Consolidated Precision Products) planta Ensenada, que fue el usuario beneficiado. Específicamente, la aplicación de este proyecto fue en una pieza de aluminio con número de parte 222xxxxx; con respecto a la duración del proyecto, fue aplicado durante 10 meses en los meses de marzo y diciembre de 2019, llevando a cabo el cierre del mismo en enero de 2020.

Además, debido al resultado exitoso del proyecto y de la vinculación entre CPP Planta Ensenada y CETYS Universidad, se sugiere continuar con dicha vinculación, principalmente con la participación de estudiantes de posgrado en proyectos desarrollados en la industria en conjunto a ingenieros con amplia experiencia en este ámbito.

Por otro lado, otra recomendación es que las mejoras implementadas por medio del desarrollo de este proyecto, se aplique a números de parte de nuevo ingreso en la empresa, como fue el caso del número de parte 222xxxxx que entró a la empresa a finales de febrero de 2019 y durante este proyecto se analizó su adaptación a la empresa. El usuario sería la misma empresa, en este caso CPP planta Ensenada.

3. Proponer la Integración de un paquete tecnológico transferible.

Acerca del protocolo de tesis, en él se describe cada fase de la metodología DMAIC e incluye el desarrollo total del proyecto con base en el curso denominado "Six Sigma Black Belt" (Cinturón negro de Seis Sigma) que CPP imparte a sus ingenieros. La implementación de esta metodología y los resultados obtenidos se describen en la tesis, además de otros puntos como la descripción y justificación del problema se presentan en ella, por lo tanto, este documento puede ser útil como base en el desarrollo de otros proyectos que se realicen en la empresa CPP planta Ensenada.

Por otro lado, durante el desarrollo del proyecto se propusieron dos entregables, que forman parte de la documentación para los procesos de corte y soldadura: el primer documento es la creación de la Norma Operacional "222xxxxx Dig Out", el segundo documento es la actualización de la "Weld Technique" (técnica de soldadura), donde se incluyeron las recomendaciones (mejores prácticas) para hacer más robusta dicha técnica.

Como descripción general, la Norma Operacional "222xxxxx Dig Out" es un documento aprobado por el Departamento de Calidad de la empresa CPP, donde, en una tabla se presentan una serie de puntos operacionales, clave y que aseguran la calidad del proceso en el formato que la empresa denomina como "Norma Operacional" y que se aplicó para el proceso de corte, para estandarizar dicho proceso en el número de parte en el que se basa este proyecto. Los puntos que se describen en ese documento se enumeran a continuación:

- o **La secuencia de operaciones.** Es la sucesión de pasos que se debe seguir para llevar a cabo el corte adecuadamente. Frecuentemente es una palabra o frase general que indique la tarea que

se realizará en ese punto del proceso, por ejemplo: realizar corte, biselado, herramientas, entre otros.

- o **Puntos clave.** Es una serie de enunciados que brindan una descripción más detallada de las actividades que se deben realizar para terminar exitosamente cada operación señalada. Cada uno de esos punto clave inicia con un verbo en infinitivo y presenta especificaciones en el tipo de herramienta que se debe utilizar, el ángulo óptimo que deben tener los biseles del orificio, entre otros).
- o **Calidad/Seguridad.** Puntos que aseguran la calidad de la operación, así como la seguridad del operador que la lleva a cabo, en otras palabras, se muestra especial énfasis en aquellos puntos que presentaban mayores dificultades durante el proceso de soldadura, como la verificación del ángulo correcto del bisel, limpieza, lubricantes, entre otros).
- o **Fotografías/diagramas.** Ayudas visuales como fotografías y diagramas tomados/hechos para esta Norma Operativa en particular y de esta forma, aportar una base visual para el entrenamiento en este documento, además de ejemplificar visualmente los casos donde se presentaban las malas prácticas y mostrar el tipo de defectos que ocasionaban cuando a la pieza de le aplicaban las PND (inspección por líquidos penetrantes y Rayos X).

En cuanto al proceso de soldadura, en el documento ya existente denominado como “Weld Technique” (Técnica de soldadura), se agregó una sección en la parte final del documento llamado “Recomendaciones”, donde se describe detalladamente cada una de las mejores prácticas encontradas con base en el desarrollo del proyecto antes descrito. En el apartado de recomendaciones, el documento se dividen en dos columnas, una donde se describen las actividades como se mencionó anteriormente y una segunda columna con fotografías como base visual. A continuación se presentan los puntos a resaltar de las recomendaciones en la Técnica de soldadura:

- o **Herramientas y estación de trabajo.** Principalmente para enlistar las herramientas que se utilizan durante el proceso de soldadura, así como resaltar la importancia de mantener limpia y ordenada la estación de trabajo.
- o **“Dig Out” (Corte).** Se mencionan puntos clave del proceso de corte, pero en este caso para su inspección, ya que el operador de soldadura es el cliente del operador de corte y el primero inspecciona el trabajo realizado por el segundo, además de brindarle retroalimentación acerca del proceso de soldadura y cómo puede aportar a que esa actividad se realice con la menor cantidad de dificultades.
- o **Varillas para soldar.** En esta sección se describe el proceso de limpieza para las varillas, su acomodo, entre otros puntos clave deben ser aplicados cuidadosamente, ya que es fundamental

esos requisitos para evitar que posteriormente aparezcan determinado tipo de defecto cuando se realice el proceso de soldadura y como consecuencia se deba realizar otro ciclo de re trabajo cuando se lleve a cabo las inspecciones de FPI y Rayos X.

- o **Respaldos de cobre.** Frecuentemente, los defectos de fundición en la pieza tienen ubicaciones que presentan dificultades para realizar el corte, ser soldar e incluso ser inspeccionados. Debido a esto, los cortes en ocasiones se realizan en zonas donde los soldadores no tienen una base para llevar a cabo el proceso, por ello deben crear sus propias bases. Ellos utilizan cobre por las propiedades físicas y químicas que presenta.
- o **Punta de tungsteno.** Se presentan los puntos clave requeridos para el correcto uso de la punta de tungsteno que utilizan los soldadores.
- o **Soldadura.** Se detallan las actividades realizadas por el operador para que la soldadura no presente ningún tipo de defecto una vez concluida, así como el tipo de herramienta que se requiere en cada actividad del proceso.

4. Análisis de Pertinencia de su proyecto

i. Contexto económico del estado o la región.

El lugar donde se realizó el proyecto de investigación aplicada es la empresa Consolidated Precision Products (CPP) planta Ensenada. CPP, con ubicación geográfica en el Sauzal de Rodríguez, Ensenada, Baja California, México es un corporativo fundado en 1991 que cuenta con diecinueve instalaciones en Estados Unidos, México y Europa y se especializa en la fabricación de componentes y sub-ensambles geoméricamente complejos y de alta precisión para la industria aeroespacial y de defensa.

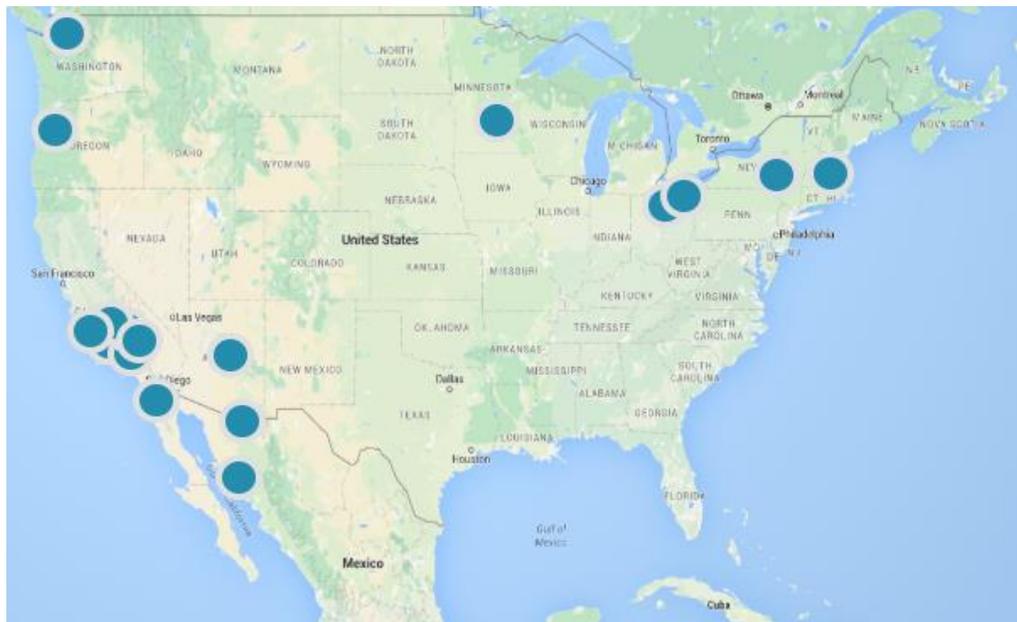


Figura 74. Ubicaciones de CPP en América

Las aleaciones con las que trabaja son: superaleaciones, níquel, aluminio, magnesio, acero, cobre, titanio. Respecto a la empresa en México, la planta de Ensenada inicia operaciones en junio de 2006 y se dedica a realizar operaciones de desbaste, limpieza y de Pruebas No Destructivas (PND) para seis plantas de CPP en California (Azusa/Pomona/Cudahy/City of Industry/Port Hueneme/Rancho Cucamonga) y dos en México (Nogales/Guaymas), debido a su estratégica ubicación geográfica (Ver Figura 74).

El periodo de realización del proyecto fue iniciado en marzo de 2019 y se concluye en enero de 2020, las actividades se desarrollan yendo diariamente a la empresa.

ii. Tecnología disponible y acceso a ella.

La base de este proyecto está integrada por la herramienta Seis Sigma, así como la metodología DMAIC, en conjunto con la oportunidad que el corporativo de CPP brinda a sus ingenieros para que obtengan el reconocimiento oficial de convertirse en un “Black Belt Six Sigma” (Cinturón negro de Seis Sigma) mediante un curso de varios meses impartido por un “Master Black Belt” y el Vicepresidente de Mejora Continua de CPP.

Otro punto relevante, es que CPP (planta Ensenada) provee de un mentor “Black Belt” para que realice el monitoreo a lo largo de todo el proyecto y guíe al candidato durante el proceso del mismo. Aunado al apoyo que proporciona la Academia (en este caso, CETYS Universidad) que provee otra visión al proyecto.

iii. Infraestructura de la institución o empresa.

Para desarrollar un proyecto de Seis Sigma Black Belt se requiere conocer la metodología e ir implementando cada fase, sin embargo, para procurar obtener éxito al final del proyecto se recomienda una serie de puntos a considerar para que la herramienta se aplique de manera correcta. A continuación se enlistan y describen los puntos más importantes:

- **Curso de Black Belt.** El curso es impartido por personal certificado que tiene amplia experiencia en proyectos de este tipo, así como conocimiento en los procesos que se realizan en todas las plantas de CPP de donde provienen los ingenieros candidatos a convertirse en Black Belt y pueden aportar guía y sugerencias para que los proyectos cumplan sus objetivos.
- **Mentor Black Belt.** Este importante miembro del equipo base proporciona seguridad para no llevar al proyecto por un camino erróneo; se requiere un mentor que proporcione su visto bueno durante cada fase de la metodología, así como que realice sugerencias para obtener un resultado exitoso.
- **Disponibilidad del personal.** El proyecto se aplica en el proceso, en el piso de producción, por ello, se debe conceder tiempo para analizar el proceso, así como escuchar las voces de los operadores en cada parte del proceso, incluyendo tiempo de capacitaciones, aplicación de mejoras, reuniones de seguimiento, auditorías, entre otros.
- **Trabajo en equipo multidisciplinario.** El equipo de trabajo debe contener personal de múltiples áreas de la empresa y una de las tareas de cada miembro es proporcionar su experiencia y conocimientos para fortalecer el proyecto, así como participar en las actividades en las que sea requerido.
- **Vinculación industria-academia.** Parte del conjunto de personas que forman el equipo son los miembros de una universidad que agregan valor al desarrollo del proyecto, ya que esto incluye proporcionar al proyecto una sólida base científica, así como en administración de proyectos, entre otros.
- **Soporte interdepartamental.** El personal que no forma parte del equipo base del proyecto, puede proporcionar apoyo puntual en alguna parte del proyecto, a estas personas se les incluye en el equipo de soporte y su función es proporcionar facilidades para que el equipo base de trabajo pueda trabajar en los departamentos necesarios, con el apoyo de los miembros del equipo (principalmente brindar permisos y tiempo para llevar a cabo las actividades del proyecto).

- **Disponibilidad de tiempo.** El proyecto requiere de atención y tiempo que se debe invertir en él para que se obtenga un resultado exitoso, por ello, el equipo base y principalmente el candidato a Black Belt debe calendarizar todo para proporcionar el tiempo necesario al desarrollo del proyecto.
- **Aplicar el proyecto a números de parte de nuevo ingreso.** Como se mencionó con anterioridad, es preferible aplicar el proyecto a números de parte de nuevo ingreso en la planta, ya que este proyecto se implementó a un número de parte nuevo y así es como se fue trabajando y mejorando el proceso desde el inicio, para que los problemas no causaran mayores pérdidas, ya que en la mayoría de las ocasiones es complejo trabajar con un tipo de pieza nuevo.

5. Análisis de Viabilidad de éxito.

Primeramente se realizó la evaluación de riesgos (Ver Tabla 28), donde se presentan los elementos que pueden causar un riesgo a las mejoras implementadas por el proyecto, así como la probabilidad de que sucedan: Alto (A=3), Medio (M=2) y Bajo (B=1), el impacto que tendrán en la misma escala que se mencionó anterior mente, la clasificación que tendrán (multiplicación de las dos columnas anteriores) y la disminución o mitigación para que el impacto no sea tan perjudicial.

Tabla 28. Análisis de riesgo.

Elemento	Probabilidad	Impacto	Clasificación	Disminución
Defectos de fundición afectan otras áreas de la pieza.	M	A	6	Informe de calidad al cliente en reunión semanal
Cambios en las tolerancias dimensionales por el departamento de ingeniería	M	A	6	Retroalimentación inmediata con el cliente y actualizaciones de MIS.
Nuevos operadores de re trabajo	B	A	3	Seguimiento estricto del plan de entrenamiento.
Aumento de los defectos de re trabajo	B	A	3	Monitoreo de la eficiencia de los soldadores y reentrenamiento
Limpieza insuficiente de las varillas antes de iniciar el proceso de soldadura	B	A	3	Auditorías del proceso.
Herramientas dimensionales y de re trabajo en malas condiciones	B	A	3	Revisiones periódicas por los departamentos de ingeniería y calidad
Información equivocada en instrucciones de trabajo.	B	A	3	Auditorías del proceso.
Configuración incorrecta del respaldo de cobre en proceso de soldadura	L	M	2	Seguimiento estricto del plan de entrenamiento.

Se procedió a realizar el análisis FODA y se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 29. Análisis FODA.

Debilidades	Fortalezas	Amenazas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> ○ Proporcionar poco tiempo al desarrollo del proyecto debido a la gran cantidad de trabajo, tanto del líder del proyecto como de los miembros del equipo base. ○ Proceso de corte sin estandarización, lo que no proporcionaba claridad de las características requeridas para que el corte fuera realizado correctamente. ○ Falta de documentación, en el proceso de corte (falta de Norma Operacional) y en el proceso de soldadura (hacer más robusta la técnica de soldadura). ○ Los operadores no siguen la documentación actualizada, una vez realizados los entrenamientos 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Número de parte de nuevo ingreso, para mejorar el proceso desde el inicio y evitar mayores, para mejorar el proceso desde el inicio y evitar mayores pérdidas económicas. ○ Mentor Black Belt experimentado que proporcione el Vo.Bo. en cada fase del proyecto y guíe al equipo para concluir exitosamente el proyecto. ○ Proporcionar cursos y capacitaciones a los miembros de CPP, como el curso impartido por personas capacitadas y experimentadas para obtener el reconocimiento oficial como Black Belt de Seis Sigma. ○ Equipo multidisciplinario conformado por miembros de la industria (personal 	<ul style="list-style-type: none"> ○ En determinado momento, falta de piezas para continuar con el desarrollo del proyecto, debido a los cambios que realiza el cliente. ○ Defectos de fundición afecten a otras áreas de la pieza, debido a los cambios realizados por el cliente para mejorar el proceso de fundición. ○ Cambios en el molde de la pieza que presenten defectos en diferentes zonas de la pieza, así como otro tipo de defectos que deberán atacarse de diferente forma. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Cantidad de piezas que llegan para ser trabajadas, inicialmente una gran cantidad para definir y analizar el comportamiento del número de parte. ○ Piezas con gran cantidad de defectos que proporcionan varios escenarios y presentan la oportunidad al equipo de encontrar las maneras de abordar diferentes tipos de problemas que contengan las piezas a trabajar. ○ Piezas con diferentes áreas dañadas para ser reparadas es una oportunidad para expandir el proyecto. ○ Nuevos operadores en el área de re trabajo proporciona posible reducción de tiempo de ciclo. ○ Estandarización de nuevos procesos al analizarlos de manera detallada.

<p>pertinentes.</p>	<p>de diferentes departamentos de la empresa) y academia.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Estudiante de posgrado dedicado al proyecto que proporcione seguimiento día a día a todo el equipo. ○ Costo de re trabajo más bajo que en EUA. ○ Experiencia de los soldadores que fortalece la técnica de soldadura. ○ Cercanía con las plantas de CPP en California. 		
---------------------	---	--	--

Tabla 30. Modelo de negocios Canvas.

Socios clave	Actividades clave	Propuesta de valor	Relación con el cliente	Segmentos de clientes
<ul style="list-style-type: none"> ○ Planta de CPP que es el cliente. ○ Proveedores de transporte de las piezas al cliente. ○ Inspectores de FPI (Inspección por Líquidos Penetrantes). ○ Inspectores de Rayos X (de Nivel I a Nivel III). 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Seguimiento de la metodología DMAIC. ○ Trabajo en conjunto con el cliente para realizar retroalimentaciones. ○ Implementación de mejores prácticas en los procesos. ○ Documentación de las lecciones aprendidas. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Re trabajo de piezas a menor costo que si se realizaran en la misma planta. ○ Aplicación de Pruebas No Destructivas (FPI y Rayos X). ○ Certificaciones de calidad para las piezas que se re trabajan. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Visitas del cliente para conocer el proceso una vez que se movió a la planta de Ensenada. ○ Retroalimentación es constantes. ○ Auditorías. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Plantas del corporativo de CPP que se encuentren en Estados Unidos, especialmente las que se ubican en la costa oeste.
<ul style="list-style-type: none"> ○ Operadores capacitados y certificados para trabajar la pieza con número de parte 222xxxxx. 	<p style="text-align: center;">Recursos clave</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Personal calificado en cada parte del proceso. ○ Equipo base multidisciplinario . ○ Soporte de un estudiante de posgrado. ○ Piezas disponibles para mediciones y análisis del proceso. 		<p style="text-align: center;">Canales</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Visitas a plantas de CPP en Estados Unidos para conocer los procesos y proponer cuáles se pueden mover a México, específicamente a la planta en Ensenada. ○ Muestras de los procesos transferidos a la planta de Ensenada. 	

Estructura de costos	Fuentes de ingresos
<ul style="list-style-type: none"> ○ Con base en el VSM (Value Stream Mapping, por sus siglas en inglés), el tiempo de valor agregado es el 9.08% del tiempo total (siendo el 90.92% el tiempo de valor no agregado). ○ El tiempo de espera en la operación de soldadura (2027 minutos) es el mayor contribuidor al tiempo de valor no agregado del proceso de re trabajo del número de parte 222xxxxx. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Disminución del costo de re trabajo al menos en 20%.

I. Estudio de Mercado.

El método Seis Sigma puede aplicarse en una gran cantidad de proyectos, ya que se basa en la reducción de la variabilidad para la mejora de procesos industriales, encausándose en la reducción de los defectos que se presentan en el producto o servicio final, para lograrlo, se debe tener gran conocimiento en el proceso de producción.

Las ventajas de aplicar Seis Sigma en los proyectos es que se mide el problema y se valida, hay comunicación constante con el cliente (tanto interno como externo), se enfoca en conocer las mejores prácticas, así como los malos hábitos, además de que mide los resultados y verifica el impacto que tienen. El cliente para este proyecto es la planta hermana de CPP Pomona, ya que la pieza con número de parte 222xxxxx proviene de dicha planta, se trabajó en conjunto con el cliente para el desarrollo del proyecto y dar retroalimentación mutua para alcanzar el objetivo en equipo.

Dentro de los clientes potenciales para este proyecto, se encuentran principalmente las plantas de CPP que se encuentran en la costa oeste: la planta de CPP Pomona (con piezas que tengan otro número de parte), Cudahy, City of Industry, Azusa, Port Hueneme y Rancho Cucamonga, además de otras plantas de CPP que se encuentran en Estados Unidos y las plantas en México (Nogales/Guaymas).

Se recomienda aplicar el proyecto a piezas con número de parte de nuevo ingreso que dentro de los primeros meses presenten problemas de variabilidad y altos costos, ya que de esta forma se evitan mayores pérdidas desde el inicio. Sin embargo, es posible aplicar el presente proyecto a números de parte que ya se trabajen en la planta de Ensenada que presenten tasas altas de tiempo de re trabajo, así como cantidad de ciclos y costo de re trabajo.

6. Describir los impactos potenciales y esperados para el beneficiario.

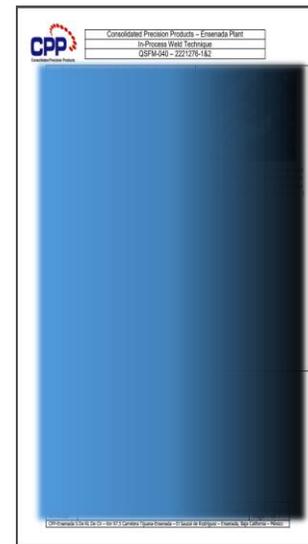
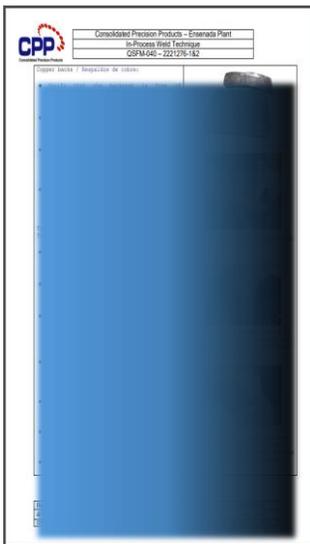
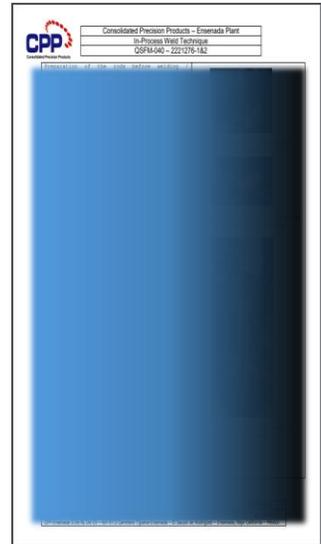
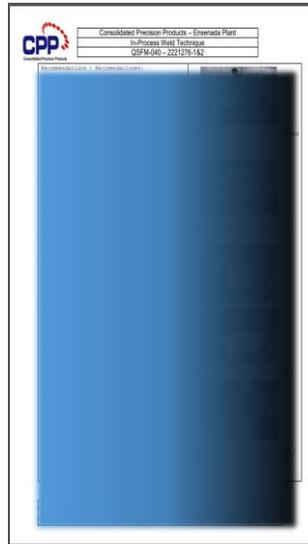
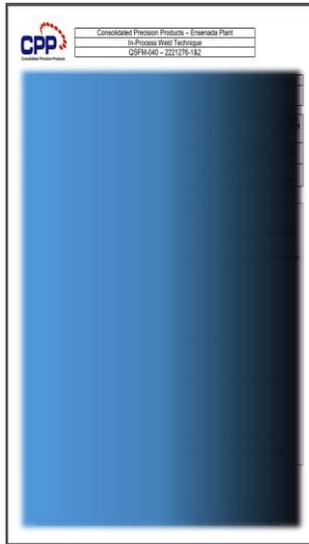
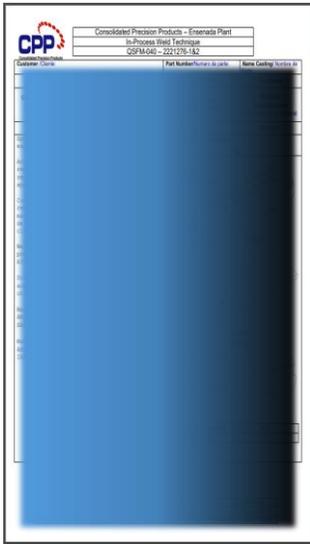
Uno de los objetivos del desarrollo e implementación de este proyecto es proporcionar una reducción de al menos 20% en el tiempo de ciclo de re trabajo en la pieza de aluminio con número de parte 222xxxxx, que en la fase inicial del proyecto (definir) era de 31.47 horas y que se reduzca hasta 11.72 horas por ciclo en la última fase de la metodología (controlar).

El otro objetivo es la reducción al menos en un 20% del costo de re trabajo en la pieza de aluminio con número de parte 222xxxxx, que inicialmente era de \$904 hasta \$632 dólares por casting en promedio (lo que es aproximadamente 30% de reducción en el costo de re trabajo por casting).

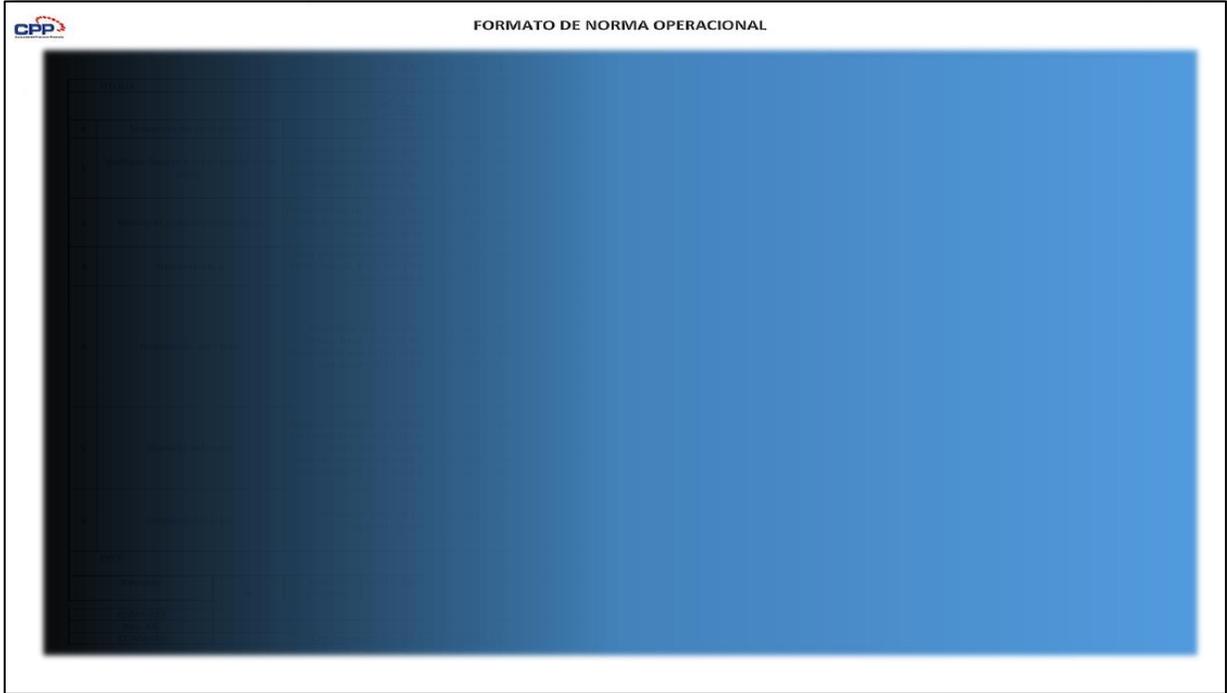
Por otro lado, se considera que con base en este proyecto se estandarizarán los procesos que lo requieran, se actualizará la documentación que se tiene y se realizará nueva documentación en caso de ser necesario.

De igual forma, se llevarán a cabo informes acerca de la calidad de las piezas fundidas al cliente para que mejore su proceso de fundición y se realizará un análisis de las zonas de la pieza con número de parte 222xxxxx que sean las mayores contribuyentes a defectos de fundición.

Anexo 2: Recomendaciones en la Técnica de soldadura



Anexo 3: Norma operacional de corte



Anexo 4: Entrenamiento 1



Consolidated Precision Products – Ensenada Plant **Registro de Capacitación**

Anexo 5: Entrenamiento 2



Consolidated Precision Products – Ensenada Plant **Registro de Capacitación**

A large rectangular area of the page is completely redacted with a solid blue and black gradient, obscuring the training record data. Only a small portion of the table's header and a few handwritten entries are visible on the right side.

Literatura citada

- ASQ. (2019). *What is value stream mapping (VSM)?* Retrieved from Lear about quality: <https://asq.org/quality-resources/lean/value-stream-mapping>
- ASQ. (2020). *Learn about quality*. Retrieved from Gage repeatability and reproducibility: <https://asq.org/quality-resources/gage-repeatability>
- Avila-Cabrera, A. (1999). *El empleo de herramientas estadísticas en el control del proceso*. San Nicolas de Los Garza: UANL.
- Azuz, I. (2018). *Estadística para la toma de decisiones*. Ensenada.
- Bello, C. (2013). *Producción y operaciones aplicadas a las pyme (3a. ed.)*. 2013: Ecoe Ediciones.
- Berkman, E., & Reise, S. (2012). *A conceptual guide to statistics using SPSS*. London: Sage.
- Bhote, K. (2002). *The ultimate Six Sigma: beyond quality excellence to total business excellence*. New York: AMACOM/American Management Association.
- Blanco, D., Barber, R., Malfaz, M., & Salichs, M. Á. (2011, Diciembre). *Diagrama de bloques*. Retrieved from Señales y sistemas: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-de-sistemas-y-automatica/senales-y-sistemas/temas/tema-5-diagrama-de-bloques>
- Brue, G. (2002). *Six Sigma for Managers*. McGraw-Hill.
- Coffey, M. (2019). Correlation analysis.
- Coffey, M. (2019). Elements of a process.
- Coffey, M. (2019). Hypothesis testing protocol.
- Coffey, M. (2019). Process Capability.
- Coffey, M. (n.d.). Hypothesis testing part 2.
- Coffey, M. (n.d.). Six Sigma Process Control Plans.
- de Saeger, A. (2015). *Le diagramme d'Ishikawa: Les liens de cause à effect*. Gestion & Marketing número 5.
- Elliott, A., & Woodward, W. (2007). *Statistical analysis. Quick reference guidebook: with SPSS Examples*. Thousand Oaks: Sage.
- Estadística, I. V. (2002). *Innovación de proceso*. San Sebastián: Euskal Estatistika Erakundea.
- Fryman, M. (2002). *Quality and Process Improvement*. New York: Thomson Learning.
- García Rodríguez de Guzmán, I., García Rubio, F., & Piattini Velthuis, M. (2018). *Calidad de sistemas de información (4a. ed.)*. Madrid: RA-MA Editorial.
- General Electric Company. (1997). *Annual Report*. Fairfield: GE.
- Gonzalez Aleu, F. (2003). *Seis Sigma para Gerentes y Directores*. Libros en Red.
- Harry, M., Mann, P., de Hodgins, O., Lacke, C., & Hulbert, R. (2010). *Practitioner's guide for statistics and lean six sigma for process improvements*. New Jersey: Wiley.
- Hinojosa-Martinez, A. (2006). *Innovación de proceso*. D.F.: Premio Nacional de Tecnología.
- Kan, S. (2004). *Metrics and models in software quality engineering. Second edition*. Boston: Pearson Education.
- Kane, V. (1989). *Defect prevention: use of simple statistical tools*. New York: Marcel Dekker.

- Kirilo, C., Lozano, L., Parreira, R., & Dacorso, E. (2016). Using Logic Concepts on Six Sigma. *Advances in Productions Management Systems. Initiatives for a Sustainable World.*, Vol. 488.
- Klefsjö, B., & Edgeman, R. (2006). Six sigma and total quality management: different day, same soup? *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 162-178.
- Kwak, Y. H., & Anbari, F. T. (2006). Benefits, obstacles, and future of six sigma approach. *Elsevier*.
- Langabeer, J., DelliFraine, J., & Heineke, J. (2009). Implementation of Lean and Six Sigma quality initiatives in hospitals: A goal theoretic perspective. *Oper Manag*, 13-27.
- Linderman, K., Schroeder, R., Zaheer, S., & Choo, A. (2003). Six Sigma: A goal-theoretic perspective. *Journal os Operations Management*, 193-203.
- Llinás, H., & Rojas, C. (2017). *Estadística descriptiva y distribuciones de probabilidad*. . Barranquilla: Universidad del Norte.
- Magnusson, K., Kroslid, D., Bergman, B., & Barba, E. (2006). *Seis Sigma, una estrategia pragmática*. Barcelona : Ediciones Gestión 2000.
- McCarty, T., Bremer, M., & Daniels, L. (2004). *Six sigma black belt handbook*. McGraw-Hill.
- McCarty, T., Daniels, L., Bremer, M., & Gupta, P. (2004). *The Six Sigma Black Belt Handbook* . McGraw-Hill.
- McClusky, R. (2000). The rise, fall and revival of Six Sigma. *Measuring Business Excellence*, 6-17.
- Minitab 19. (2019). *Support Minitab*. Retrieved from Example of Run Chart: <https://support.minitab.com/en-us/minitab/19/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/quality-tools/how-to/run-chart/before-you-start/example/>
- Minitab®. (2019). *Soporte de Minitab® 18*. Retrieved 02 19, 2020, from Elementos básicos de un diagrama de Pareto: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/quality-tools/supporting-topics/pareto-chart-basics/>
- Munro, R. (2009). *Lean Six Sigma for the Healthcare Practice : A Pocket Guide*. Milwaukee: ASQ Quality Press.
- Muralidharan, K. (2015). *Six sigma concepts*. In: *Six Sigma for Organizational Excellence*. New Delhi: Springer.
- Murphy, T. (1998). Close enough to perfect. *Ward's Auto World*, Vol. 34 No. 2.
- Ocampo, J., & Pavón, A. (2012). Integrando la Metodología DMAIC de Seis Sigma con la Simulación de Eventos Discretos en Flexsim. *Megaprojects: Bulding Infrastructure by Fostering Engineering Collaboration, Efficienct and Effective Integration and Innovative Planning* (p. 147). Panama City: LACCEI 2012.
- Pande, P., Neuman, R., & Cavanagh, R. (2002). *Las claves de seis sigma: la implantación con éxito de una cultura que revoluciona el mundo empresarial*. Madrid: McGraw-Hill.
- Pardo, J. (2017). *Gestión por procesos y riesgo operacional*. Madrid: AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación.

- Pérez, A. (2012). *Método Seis Sigma: Aplicación a una empresa de telecomunicaciones*. Mendoza: Universidad Nacional de Cuyo.
- RAE. (2020). *Innovación*. Retrieved 02 22, 2020, from RAE: <https://dle.rae.es/innovaci%C3%B3n>
- Raisinghani, M. S. (2005). Six Sigma: concepts, tools, and applications. *The Emerald Research: Industrial Management & Data*, 491-505.
- Roberts, M., & Russo, R. (1999). *A student's guide to analysis of variance*. New York: Routledge.
- Rojas, M. D., Correa, A., & Gutiérrez, F. (2012). *Sistemas de control de Gestión*. Bogotá: Ediciones de la U.
- Sales, M. (2013). *Diagrama de Pareto*. EALDE Business School.
- SAS Institute. (2014). *JMP 14. Quality and Process Methods*. SAS Institute.
- Shankar, R. (2009). *Process Improvement Using Six Sigma : A DMAIC Guide*. Milwaukee: ASQ Quality Press.
- Socconini, L. (2015). *Certificación Lean Six Sigma Green Belt para la excelencia en los negocios*. Barcelona: Marge Books.
- Tecnología, P. E. (2001). *Sep-Conacyt*. Conacyt.
- The Open University. (n.d.). *Interpreting data: Boxplots and tables*. Open learn.
- Thomas, A., Mason-Jones, R., Davies, A., & John, E. (2015). Reducing turn-round variability through the application of Six Sigma in aerospace MRO facilities. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 314-332.
- Vilar-Barrio, J. F. (2005). *Control Estadístico de los procesos (SPC)*. Madrid: Fundación Confemetal.
- Welch, J., & Byrne, J. A. (2001). *Straight from the gut*. New York: Warner Books.