



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

APLICABILIDAD DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA EN PROYECTOS DE
EDIFICACIÓN

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

CRISTOBAL CLAUDIO GALLARDO HUENCHULEO

PROFESOR GUÍA:

ALEJANDRO POLANCO CARRASCO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

HORACIO PINOCHET VEJAR

EDGARDO GONZALEZ LIZAMA

SANTIAGO DE CHILE

2021

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
POR: Cristobal Claudio Gallardo Huenchuleo
FECHA:14/07/2021
PROF. GUÍA: Alejandro Polanco Carrasco

APLICABILIDAD DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA EN PROYECTOS DE EDIFICACIÓN

Los proyectos del área de construcción en el contexto actual de competitividad y mejora de la productividad requieren ejecutar correctamente los procesos constructivos y de gestión para obtener productos y servicios que cumplan con los requerimientos de los clientes. En el área de construcción es importante establecer estándares de calidad que confirmen el cumplimiento de normas, especificaciones técnicas y exigencias del cliente en cada etapa de desarrollo. En este sentido las distintas formulaciones de métodos de mejora continua de proceso son imprescindibles para lograr la disminución de errores y defectos en la construcción.

Es con este objetivo que surge a mediados de la década de los 80 la Metodología Seis Sigma el cual considera alcanzar 3,4 defectos por millón de oportunidades o productos. Esta metodología considera que la distribución de los datos de errores y defectos posean una distribución normal, es decir que no hay causas especiales que afecten la distribución probabilística de estos.

En el presente Trabajo de Título se analiza la aplicabilidad del método Seis Sigma en proyectos de edificación basado en un estudio completo en la bibliografía para definir sus características principales, variables a considerar y también herramientas estadísticas necesarias que se aplican en las etapas DMAMC junto con el rol de cada una de ella. También se hace un estudio de conocimiento y experiencia de los profesionales del sector de construcción mediante encuestas y entrevistas. Se estudia la aplicabilidad en un proyecto de ampliación de un mall de cuatro pisos y estacionamientos subterráneos. Se realiza el análisis de cuatro proyectos de mejoras correspondientes a dos casos de defectos de la construcción (costos) y dos proyectos de mejoras en procesos de operación y gestión (plazos). El estudio del caso real de edificación se realiza según el método DMAMC y solamente hasta la etapa de Mejoras, debido al contexto y el tiempo que la etapa de seguimiento y control requiere.

Una de las principales conclusiones que se obtienen es que el método si es aplicable a proyectos de edificación que posean un correcto registro de datos acerca de errores y defectos y que tengan una distribución normal de probabilidad. La metodología Seis Sigma permite una reducción de los costos por concepto de no calidad en los procesos de construcción, así también una reducción en la variación de plazos correspondiente a procesos de gestión y control de operaciones. En el contexto de proyectos del área de construcción, obtener resultados del nivel tres sigma (2700 defectos por millón) ya no es suficiente en la industria de las edificaciones y se hace necesario evolucionar a mayores niveles de conformidad, es decir al nivel seis sigma (3,4 defectos por millón).

Agradecimientos.

Mis primeras palabras de agradecimiento son a Dios porque me permitió estudiar y terminar este ciclo, era complicado y difícil, pero en mi debilidad surgió la fortaleza necesaria para estar en esta prestigiosa universidad con excelentes profesores y compañeros que aportaron a mi formación como profesional. Con una mención especial al profesor Alejandro Polanco por su paciencia y motivación que me aportó para el desarrollo de esta Memoria de Título, sin duda es uno de los grandes referentes que tengo de excelencia y calidad como Ingeniero Civil. De igual manera los profesores de la comisión evaluadora que siempre tuvieron una buena disposición para ayudarme y orientarme a mejorar cada día. Y a mis compañeros y compañeras que estaban en el mismo proceso que yo, que compartimos momentos de estrés y trabajo, pero siempre con palabras de ánimo y cariño para terminar con éxito.

Agradezco a mis padres y a mis hermanas Kathy, Jazmin, Cony y a mi hermano mayor Claudio, también a mi tío Iván por todo el apoyo y comprensión en mis noches de estudio en cada año de universidad. También a toda mi familia en general que siempre fue un pilar de ánimo y cariño para mí.

Debo destacar el rol importante de mis mejores amigos con mención especial a Oscar y Samuel junto con sus familias porque siempre estuvieron apoyándome en los momentos que necesite de buenas conversaciones y buenos momentos organizando juntas de asuntos nerd.

También a cada persona que comparte mi fe y que siempre tuvo palabras de apoyo y ánimo frente a cada dificultad que viví. Con una mención especial a mi compañero desde la educación media y ahora colegas Ignacio por su increíble ayuda para esta etapa final.

La Escuela de Ingeniería es una aventura desafiante a superar los límites y pruebas exigentes, aprobar cada ramo en un ambiente pluralista, fue una experiencia increíblemente única haber estudiado en Beauchef, grandes momentos en la facultad, recuerdos para toda la vida, anécdotas, conocimiento, exigencia, excelencia, amistades increíbles, dificultades y logros. Pero al fin la meta está cumplida.

Tabla de contenido

Capítulo 1 : Introducción.	1
1.1. Motivación.	1
1.2. Contexto.	2
1.3. Objetivos	2
1.3.1. Objetivo General	2
1.3.2. Objetivos Específicos.	2
1.4. Metodología.	3
1.5. Resultados esperados.	3
Capítulo 2 : Marco teórico.	4
2.1. Metodología Seis Sigma, origen y características principales.	4
2.2. Conceptos estadísticos previos.	5
2.2.1. Resultados de procesos y niveles Sigma.	5
2.2.2. Características del nivel 6σ.	6
2.2.3. Rendimiento de un proceso.	8
2.3. Herramientas para la etapa Definir.	9
2.3.1. Diagrama SIPOC.	9
2.3.2. Ciclo QFD o función de la calidad.	10
2.4. Herramientas para la etapa Medir.	11
2.4.1. Histograma.	11
2.5. Herramientas para la etapa Analizar.	12
2.5.1. Diagrama de Ishikawa.	12
2.5.2. Análisis de Pareto.	13
2.5.3. Diagrama de flujo de procesos.	15
2.5.4. Diagrama de Dispersión.	16
2.5.5. Cadena de valor.	17
2.5.6. Análisis del sistema de medición ANOVA.	18
2.6. Herramientas para la etapa Mejorar.	20
2.6.1. Diagrama de árbol para el planteamiento de soluciones.	20
2.6.2. Análisis de modos de fallo y efectos (AMFE).	21
2.7. Herramienta para la etapa Control.	22
2.7.1. Gráfico de control.	22
2.6. LA Metodología Seis Sigma, estructura DMAMC y organización.	24

2.6.1.	Etapa Definir.	27
2.6.2.	Etapa Medir.	28
2.6.3.	Etapa Analizar.	29
2.6.4.	Etapa de Mejora.	30
2.6.5.	Etapa de Control.	31
2.6.6.	Estructura organizacional de la metodología Seis Sigma.	32
2.7.	Rediseño Seis Sigma de procesos.	34
2.7.1.	Rediseño de Procesos (DMADV).	35
2.8.	Gestión por procesos.	36
Capítulo 3 : Gestión de herramientas de diagnóstico y aplicación de la metodología Seis Sigma.		37
3.1.	Estudio y análisis de mapa de procesos de construcción.	37
3.1.1.	Gestión de Construcción.	37
3.1.2.	Procesos constructivos.	39
3.2.	Planteamiento y desarrollo de encuesta a profesionales en gestión de calidad y procesos de mejora continua relacionada con Seis Sigma.	41
2.10.1.	Objetivos de la encuesta.	41
2.10.2.	Estructura de la encuesta.	41
2.10.3.	Presentación de preguntas de la encuesta.	42
3.3.	Desarrollo de entrevistas a profesionales en gestión de calidad de empresas constructoras.	44
3.3.1.	Objetivos de la entrevista.	44
3.3.2.	Estructura de la entrevista.	45
3.3.3.	Preguntas de la entrevista.	45
3.4.	Proyectos realizados según la aplicabilidad de la Metodología Seis Sigma.	46
Capítulo 4 : Estudio sobre la aplicación de la Metodología Seis Sigma en proyectos y casos de estudio extranjeros.		47
4.1.	Ejemplos de la aplicación de la Metodología Seis Sigma en proyectos de países extranjeros.	47
4.1.1.	Aplicación de Seis Sigma a procesos de viviendas de interés social (Jorge Alfredo Rojas Rondán, 2020)	47
4.1.2.	Proceso de montaje de una estructura aeronáutica. (Estrada Carrasco, Elena, 2015)	51
4.1.3.	Caso de aplicación de Seis Sigma en una empresa productora de Cemento. (Herrera, 2011)	53
4.1.4.	El método de Seis Sigma en la industria de la construcción para vivienda en serie. (Jimenez Lara, Julian Alberto, 2005)	55
4.1.5.	Registros de datos en proyectos de construcciones en Europa (Yepes Piqueras, Victor, 2014)	57

Capítulo 5 : Resultados y análisis de entrevistas y encuestas.....	59
5.1. Entrevistas.	59
5.2. Encuestas.....	62
3.5. Análisis de resultados.....	67
3.5.1. Entrevistas.....	67
3.5.2. Encuestas.....	68
Capítulo 6 : Caso de estudio en Metodología Seis Sigma.....	69
5.1. Contexto.	69
5.2. Proyectos de mejora en procesos de Hormigonado.....	70
5.2.1. Proyecto de Mejora Hormigonado 1.	71
5.2.2. Proyecto de mejora Hormigonado 2.....	82
6.2. Proyectos de mejora en procesos de Operación y Gestión.	97
6.2.2. Proyecto de mejora en Operaciones y Gestión 1.	97
6.2.3. Proyecto de mejora Operación y Gestión 2.....	107
Capítulo 7 : Conclusiones y recomendaciones.....	115
7.1. Conclusiones generales sobre la Metodología Seis Sigma.....	115
7.2. Conclusiones de la aplicabilidad de la Metodología Seis Sigma en proyectos de edificación.	115
7.3. Recomendaciones en la Aplicabilidad de la Metodología Seis Sigma.....	116
Capítulo 8 : Bibliografía	118

Índice de tablas

Tabla 1. Resultados de rendimiento por nivel Sigma.....	8
Tabla 2. Método ANOVA para dos factores.....	18
Tabla 3. Preguntas de Caracterización de los profesionales encuestados.....	42
Tabla 4. Primera Sección de preguntas de entrevista a Ingenieros Civiles.....	45
Tabla 5. Segunda Sección de preguntas de entrevista a Ingenieros Civiles.....	45
Tabla 6. Tercera sección de preguntas de entrevista a Ingenieros Civiles.....	46
Tabla 7. Incidencia de especialidades en proyecto Vivienda Interés Social.....	47
Tabla 8. Registro de observaciones en hormigonado.....	48
Tabla 9. Tabla de relación de nivel Sigma.....	50
Tabla 10. Puntos críticos de la fabricación del cemento.....	54
Tabla 11. Tabla resumen de DPMO, rendimiento, nivel Sigma y rendimiento por unidades de salida.....	55
Tabla 12. Lista de defectos considerados en el proyecto de viviendas en serie.....	56
Tabla 13. Resumen de defectos y rendimiento.....	56
Tabla 14. Resumen de resultados nivel Sigma.....	57
Tabla 15. Resumen de comentarios principales a la primera sección de preguntas de la entrevista.....	60
Tabla 16. Segunda sección de preguntas a entrevistados.....	61
Tabla 17. Datos de error Pérdida de Hormigón.....	74
Tabla 18. Datos de error Pérdida de Hormigón.....	75
Tabla 19. Clasificación de naturaleza de errores.....	77
Tabla 20. Datos de análisis de Pareto en Hormigonado.....	78
Tabla 21. Datos de cálculo de nivel sigma en mejora de Pérdida de Hormigón.....	81
Tabla 22. Resumen de Tolerancias por elemento y grado correspondiente.....	84
Tabla 23. <i>Datos de error Pilares y Muros</i>	85
Tabla 24. Cálculo de nivel Sigma para defectos de Pilares y Muros.....	86
Tabla 25. <i>Datos de error Losas y Vigas</i>	86
Tabla 26. Cálculo de nivel Sigma para defectos de Losas y Vigas.....	87
Tabla 27. Clasificación de la naturaleza de errores en elementos que no quedan en medidas especificadas.....	89
Tabla 28. Datos para Pareto Losas y Vigas que no quedan en dimensiones especificadas.....	90
Tabla 29. Datos para análisis de Pareto en errores de Losas y Vigas de hormigón.....	91
Tabla 30. Cálculo Nivel sigma en la mejora de hormigonado en Pilares y Muros.....	95
Tabla 31. Calculo Nivel sigma en la mejora de hormigonado en Vigas y Losas.....	96
Tabla 32. Tabla de resultado de nivel sigma de medidas de errores en Planificación y Gestión.....	100
Tabla 33. Clasificación de errores en Planificación y Gestión.....	102
Tabla 34. Datos para Análisis de Pareto en Planificación y Gestión.....	103
Tabla 35. Cálculo de nivel Sigma en caso de mejora de proyecto de Planificación y Gestión.....	106
Tabla 36. Tabla de resultado de nivel sigma de medidas de errores en Información a proveedores externos.....	109
Tabla 37. Clasificación de errores en Proyecto de mejora Información a proveedores externos.....	111
Tabla 38. Datos de errores de Análisis de Pareto en Información de Proveedores externos.....	112
Tabla 39. Cálculo de nivel Sigma en caso de mejora de proyecto de Planificación y Gestión.....	114

Índice de figuras.

Figura 1. Niveles sigma de un proceso	5
Figura 2 Curva de rango de desviaciones estándar	7
Figura 3. Ejemplo Grafico SIPOC	9
Figura 4. Despliegue de la función de Calidad.	10
Figura 5. Ejemplo de Histograma.	11
Figura 6. Ejemplo de la aplicación del Diagrama de Ishikawa con el método de las 6M.	13
Figura 7. Ejemplo de la aplicación del Diagrama de Pareto.	14
Figura 8. Ejemplo de diagrama de flujo para la gestión de construcción.	15
Figura 9. Ejemplos de aplicación de diagramas de dispersión.	16
Figura 10. Ejemplo de Cadena de Valor.	17
Figura 11. Diagrama de árbol utilizado para presentar mejoras.	20
Figura 12. Esquema del proceso de AMEF.	21
Figura 13 Relación AMEF en procesos de mejora.	22
Figura 14. Ejemplo de aplicación de gráfico de control en proyecto de edificación.	23
Figura 15. Diagrama de estructura DMAIC.	25
Figura 16. Las 14 preguntas de Conocimiento crítico DMAIC.	27
Figura 17. Jerarquía del Equipo Seis Sigma.	32
Figura 18. Estructura DMADV	36
Figura 19. Mapa de proceso de Construcción.	38
Figura 20. Mapa de procesos de proyectos de edificación.	40
Figura 21. Estructura de encuestas a Profesionales de Gestión de Calidad.	42
Figura 22. Estructura temática de entrevista Ingenieros Civiles.	45
Figura 23. Fases del ciclo de mejora DMAIC.	48
Figura 24. Diagrama de Pareto aplicado al proceso de hormigonado.	48
Figura 25. Diagrama de Pareto aplicado en los Moldajes.	49
Figura 26. SIPOC aplicado al proceso de moldaje.	49
Figura 27. SIPOC aplicado al proceso de Hormigonado.	50
Figura 28. Pieza Tailboom en estudio de aplicación Seis Sigma.	51
Figura 29. Distribución de los fallos en las etapas del proceso constructivo según el Bureau Seguritas (Francia, 1978).	58
Figura 30. Distribución de los fallos según el Bureau Seguritas (Francia, 1978)	58
Figura 31. Distribución de cargo de los entrevistados.	59
Figura 32. Distribución de experiencia laboral de entrevistados.	59
Figura 33. Distribución de áreas de desempeño de los encuestados.	62
Figura 34. Experiencia de encuestados en procesos de gestión de construcción con más errores.	63
Figura 35. Experiencia de los encuestados en procesos constructivos con más variaciones.	63
Figura 36. Distribución de experiencia de encuestados en frecuencia de documentación de gestión.	64
Figura 37. Distribución de experiencia de encuestados en frecuencia de documentación de procesos	64
Figura 38. Distribución de experiencia de encuestados en aumento de costos por arreglo de errores.	65
Figura 39. Distribución de experiencia de encuestados en aumento de plazos por errores.	65
Figura 40. Distribución de experiencia de encuestados en conocimiento de metodología	66
Figura 41. Distribución de experiencia de encuestados en uso de metodología PDCA.	66
Figura 42. Distribución de experiencia de encuestados en evaluación de conformidad.	67
Figura 43. Registro de Costos de No Calidad por Procesos.	70

Figura 44. Diagrama SIPOC de Perdida de Hormigón.	71
Figura 45. Registro de No Conformidades año 2018 del proceso de Hormigonado.....	72
Figura 46. Registro de No Conformidades año 2019 del proceso de Hormigonado.....	73
Figura 47. Histograma de Pérdida de Hormigón.....	74
Figura 48. Diagrama de flujo del proceso de hormigonado.	76
Figura 49. Diagrama de Ishikawa o espinas pescado del proceso de pérdida de hormigón.....	77
Figura 50. Diagrama de Pareto de frecuencia en Pérdida de hormigón.	78
Figura 51. Diagrama de Pareto de costos en pérdidas de hormigón.	79
Figura 52. Diagrama de árbol de soluciones para las ideas de mejoras en hormigón.	80
Figura 53. Histograma de mejora en perdida de hormigón.....	81
Figura 54. Diagrama SIPOC del proceso de hormigonado en Pilares y Losas.	83
Figura 55. Histograma de Elemento no queda en medidas específicas en Pilares y Muros.....	85
Figura 56. Histograma de Elemento no queda en medidas específicas en Losas y Vigas.	87
Figura 57. Diagrama de flujo del proceso de hormigonado de Losas y Pilares.	88
Figura 58. Diagrama de Ishikawa o espinas pescado del proceso de Elemento no queda en medidas específicas.	89
Figura 59. Análisis de Pareto a errores de Losas y Vigas cuando las no quedan en las dimensiones especificadas por plano.	90
Figura 60. Análisis de Pareto a porcentajes de costos asociados a cada tipo de error en Losas y Vigas de hormigón.	91
Figura 61. Diagrama de Pareto para pilares y muros de hormigón.	92
Figura 62. Porcentajes de costos asociados a cada tipo de error en Pilares y Muros de hormigón.....	92
Figura 63. Diagrama de soluciones para Losas y Pilares de hormigón.....	93
Figura 64. Diagrama de mejora en Pilares y Muros de hormigón.....	94
Figura 65. Histograma de mejora en Losas y Vigas.....	95
Figura 66. Figura de orden de especialidades en la Planificación de proyecto edificación.	98
Figura 67. Histograma de Planificación y Gestión de materiales en Obra.....	99
Figura 68. Diagrama de flujos para la Planificación y Gestión.....	101
Figura 69. Diagrama de Causa efecto de Ishikawa para la Planificación y Gestión.	102
Figura 70. Gráfico de Análisis de Pareto para la Planificación y Gestión.	103
Figura 71. Distribución de Costos en los errores de Planificación y Gestión.	104
Figura 72. Diagrama de árbol de soluciones y mejoras para Planificación y Gestión.	105
Figura 73. Histograma de datos en caso de mejora de proyecto Planificación y Gestión.....	106
Figura 74. Esquema de jerarquía de gestión de Subcontratos y proveedores externos a la edificación.....	107
Figura 75. Histograma de errores en Información de Proveedores externos.	108
Figura 76. Diagrama de flujo para proceso de administración y control de Subcontrato y proveedores externos.	110
Figura 77. Diagrama de Causa- Efecto de Ishikawa para los defectos de Información a Proveedores externos.	111
Figura 78. Análisis de Pareto a los defectos de Información a Proveedores externos.	112
Figura 79. Diagrama de árbol de mejoras y soluciones para Información de Proveedores externos.	113
Figura 80. Histograma de datos con la aplicación de mejoras propuestas.	114

Capítulo 1 : Introducción.

1.1. Motivación.

En los últimos años ha surgido la necesidad de gestionar las organizaciones de proyectos de una forma distinta a como se hacía tradicionalmente, esto producto de la competitividad y el ingreso a los mercados internacionales por el efecto de globalización. Estos factores impulsan a plantear nuevas formas de obtener ventajas e implementar una optimización de los procesos en los proyectos de ingeniería y construcción.

En la actualidad la gran mayoría de las empresas constructoras en Chile tienen un sistema de gestión de la Calidad para lograr cumplir eficiente y satisfactoriamente con las especificaciones técnicas y requisitos en los distintos procesos de construcción de edificios.

Estos sistemas de Gestión de la Calidad se han normalizado y estructurado con la norma ISO 9001 cuyas versiones 2008 y 2015 han mejorado los aspectos necesarios para beneficiar y asegurar tanto al cliente como a la empresa constructora la calidad de sus productos y servicios en los proyectos de edificación. En la actualidad está aún más presente el uso de herramientas de gestión y control de proyectos Lean Construction con aplicaciones de Last Planner para cumplir los programas y plazos de termino.

Una de las metodologías que existe hace décadas y es complementaria a los sistemas de Gestión de la Calidad es la metodología Seis Sigma, la cual se enfoca a la mejora de los procesos en base a la utilización de herramientas y métodos estadísticos aplicados de forma sistemática y organizada lo que permite reducciones del error, un mejor enfoque en el cliente y ahorro de tiempo en la realización de los procesos constructivos. También esta metodología promueve el trabajo colaborativo de todos los equipos profesionales, esto mediante la conformación de roles y tareas específicas fijando objetivos de rendimientos para todos en el proyecto.

La formulación de la metodología Seis Sigma se compone de una fuerte orientación al cliente, una gestión orientada a datos, procesos y mejora de éstos, con una colaboración efectiva y eficiente para la búsqueda de la perfección en cada resultado. En el contexto de la construcción tales componentes pueden ser totalmente necesario para el éxito de los proyectos en cuanto a disminución de costos por errores y tiempo de realización controlando las variaciones que pueden ocurrir en los procesos críticos de construcción.

El principal objetivo de la investigación para este Trabajo de Memoria de Título es el análisis de la aplicabilidad de la metodología de Seis Sigma en la construcción de Edificios, aportando en la planificación, forma de abordar y analizar los problemas de calidad y productividad relacionados en los proyectos de Ingeniería Civil.

1.2. Contexto.

La metodología Seis Sigma se inicia a mediados de la década del 80 con el estudio a la reducción de variaciones de los procesos de producción basado en una fuerte base estadística, formulada con el objetivo de alcanzar niveles muy cercanos a cero defectos en los procesos. Es necesario recordar que es una metodología que en sus inicios se aplicó para reducir fallas y errores en los procesos industriales y de manufactura. Pero la aplicabilidad del método no solo es exclusiva para tales especialidades, sino que se puede realizar en los proyectos de construcción de edificios, que es el objetivo de esta Memoria de Título.

En la actualidad el método Seis Sigma ha sido aplicado en empresas como Sherwin William Chile, Minera Escondida, 3M, Black & Decker y Toshiba entre otros, mientras que en el área de construcción se conoce por ejemplo el caso de Bechtel Chile Ltd siendo aún poco frecuente el uso de la metodología en proyectos de ingeniería civil, es este el motivo de investigar el acceso a la aplicabilidad de la metodología en las empresas constructoras del país.

La metodología Seis Sigma tiene un esquema denominado DMAIC que reúne los conceptos de Definir los requisitos del cliente y especificaciones técnicas, Medir los defectos, Analizar los datos, Mejorar los procesos y Controlar la ejecución de las mejoras. Así es como la metodología Seis Sigma hace reducir la variación para conseguir desviaciones estándar cada vez más pequeñas hasta alcanzar que los productos y servicios cumplan, o excedan las expectativas de los clientes o las especificaciones técnicas en la edificación.

Los resultados que entrega la metodología Seis Sigma es el ahorro en tiempo y la eliminación del costo debido a no conformidad, además que se puede lograr aportar al avance de proyectos de construcción de edificios en Chile frente a la creciente demanda de proyectos inmobiliarios de departamentos habitacionales, en los cuales las empresas constructoras requieren de optimizar tiempo y recursos de materiales controlando los defectos y no conformidades.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Analizar la Aplicabilidad de la Metodología Seis Sigma en proyectos de edificación.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Realizar diagnóstico de conocimiento de la metodología Seis Sigma en proyectos de edificación.
- Analizar la aplicabilidad de la metodología Seis Sigma a los procesos de construcción y gestión de edificaciones de varios usos.
- Analizar ventajas y desventajas del uso de la aplicabilidad del método Seis Sigma en edificación.
- Proponer una Metodología simple para Seis Sigma en proyectos de edificación.

1.4. Metodología.

El estudio de la aplicabilidad de Seis Sigma en los proyectos de construcción de edificios constructoras se realizará con:

1. Revisión de bibliografía relacionada con la metodología Seis Sigma y su aplicación práctica.
2. Análisis del nivel de conocimiento actual y factibilidad de uso de la práctica de la metodología Seis Sigma mediante reuniones, encuestas y entrevistas a los profesionales encargados del Área de Calidad de empresas de construcción.
3. Análisis de procesos constructivos críticos para proyectos de construcción de edificios.
4. Estudio de los casos reales y potenciales de la aplicabilidad y beneficios directos del método Seis Sigma en proyectos de edificación.

1.5. Resultados esperados.

- Se espera lograr obtener un diagnóstico del conocimiento de la metodología Seis Sigma en el contexto de los proyectos de edificación.
- Lograr realizar un análisis de la aplicabilidad de la metodología Seis Sigma a procesos constructivos y gestión de edificaciones de varios usos.
- Estimar las ventajas y desventajas del uso de la metodología Seis Sigma en el contexto de proyectos de edificación.
- Poder establecer una forma de metodología simple para Seis Sigma en proyectos de edificación.

Capítulo 2 : Marco teórico.

2.1. Metodología Seis Sigma, origen y características principales.

Seis Sigma constituye una metodología de gestión de mejora de calidad y negocio en proyectos de variadas especialidades, desarrollado principalmente para mejorar la productividad y disminuir la variabilidad presente en procesos tanto de fabricación como en servicios, validándose de herramientas de análisis estadísticos y de una filosofía en la gestión del trabajo en equipo para involucrar todos los factores y variables presentes en las rutas críticas del proyecto. El producto final de la metodología es reducir los costos producidos por la no conformidad a los requerimientos y exigencias de los clientes.

La filosofía de Seis Sigma es lograr a hacer bien y en una sola oportunidad la labor correspondiente en los procesos de productividad, guiando a una cultura empresarial donde destaque la eficacia, eficiencia y calidad (Valencia, 2000). En los comienzos de la aplicación de la metodología se focalizó en el uso de recursos de gestión de procesos de fabricación industrial, cuya singularidad es producir un mismo elemento en reiterados ciclos de la línea de producción. En cuyo caso la metodología permite ofrecer una forma sistemática sólida para gestionar el despliegue de actividades que ayuden a mejorar los niveles de calidad, productividad y rentabilidad en los proyectos.

Una de las características principales de Seis Sigma es que forma un plan de trabajo con un fuerte enfoque de disponer información cuantitativa y exacta en datos y cifras para evaluar el desempeño de los procesos, esto es lo que permite la aplicabilidad de una forma confiable y correcta para validar cada hipótesis formada por la identificación de los problemas que forman errores y variaciones.

La disciplina y cultura de la metodología se forman en base al entrenamiento y capacitación del personal que forma parte del proyecto o servicio para poder alinear las metas y objetivos, herramientas y recursos que forman parte del planteamiento de mejora continua mediante la aplicación de una etapa de Definición, Medición, Análisis, Mejoramiento y Control (DMAMC) en la ruta crítica del proyecto. Donde se puede sintetizar que el producto final no tan solo se enfocará en la gestión de calidad del servicio o producto sí que también en el aumento de valor para los clientes y mejora de procesos.

Esta metodología se origina a mediados de la década del 80 en la empresa Motorola a cargo de Mikel Harry y que posteriormente se implementó en empresas como General Electric, Sony, Toshiba, Polaroid, City Bank y American Express (Yepes Piqueras, Victor, 2014) logrando grandes resultados logrando ser empresas de Clase Mundial con una gestión y procesos más rápidos, con un mejor producto o servicio y a un mejor costo.

Pero la metodología se puede adaptar al área de proyectos de construcción fijándose en la mejora de los procesos más significativos en las etapas constructivas y que puedan otorgar una documentación de datos a lo largo del tiempo de ejecución del proyecto hasta finalmente la entrega al cliente. (M. Mellado, 2013)

Antes de detallar más específicamente el estudio de la aplicabilidad de Seis Sigma en proyectos de edificación, es necesario estimar todos los conceptos que construyen la metodología

y que permiten ocupar los recursos de herramientas estadísticas así también el enfoque a la gestión de la calidad a fin de eliminar los costos por no calidad en los procesos del proyecto.

2.2. Conceptos estadísticos previos.

2.2.1. Resultados de procesos y niveles Sigma.

Los procesos entregan resultados que estadísticamente se pueden analizar en un rango determinado de valores inferiores y superiores a los especificados como aceptables, por lo tanto, los valores fuera del rango aceptable se consideran defectos del proceso.

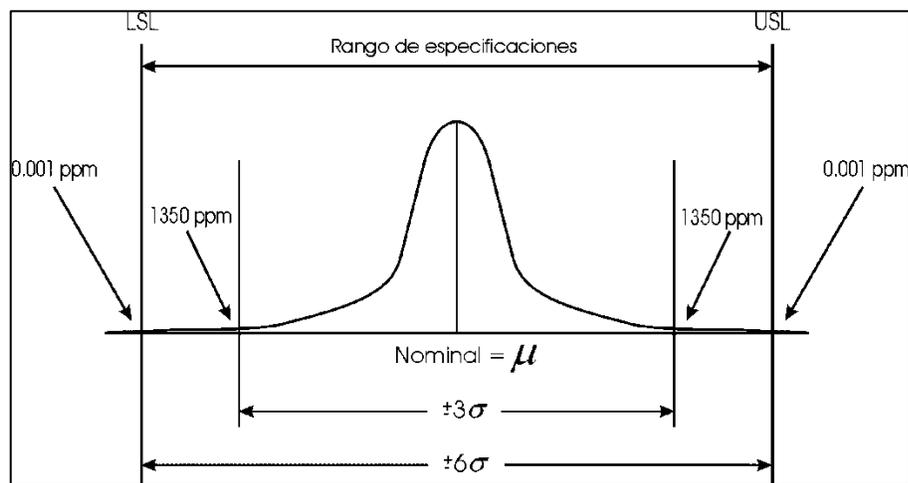


Figura 1. Niveles sigma de un proceso

Fuente: Aplicación de la Metodología Seis Sigma, en la mejora del desempeño en el consumo de combustible de un vehículo en las condiciones de uso del mismo Capítulo 1: Introducción a la Metodología Seis Sigma, Morales Macedo, Jorge Antonio, 2007.

La letra sigma σ utilizada en el Imagen 1 representa la variación estándar de los datos esto permite determinar el “Nivel Sigma” como la distancia entre la media y los límites superior e inferior de las especificaciones correspondientes. Es recurrente que se considere una desviación de datos de $\pm 3\sigma$, lo que indica que dicho proceso sea capaz de producir resultados con sólo 2,7 defectos por cada mil oportunidades. Este criterio hace formular un porcentaje de error aceptable o una situación ideal en la que el valor medio y los valores mínimo y máximo del proceso se encuentren dentro del rango aceptable por el cliente.

Para estimar el nivel sigma se ocupan métricas (Z) que se obtienen calculando a la distancia entre la media (μ) y las especificaciones establecidas divididas por la desviación estándar. De esta manera para un proceso con doble especificación se obtienen $Z_{superior}$ y $Z_{inferior}$ definiéndose:

$$Z_{superior} = \frac{\text{Especificación} - \mu}{\sigma}$$

$$Z_{inferior} = \frac{\mu - Especificación}{\sigma}$$

Entonces la capacidad de un proceso medidas en términos de Z resulta igual al menor valor entre $Z_{superior}$ y $Z_{inferior}$. Definido así:

$$Z = \min(Z_{superior}, Z_{inferior})$$

El valor de Z indicaría la calidad en términos σ . Ahora queda claro que la desviación estándar puede estar definida en un largo o corto plazo según el alcance del proyecto por lo cual se ha determinado que la media de un proceso se puede desplazar a través del tiempo hasta $1,5\sigma$ en promedio hasta cualquier lado de su valor actual en un contexto de calidad de largo plazo. La capacidad de largo o corto plazo se relaciona directamente con capacidad del proceso. (Gutierrez Pulido & De La Vara Salazar, 2013)

Además, se pueden establecer la relación entre los índices Z en el corto y largo plazo (Z_C, Z_L) con los índices C_P, C_{PK} respectivamente como:

$$3 \cdot C_P = Z_C \text{ y } 3 \cdot C_{PK} = Z_L$$

2.2.2. Características del nivel 6 σ .

En el nivel de error 6 σ hace referencia a un nivel de calidad de proceso capaz de producir un mínimo de 3,4 defectos por millón de oportunidades (DPMO) establecidas en los resultados finales como datos y hechos. En base a las herramientas estadísticas la capacidad del proceso a corto plazo tiene un índice $Z_C = 6$ y en el largo plazo $Z_L = 4,5$, estos índices determinan un $C_P = 2$ en el corto plazo y para largo plazo corresponde $C_{PK} = 1,5$. Esta calidad se aproxima a la condición ideal de obtener cero defectos (0,002 defectos por millón de oportunidades) en proyectos de construcción. Se define como defecto cualquier cosa que no cumple con los requisitos de los clientes, o también se puede aplicar la definición como una desviación entre lo que debería suceder y lo que sucede en realidad y que el resultado le otorga la importancia suficiente para hacer que alguien decida que es necesario corregir tal variación.

La cantidad sostenidas de defectos producen un problema en base a la conformidad, ya que el desempeño en tal contexto causa un estado insatisfactorio a los resultados de los procesos y a los niveles de calidad del producto final. (Aplicación de la metodología DMAIC de Seis Sigma con simulación discreta y Tecnicas multicriterio, 2016)

También los defectos pueden ser producidos por un sistema de procesos no especificados ya que las actividades no estarían estandarizadas lo que no aporta una especificación certera de los procedimientos y requisitos del cliente. En tal situación es requerida la identificación de los problemas y soluciones eficientes que puedan generar el diseño de nuevos procesos y la revisión en profundidad de las actividades ya existentes en la cadena critica de tal forma de lograr vincular los requisitos de los procesos con las necesidades del cliente.

El criterio Seis Sigma se enfoca en solucionar los costos elevados, presencia y excesos de defectos por no calidad para lograr la satisfacción del producto o servicio entregado. Es decir que

el criterio alcanza aspectos como reducir los reprocesos, el tiempo excesivo de etapas o ciclos de los procesos que puedan provocar atrasos en la entrega final.

Con la identificación del origen de los problemas que provocan la variación surgen las X que se refiere a las causas o variables que afectan el óptimo rendimiento de un proceso; con esto también se define “Y” que se refiere a una salida o resultado del proceso afectado por las “X” (Pande, Neuman, & Cavanagh, 2004), por lo tanto, forma de indispensable identificar y medir las Xs y las Ys para establecer el objetivo del equipo de trabajo Seis Sigma.

Identificando los el origen y las consecuencias de las variaciones la metodología permite lograr transformar un problema practico en un problema estadístico para obtener soluciones estadísticas y a la misma vez transformar la solución estadística en una solución practica para ponerla en marcha en el diseño o rediseño de los procesos claves. Es así como Seis Sigma es un método basado fuertemente en los datos para enfocar la calidad hasta niveles próximos los errores en nivel cero porque la planificación y gestión correcto puede lograr corregir los problemas antes de se presenten en las actividades de producción o construcción del proyecto.

Toda la estructura de la gestión para mejorar la calidad converge en un esfuerzo disciplinado para examinar y mejorar en la reducción de tiempos del ciclo del proceso y además ahorrar por las consecuencias de los defectos.

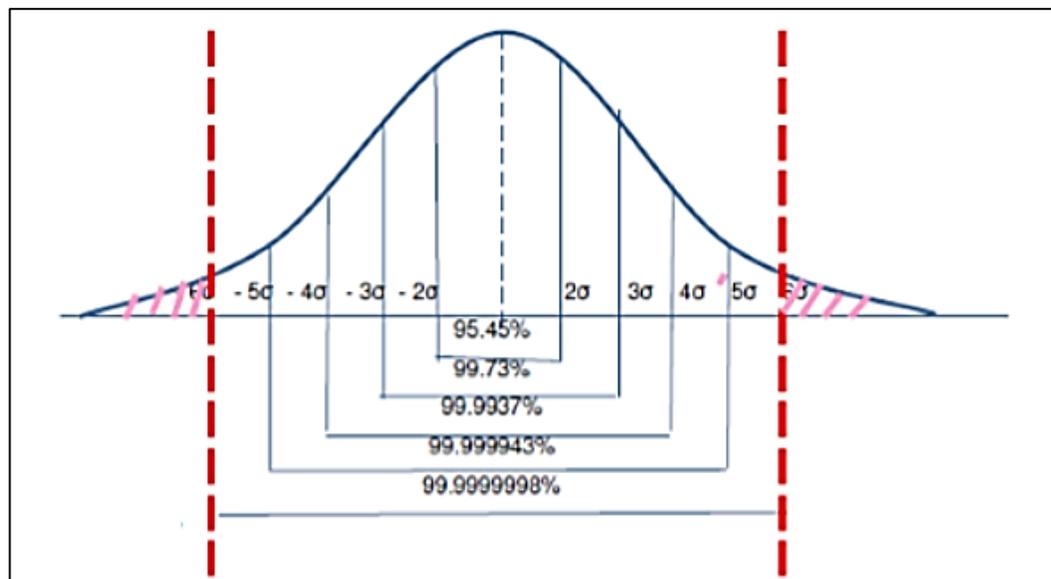


Figura 2 Curva de rango de desviaciones estándar
Fuente: Revistas Espacios, Vol 39 (N° 50) año 2018.

Es una gran característica de la metodología considerar el criterio Seis Sigma como objetivo estadístico en sus resultados por su propuesta de reducir hasta el nivel de perfección todo el proceso de trabajo y siempre ocupando los recursos estadísticos y prácticos a fin de lograr la óptima gestión de calidad empresarial y gerencial.

Todo proceso el cual se aplica una mejoría continua de criterio Seis Sigma se traduce estadísticamente en mantener en el tiempo o ciclo de realización de las actividades una distancia de seis veces la desviación estándar entre la media del proceso y los límites de especificación otorgados por los clientes o según normativa de construcción, estos reajustes a los datos

documentados se traducen en solo 3,4 oportunidades de defectos por cada millón de oportunidades de realización del proceso.

2.2.3. Rendimiento de un proceso.

Este concepto está asociado al porcentaje de resultados sin defectos en el proceso basado en el nivel sigma que se quiera alcanzar lo que se traduce a la misma vez en un porcentaje de eficiencia del producto para el cliente. Según los estudios estadísticos se ha demostrado que el promedio o media de un proceso se puede desplazar en el tiempo de los ciclos de procesos documentados 1,5 sigma sobre todo en un contexto de largo plazo donde si la métrica sigma es menor a 1,5 se asumirá que el proceso tiene un menor control que la media debido a un escaso control, pero si es mejor a 1,5 la métrica sigma entonces el control es de muy poco alcance.

Lo óptimo es que un proceso de nivel sigma la media del proceso se mantiene 1,5 sigma veces a partir del valor nominal hasta la especificación superior

Tabla 1. Resultados de rendimiento por nivel Sigma.

Nivel Sigma	Defectos por millón	Porcentaje de eficiencia.
6 σ	3,4	99,99966%
5 σ	233	99,98%
4 σ	6.210	99,4%
3 σ	66.807	93,3%
2 σ	308.538	69,1%
1 σ	691.462	30,9%

Fuente: Apunte de clases Gestión de Calidad, Polanco Carrasco, Alejandro, 2019.

Sin embargo, todos los conceptos estadísticos anteriores se complementan con la idea actual de Seis Sigma ya que promueve además el uso de herramientas y métodos estadísticos de forma sistemática y organizada para alcanzar considerables ahorros económicos y mejorar la satisfacción de los clientes en el corto y mediano plazo.

2.3. Herramientas para la etapa Definir.

En las distintas etapas de la aplicación en un proceso con criterio seis sigmas se requieren de herramientas que permitan comprobar hipótesis, o identificar las variables Xs o Ys donde se encuentre el origen de las no conformidades.

2.3.1. Diagrama SIPOC.

Se define como un diagrama de procesos donde se identifican los proveedores, las entradas, el proceso mismo, las salidas y los usuarios permitiendo obtener una perspectiva de alto nivel de detalles. Se elabora en base a la definición del proceso, su alcance, además de elaborar listas de salidas, clientes, proveedores y de las entradas que proporcionan. Después se analiza la correlación entre los requisitos de los clientes para las salidas o resultados del proyecto. Para la etapa final se realiza un diagrama de bloques donde cada uno de ellos representa una actividad importante o una sub etapa del proceso.

S	I	P	O	C
Proveedores	Entradas	Proceso	Salidas	Clientes
¿Quién suministra lo que se necesita para ejecutar el proceso?	¿Cuáles son los insumos requeridos?	¿Qué hace el proceso?	¿Cuál es el resultado esperado del proceso?	¿Qué clientes necesitan la salida de este proceso?
Ejemplo:				
Departamento de finanzas de sucursales.	Ordenes de compras. Facturas.	Paso 1 Paso 2 Paso 3	Reportes financieros	Departamento financiero corporativo

Figura 3. Ejemplo Grafico SIPOC
Fuente: pymesycalidad.com. Carlos Sánchez.

Este diagrama permite determinar los clientes principales (internos y externos), identificar los límites y alcances del proceso y de los esfuerzos de mejora a través de la comprensión de las relaciones entre los proveedores, las entradas y salidas.

2.3.2. Ciclo QFD o función de la calidad.

Este método permite reflejar la perspectiva del cliente en el proyecto, para eso se realizan preguntas para establecer métricas de calidad que representen los requisitos de este. Un proyecto Seis Sigma tienen un marco de análisis estadístico, pero también la filosofía aporta mucha importancia al cliente. Y mediante la función de calidad se emplea un mecanismo formal para asegurar que la voz del cliente sea escuchada a lo largo del desarrollo de los procesos. El alcance de esta función llega a identificar medios específicos para que los requerimientos del cliente se logren cumplir por todas las actividades funcionales del equipo de trabajo Seis Sigma.

Es necesario el empleo de varias matrices para establecer una manera sistemática de asignar responsabilidades y desplegar la voz del cliente a fin de transformar esos requisitos en parámetro de diseño y fabricación, esto a su vez permite identificar áreas que requieren atención y mejoramiento para evitar situaciones de no conformidad.

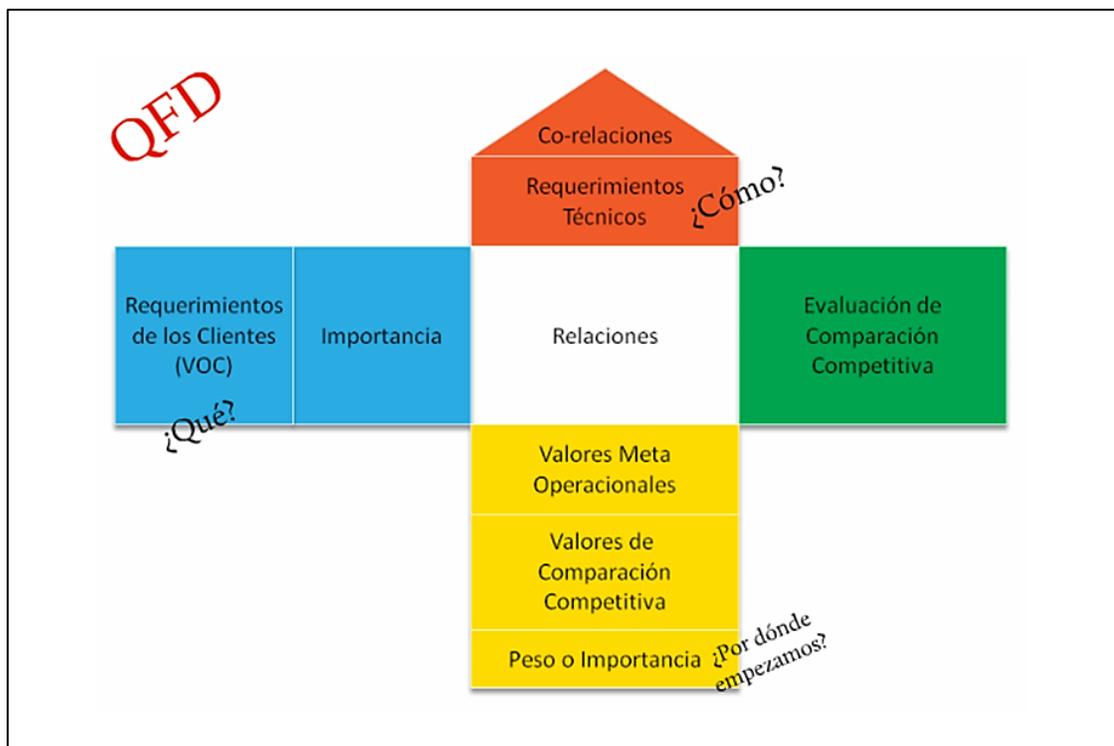


Figura 4. Despliegue de la función de Calidad.

Fuente: QDCAHOME. QFD- Función de Calidad.

Como muestra la imagen 8 el despliegue de la función calidad se comienza con una lista de objetivos con sus respectivas prioridades según la perspectiva del cliente, después se ordenan en una matriz y así poder cuantificar la intensidad de la relación entre los “qué” y los “cómo” que responde el cliente para poder hacer un análisis competitivo.

Cada herramienta considerada y descrita pueden trabajar como un conjunto o de forma exclusiva según el proyecto al cual aplicar el criterio Seis Sigma. En cuanto al área de construcción podría ser de gran ayuda al análisis y formulación de mejoras el diagrama de causa-efecto, el diagrama de flujo de procesos y el diagrama de dispersión de datos para poder tener puntos de vista

de identificar los problemas y así también categorizarlos según su potencial importancia en el nivel de calidad que se quiere lograr de forma estadística y practica con los clientes, normas o requisitos.

2.4. Herramientas para la etapa Medir.

2.4.1. Histograma.

El principal objetivo de esta herramienta es permitir saber la distribución y posteriormente el cálculo del nivel sigma de los procesos. También se puede obtener una amplia visión del rango de los datos medidos y registrados previamente en el desarrollo de la metodología DMAMC.

Esta herramienta otorga una perspectiva general de la variación y rendimiento de los procesos estudiados no necesariamente para factores continuos.

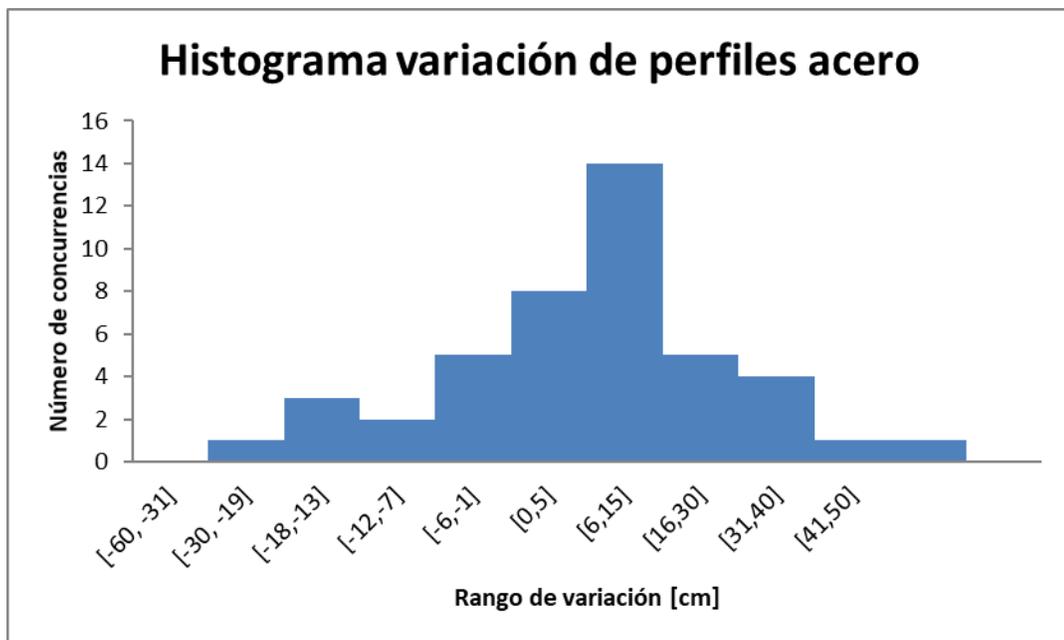


Figura 5. Ejemplo de Histograma.

Fuente: Elaboración propia.

2.5. Herramientas para la etapa Analizar.

2.5.1. Diagrama de Ishikawa.

Este diagrama es un método gráfico en el cual se relaciona un problema con los factores que posiblemente lo generan. Este método ayuda a buscar las diferentes causas que afectan y generan el problema en análisis lo que permite establecer con mejor precisión las soluciones sin desconocer cuáles son las verdaderas causas. Existen tres tipos de forma en la cual se puede aplicar este diagrama para obtener una perspectiva diferente de abordar los defectos.

El nombre del diagrama es en honor al doctor Kaoru Ishikawa quien fue uno de los principales impulsores de la gestión de calidad en Japón y en el mundo empresarial usando el diagrama causa-efecto.

2.5.1.1. Método de las 6 M

Resulta ser la forma más común de construir el diagrama de causa-efecto ya que consiste en agrupar las causas potenciales en seis ramas principales que representan las 6 M que son: Métodos de trabajo, mano de obra, materiales, maquinaria, medio ambiente. Estas seis variables logran constituir los factores globales que están presentes en los procesos y cada uno logra aportar indispensablemente a las variaciones del producto final, por lo cual el origen o causas de los problemas van a estar relacionados con alguna de las 6 M.

En cuanto a los aspectos que pueden estar relacionados en la mano obra para formar algún defecto se considera el grado de conocimiento, entrenamiento, habilidad y capacidad que pueden manejar y aplicar. Estos factores además se conectan con los métodos de trabajo estandarizados en definiciones operacionales establecidas en los procesos. Además, se debe considerar el estudio de capacidad y condiciones operacionales de las máquinas y equipos que requiere de ajustes y mantenimiento para el óptimo uso en el proyecto. Las otras dos M se refieren a cómo afecta la gestión con los proveedores en el abastecimiento de material para los procesos constructivos, y finalmente es clave la disponibilidad de la documentación de mediciones abarcando un tamaño de muestra y una calibración adecuada para tener la confiabilidad y representatividad en los datos del proyecto porque son la base para tomar decisiones y acciones.

Una de las últimas variables consideradas en el diagrama corresponde al medio ambiente ya que en proyectos de construcción es un factor determinante en las condiciones de ejecución de las obras y etapas ya que puede afectar en el tiempo de los procesos y la correcta instalación en obra gruesa y terminaciones porque la temperatura y la humedad logran influir en el fraguado de hormigón en las losas y muros del proyecto.

Sin embargo, este tipo de diagrama causa-efecto de las 6M permite considerar una gran cantidad de factores asociados con los problemas y defectos ya que se concentra en el proceso mismo y no necesariamente en el producto. Pero también de una sola rama del diagrama se pueden obtener demasiadas causas potenciales de errores por lo cual es necesario que lo realicen quienes conocen previamente el proceso en análisis para poder determinar los pequeños y grandes detalles que se identifican en el proceso.

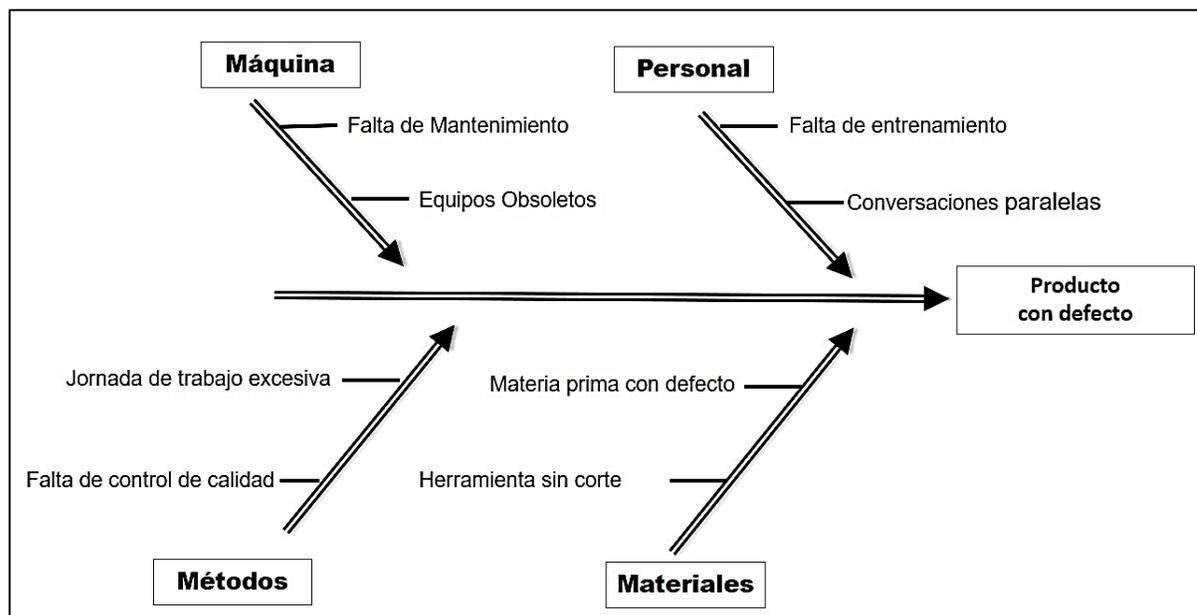


Figura 6. Ejemplo de la aplicación del Diagrama de Ishikawa con el método de las 6M.
Fuente: Blog de la Calidad, <https://blogdelacalidad.com/diagrama-de-ishikawa/>.

2.5.2. Análisis de Pareto.

Es un gráfico especial de barras que se aplica en campos de análisis o aplicación de datos categóricos que tiene como principal objetivo poder encontrar los problemas y causas principales. Tal es el caso de lograr solucionar el problema que hay en una organización cuyos errores en los procesos están de forma permanente y alcanzar una mirada global de los defectos para establecer prioridades y se enfoquen los esfuerzos de encontrar soluciones donde existen un mayor grado de impacto.

El gran respaldo de la aplicación del diagrama se encuentra en el Principio de Pareto también nombrado como la ley 80-20, que indica que se reconocen que pocos elementos referentes al 20 % generan la mayor parte del efecto correspondiente al 80%.

Se sugiere hacer una cantidad suficiente del diagrama de Pareto ya que en la primera instancia se va a detectar el problema principal pero también se puede seguir identificando causas de niveles más bajos a fin de lograr una completa estratificación del defecto de mayor impacto en el proceso, materia prima, mano de obra o alguna otra variable que no permita cumplir con la calidad seis sigmas.

El análisis de Pareto aporta a la clasificación de problemas en función de sus categorías, pero tomando como criterio que la barra de la variable en estudio no tan solo represente el 80% del total de defectos, sino que predomine sobre el resto de las barras, como se muestra en el ejemplo de la imagen 3. Donde se puede apreciar que el eje vertical izquierdo representa las unidades medidas con la contribución de cada categoría a los defectos generales, de esta manera si la

gravedad del problema es muy diferente entonces el análisis debe hacerse sobre el resultado de multiplicar las frecuencias por la gravedad o costo unitario correspondiente.

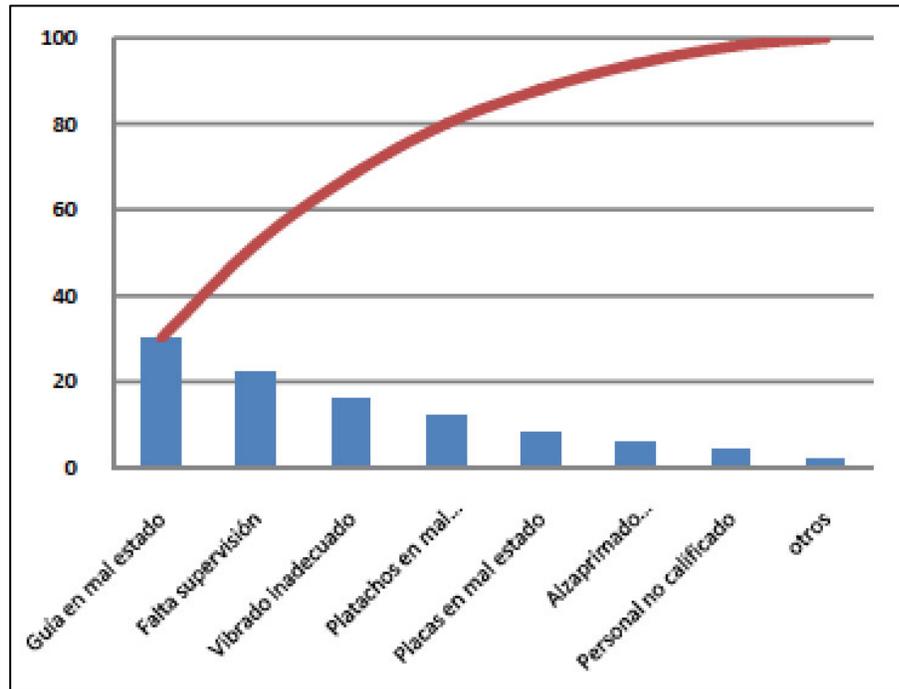


Figura 7. Ejemplo de la aplicación del Diagrama de Pareto.

Fuente: Hacia la Gestión de la Calidad en los Procesos Constructivos. M. Mellado E. 2004

Esta herramienta se puede utilizar tantas veces sea necesario a fin de poder abarcar la gama completa de problemas en los procesos.

Al aplicar el análisis de Pareto es necesario que en muchas áreas o tipos de procesos se pueda clasificar los defectos o las mediciones de desempeño en función con los factores que ayuden a direccionar mejor la acción de aplicar la solución al diseño del proceso.

La información para aplicar el análisis y diagrama de Pareto se debe tener en una hoja de verificación que es un formato de documento donde se logra describir el desempeño, resultados, fallas, defectos, posibles causas de no calidad en una forma de registro sistemática y sencilla para poder establecer los diagramas de Pareto en los diferentes niveles que se quiere alcanzar para lograr el criterio Seis Sigma.

2.5.3. Diagrama de flujo de procesos.

Se refiere a una representación gráfica donde se detalla la secuencia de los pasos o actividades de un proceso. Esto permite tener una perspectiva global del proceso y como se relacionan las diferentes actividades involucradas para poder analizar y mejorar el proceso.

La formulación de este diagrama determina dos símbolos como mínimo para clasificar una tarea y los puntos de verificación o decisión en el proceso. El objetivo del diagrama es establecer de una forma clara el esquema general del proceso y así también formular el nivel de detalle que se requiere para tener un nivel de calidad de producción favorable a las exigencias y requisitos de los clientes.

En el caso de proyectos de construcción es necesario como primera etapa la estandarización de los procesos en un diagrama de flujo donde se incluye las instancias de control y tolerancias máximas y mínimas permitidas por las normas y especificaciones técnicas, como se muestra en la Imagen 8 el mapa del modelo de gestión en un proyecto de construcción.

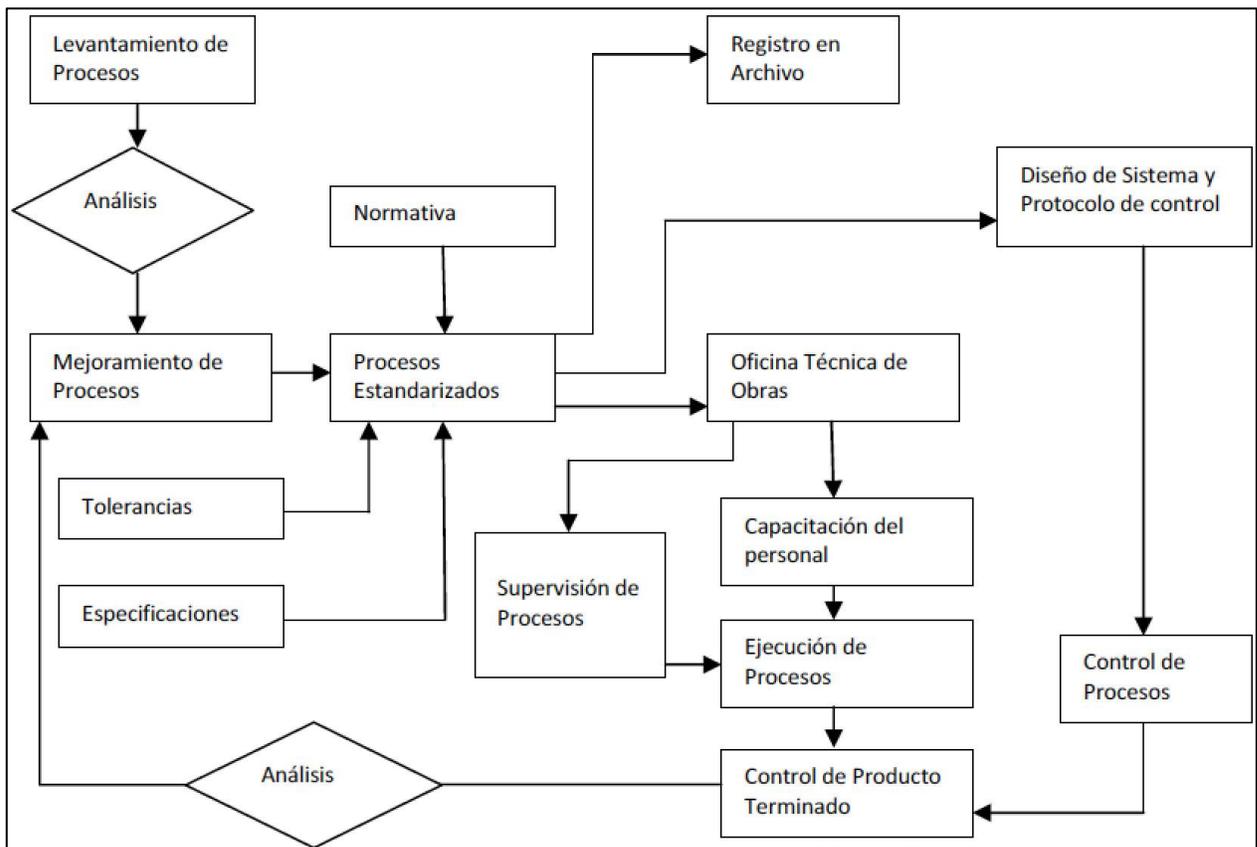


Figura 8. Ejemplo de diagrama de flujo para la gestión de construcción.

Fuente: Revista Científico Tecnológica Departamento Ingeniería de Obras Civiles RIOCI. Volumen 3/2013.

2.5.4. Diagrama de Dispersión.

Se define como una gráfica en un plano cartesiano donde cada elemento de la muestra en estudio se representa mediante un par de valores (x_i, y_i) para poder analizar la forma en que estas dos variables están relacionadas. Una vez que se grafican todas las parejas de valores (x_i, y_i) se puede observar e identificar si es que los datos siguen un patrón definido por la relación entre las variables.

Cuando el diagrama de dispersión no logra mostrar las relaciones se denomina que hay una correlación débil entre las variables para lo cual se debe calcular el coeficiente de correlación. Así también pueden ocurrir que se encuentren puntos aislados que se salen del patrón general del resto de los puntos por lo cual se debe estudiar las causas de ese punto singular.

Es necesario considerar que cuando dos variables están relacionadas, no necesariamente implica que un resultado es causa de otro resultado, es decir, frente a la relación causa-efecto el diagrama solo se limita a mostrar un tipo de relación entre las variables, pero no entrega el origen del problema. Para lo cual se debe recurrir a los conocimientos previos que hay acerca de los procesos y ahí poder identificar más precisamente la relación y el efecto que hay entre las variables.

Para esta metodología se debe tener una obtención de datos que sean confiables y representen la realidad de cada uno de los factores que influyen en el proceso.

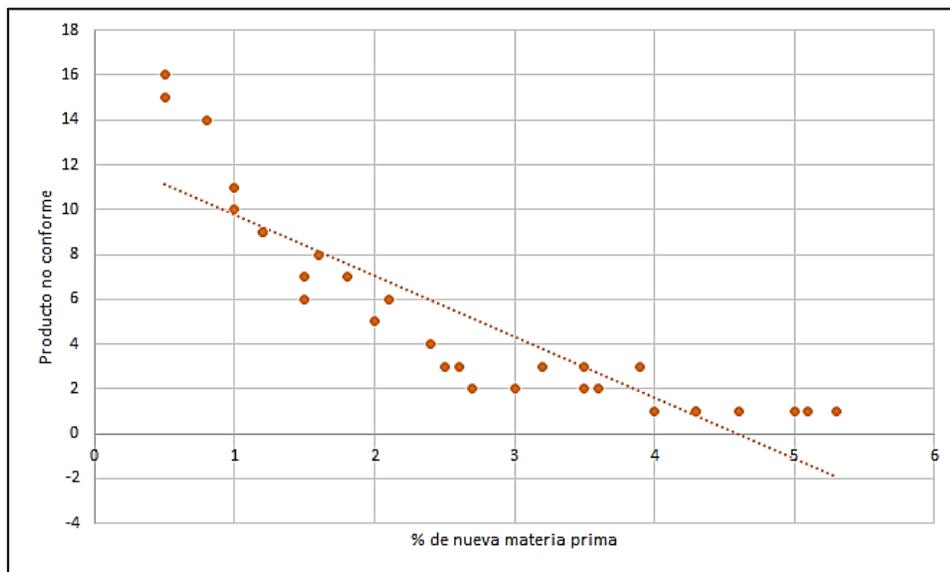


Figura 9. Ejemplos de aplicación de diagramas de dispersión.

Fuente: Aprendiendo Calidad y ADR. AEC, <https://aprendiendocalidadvadr.com/diagrama-de-dispersion/>, Gehisy, 2017.

2.5.5. Cadena de valor.

Se refiere a una secuencia de procesos o actividades que incluyen todas las acciones (ya sea agreguen o no agreguen valor) requeridas para llevar un producto o servicio desde el concepto y las materias primas hasta el cliente. Dentro de la estructura de la cadena se establece un flujo de productos así también el flujo de información. (García, Manuel, 2014)

A través de esta herramienta se puede identificar los pasos de valor agregado que aportan y los que no aportan. Esto permite obtener una perspectiva general de las áreas claves que deben ser mejoradas.

La cadena de valor considera la aplicación de la metodología Seis Sigma como un parte importante de la estructura del proceso.

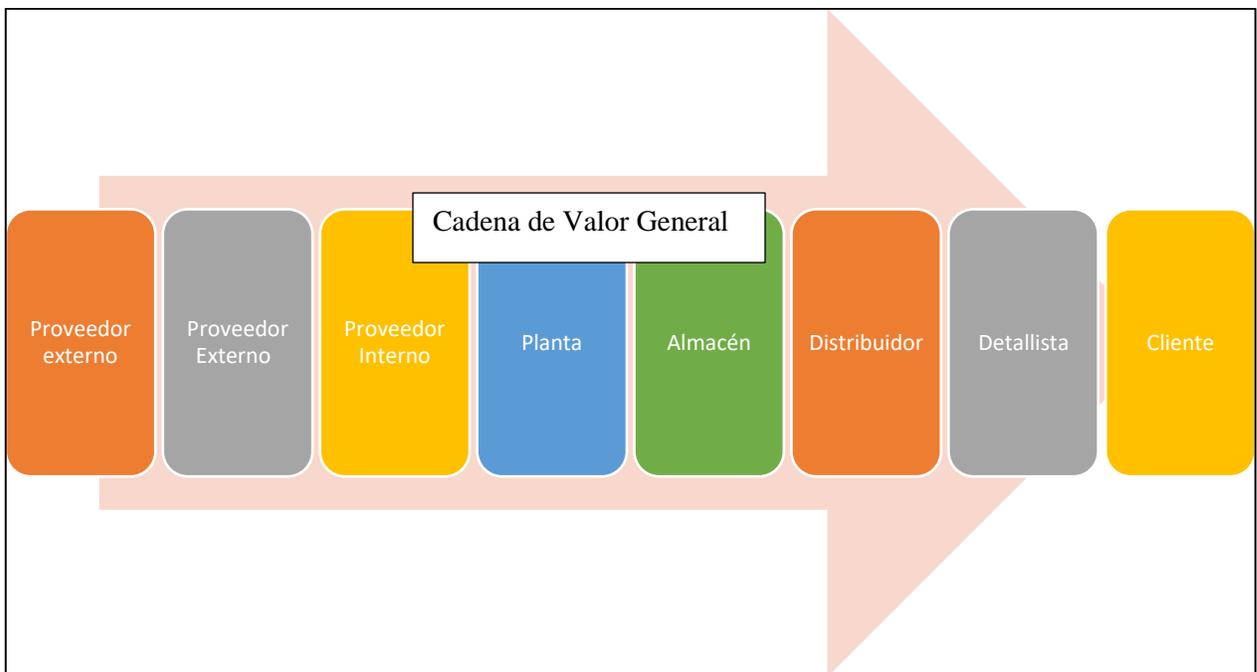


Figura 10. Ejemplo de Cadena de Valor.

Fuente: *Presentación Diplomado de Gestión de Operaciones, modulo Gestión de Calidad y Six Sigma, Pinochet, Horacio, 2019.*

2.5.6. Análisis del sistema de medición ANOVA.

Es conocido como el método de análisis de varianza y sirve para calcular la variabilidad de un sistema de medición a través de la interacción entre los operadores y las partes. Originalmente el método se basa en la utilización de herramientas estadísticas para analizar los efectos de variados factores en el diseño de experimentos de pruebas. (Botero, Marcela; Arbeláez, Osiel, 2007)

El método Anova se establece en base a dos fuentes de variación: Operadores y Partes.

Tabla 2. Método ANOVA para dos factores.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados medios
Operador	SSA	$a - 1$	$MSA = \frac{SSA}{a - 1}$
Partes	SSB	$b - 1$	$MSB = \frac{SSB}{b - 1}$
Interacción	SSAB	$(a - 1)(b - 1)$	$MSAB = \frac{SSAB}{(a - 1)(b - 1)}$
Error	SSE	$ab(n - 1)$	$MSAB = \frac{SSE}{ab(n - 1)}$
Total	SST	$N - 1$	

Fuente: "Método Anova utilizado para realizar el estudio de repetibilidad y reproducibilidad dentro del control de calidad de un sistema" Botero Arbeláez, Marcela y Arbeláez Salazar, Osiel 2007.

En donde se puede identificar las variables:

$a =$ Número de operadores

$b =$ Número de partes

$n =$ Número de medidas para cada parte por cada operador

$N =$ Número total de datos

Donde después se calcula los factores T que es la suma total de los datos, T_x^2 correspondiente a la suma de los cuadrados de los datos, T_1^2 la suma de los totales para el factor

de operadores, T_2^2 es la suma total de las partes. Después de obtener todas las variables anteriores se determina SSA, SSB, SSAB, SSE Y SST correspondiente a la tabla 2.

El método ANOVA finalmente permite obtener el factor $\%r\&R$ que es el porcentaje de la relación entre la repetibilidad y la reproductividad de los datos que si el resultado es menor que el 10% indica que el sistema de medición es aceptable. Si el mismo factor se encuentra entre el 10 y 30% se puede asegurar que el sistema de medición puede ser aceptable según su uso, aplicación y costos (de instrumentos y reparación). Finalmente, si el resultado supera el 30% el sistema de medición es considerado como no aceptable y se necesita aplicar mejoras en los datos del operador, equipo, método, condiciones.

El método Anova se considera un método confiable de poder calcular la variabilidad de un proceso ya que se enfoca en estudiar la interacción entre los operadores y las partes determinando dos conceptos en el análisis, la reproductibilidad y la repetibilidad que deben estar considerados como los resultados finales de los procesos en estudio.

2.6. Herramientas para la etapa Mejorar.

2.6.1. Diagrama de árbol para el planteamiento de soluciones.

Esta herramienta entrega orden adecuado en el objetivo necesario para la solución de los problemas que afectan el rendimiento del proceso después las estrategias necesarias para plantear tácticas y acciones de mejoramiento.

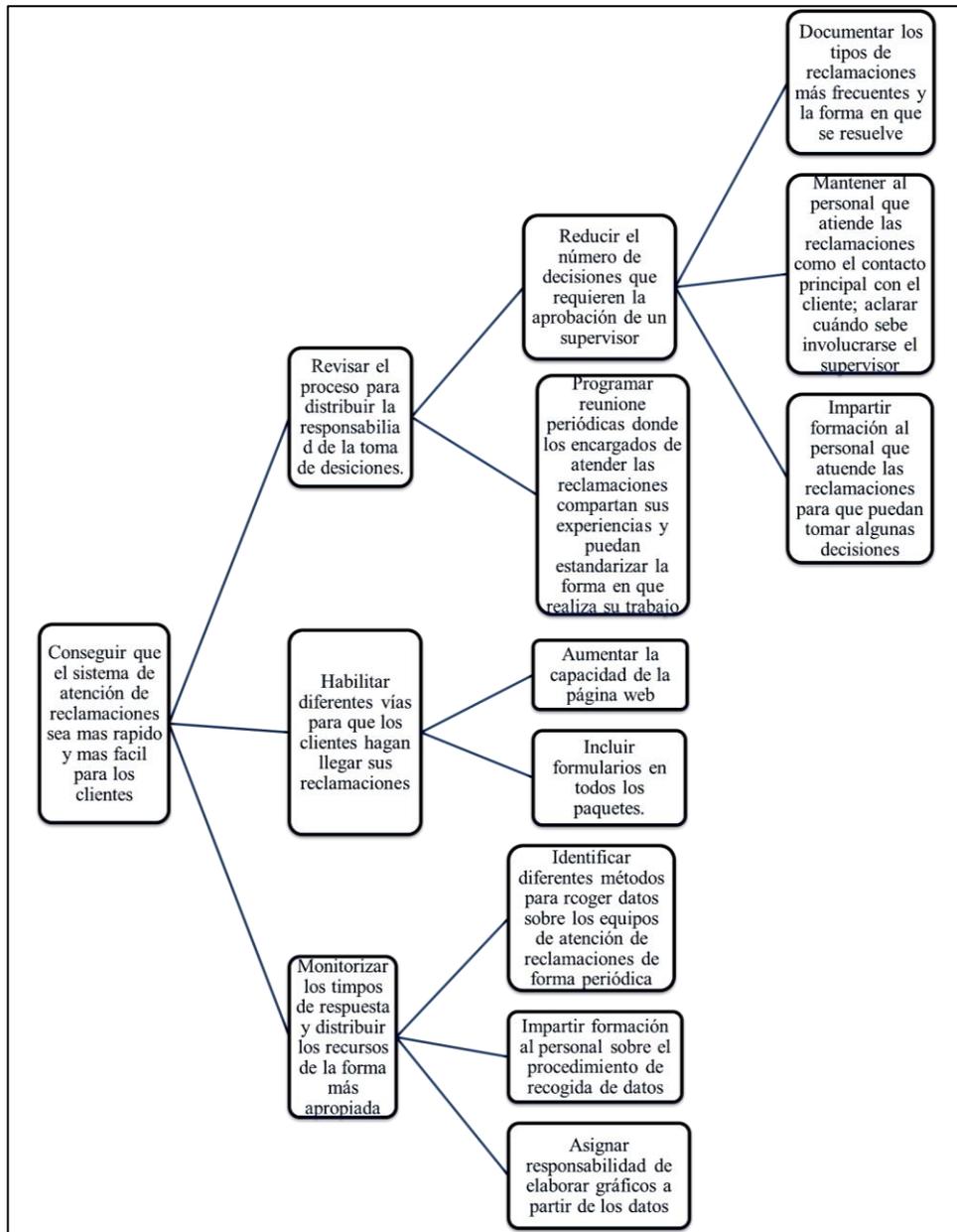


Figura 11. Diagrama de árbol utilizado para presentar mejoras
Fuente: *Las claves prácticas de Seis Sigma*, Pande, Neuman, Cavanagh. 2002

2.6.2. Análisis de modos de fallo y efectos (AMFE).

Corresponde a la metodología del Análisis de Modo y Efecto de las Fallas se considera una herramienta avanzada para el proceso de mejora en la Metodología Seis Sigma, y cuyo objetivo es poder lograr identificar las formas en las que un cambio en el proceso, producto o servicio puede causar problemas de imprevistos, de esta forma se pueden establecer medidas que ayuden a prevenir o mejorar tales problemas. Es un método analítico utilizado para asegurar que los errores potenciales sean considerados y analizados a lo largo del diseño del producto y el proceso. (Gutierrez Pulido & De La Vara Salazar, 2013).

De esta forma permite enriquecer a las organizaciones en el diseño de nuevos productos, procesos también en etapas de documentación y recopilación de información como un recurso de formación.

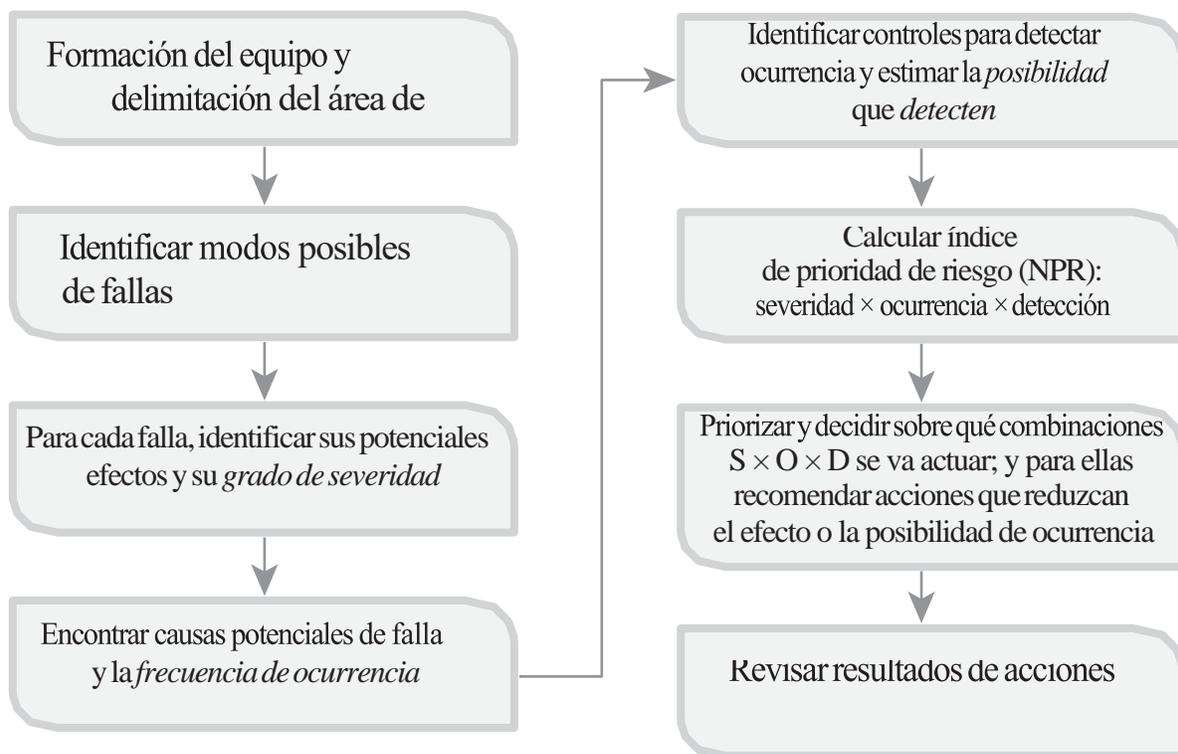


Figura 12. Esquema del proceso de AMEF.

Fuente: Capítulo 14 "Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma" (Gutierrez Pulido & De La Vara Salazar, 2013)

Las principales ventajas que se obtiene del AMEF es que permite identificar los efectos que puede generar las posibles fallas y así poder evaluar la gravedad de los efectos. Además de lograr establecer niveles de confiabilidad para la detección de fallas y proponer las oportunidades de mejora.

Es también un mecanismo de acción preventivo en el diagnóstico y la implementación del Lean Manufacturing ya que se activa por medio de los indicadores cuando se requiere prevenir la generación de problemas.

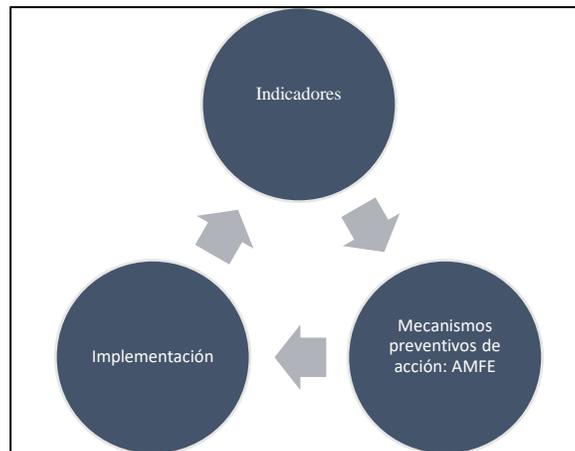


Figura 13 Relación AMEF en procesos de mejora.

Fuente: “Las claves Prácticas de Seis Sigma” Pande, P., Neuman, R., & Cavanagh, R. 2004.

El proceso de implementación de esta herramienta es realizando una lluvia de ideas en el equipo a cargo en donde el objetivo es identificar las diferentes formas en que el cambio en el proceso, producto o servicio podría fallar, después se identifican las causas potenciales de estas fallas clasificándolos según una escala en Severidad, Ocurrencias o Detección para después evaluar el valor asignado a cada falla según las clasificaciones. Esto permite determinar más claramente las responsabilidades que se debe otorgar para mejorar los procesos.

2.7. Herramienta para la etapa Control.

2.7.1. Gráfico de control

El objetivo de esta herramienta es monitorizar una actividad o proceso para detectar variaciones, se le llama gráfico de control porque se refiere a un gráfico que muestra puntos de datos ordenados de forma cronológica tanto de datos continuos como discretos referentes a una medida individual de cálculo de promedios.

Además, se forma una línea central en el gráfico correspondiente a la media en conjunto de límites de control que tienen una representación de la variación esperada de datos. Los límites de control muestran la capacidad de proceso reflejando el estado en que funciona el proceso cada día u hora.

Principalmente por medio de esta herramienta de control se busca los patrones de variación en el tiempo de ejecución de procesos por lo cual se puede realizar un diagnóstico claro del efecto que está provocando las medidas de mejoras formuladas en la etapa anterior.

Para la medida del contexto de los proyectos de edificación se considera la toma de datos con la aplicación de las mejoras por un tiempo no menor a 3 meses de aplicación a las nuevas soluciones.

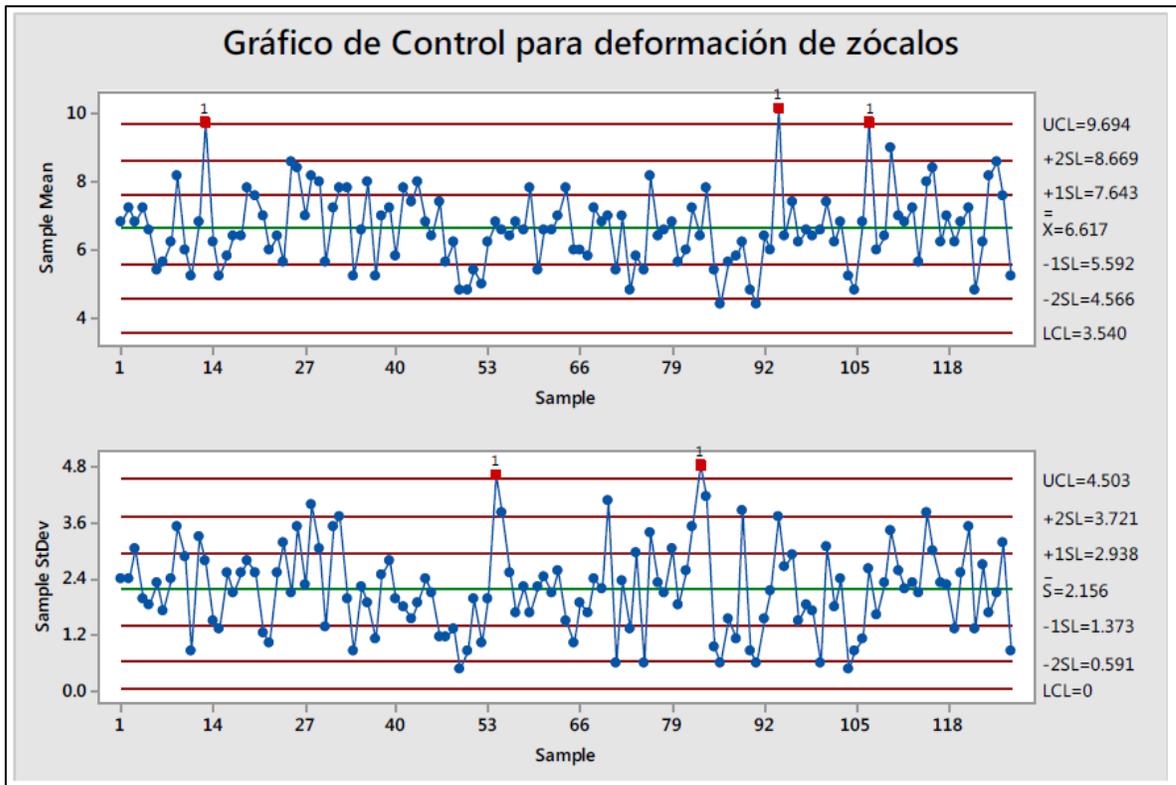


Figura 14. Ejemplo de aplicación de gráfico de control en proyecto de edificación.

Fuente: Tesis mejora de procesos de encofrado y vaciado de muros de ductibilidad limitada. Rossi Escobar.

Los roles principales en la aplicación de los gráficos e control en un procesos son por los black belt y master black belt ya que están capacitados en el uso de esta herramienta de control con las mejoras incluidas en el proceso en estudio.

2.6. LA Metodología Seis Sigma, estructura DMAMC y organización.

La formación de la Metodología Seis Sigma es una estrategia de mejora continua de los procesos y que tiene diferentes significados para los grupos y componentes del proyecto. Se puede definir a nivel de empresa como una iniciativa de carácter estratégica para reducir costos debido a defectos en la producción, esto se traduce en crecimiento de la capacidad y en la satisfacción del cliente. En cuanto al nivel del proceso esta metodología propone reducir el factor de variabilidad y con ello eliminar e identificar las causas de errores de aplicación de tareas y actividades que pueden provocar retrasos, así también disminuir los costos directos. En el ámbito operacional Seis Sigma se enfoca en mejorar también los sistemas métricos de eficiencia operacional fuertemente respaldado en la correcta gestión del trabajo en equipo.

A nivel conceptual y elemental el objetivo de la Metodología Seis Sigma es lograr procesos con una calidad de seis veces la desviación estándar, es decir; que solo se generen 3,4 defectos por millón de oportunidades de error como cifra máxima. Tal objetivo se alcanza con un programa fuertemente enfocado en la mejora, diseño y control del proceso con el impulso y respaldo de la alta dirección de la empresa para que el producto final sea la traducción de las necesidades de los clientes al lenguaje de las operaciones. Esto se inicia definiendo los procesos y/o tareas críticas que se deben realizar con éxito, centrándose en aquellas características o exigencias que son claves para el cliente. Por lo tanto, la primera tarea de la Metodología es definir los requisitos del cliente remarcando una autentica orientación al correcto cumplimiento de especificaciones con la utilización de datos estadísticos.

Para destacar todas las características anteriormente mencionadas en la Metodología se puede resumir en:

- a) **Una autentica orientación al cliente:** Poder cumplir con los requisitos de los clientes es la máxima prioridad de Seis Sigma ya que las mejoras en los procesos se miden en función del impacto que hay en la satisfacción y el valor que le aporta el cliente, es decir, el nivel de calidad empieza y termina con la sensación del cliente al obtener el resultado final del proyecto considerando el volumen, cantidad, tiempo y servicios otorgados por la empresa. Para lograr identificar y destacar con una calidad Seis Sigma se gestionan los equipos de modo de establecer prioridades así desarrollan un plan de trabajo para poder mejorar o desarrollar nuevos conceptos, procesos y productos que cumplan con las exigencias de los clientes.
- b) **La gestión orientada a los datos:** La base de la metodología es la cantidad de datos documentados que hay disponibles de los procesos, actividades y tareas en el proyecto. Esto porque los datos y las herramientas estadísticas permiten tener una orientación precisa para identificar las variables críticas de la calidad y las tareas que deben ser mejoradas. En la etapa de evaluación los datos permiten demostrar que con la ejecución la mejora del servicio logra ser percibida por el cliente.
- c) **La orientación a procesos, la gestión y mejora:** La metodología establece el proceso como elemento clave de tal forma que al aplicar mejoras puede generar ventajas competitivas y respalda el valor real al cliente.
- d) **Gestión proactiva:** En el contexto del nivel de calidad Seis Sigma sugiere una actitud proactiva para poder adelantarse a los acontecimientos y situaciones cuya solución se puede aplicar antes y durante el proceso, es crear el hábito de fijar metas, prioridades claras para la calidad. Seis Sigma percibe proporcionar herramientas y acciones en la

configuración como filosofía para lograr cambiar de un comportamiento reactivo a una gestión proactiva en todo el proyecto.

- e) **Colaboración global en los equipos encargados:** Aplicar Seis Sigma como una filosofía hace activa el componente práctico lo que hace el libre flujo de ideas a lo largo y ancho de la organización del proyecto, ya que se necesita la colaboración de todos los roles que afectan directa e indirectamente en el proceso buscando el beneficio y mejoramiento de todos los integrantes y factores. Es por esto que surge una capacitación y entrenamiento a los equipos Seis Sigma a fin de tener un soporte práctico y técnico en la gestión de mejora de calidad.
- f) **Búsqueda de la perfección y tolerancia a los errores:** Con la capacidad de poder obtener 3,4 errores en un millón de oportunidades es prácticamente tener un nivel de error cero en los procesos. La búsqueda de la perfección y resultados sostenibles en un ciclo de tiempo del proyecto es uno de los grandes objetivos de Seis Sigma. Sin embargo, siempre existe el riesgo en probar nuevos métodos y cambios focalizados en actividades que puedan generar defectos, pero Seis Sigma incluye un manejo de gestión de riesgos en los cambios necesarios dentro de los procesos y factores que determinan la calidad del producto o servicio.

Todas las características mencionadas anteriormente de Seis Sigma consideran producir una recuperación financiera medida en función de los costos relacionados directamente con la calidad y el correcto funcionamiento de los procesos así también con la eficacia de la organización para adaptarse a la estrategia y obtener una ventaja competitiva por el impacto a los clientes.

Con tales resultados esperados y una alta probabilidad de éxito en ello Seis Sigma se compone de tres caminos, es decir tres partes: Mejora de procesos, Diseño y rediseño de procesos y gestión de procesos. De estas tres formas de aplicar Seis Sigma se organizan por la metodología DMAMC.

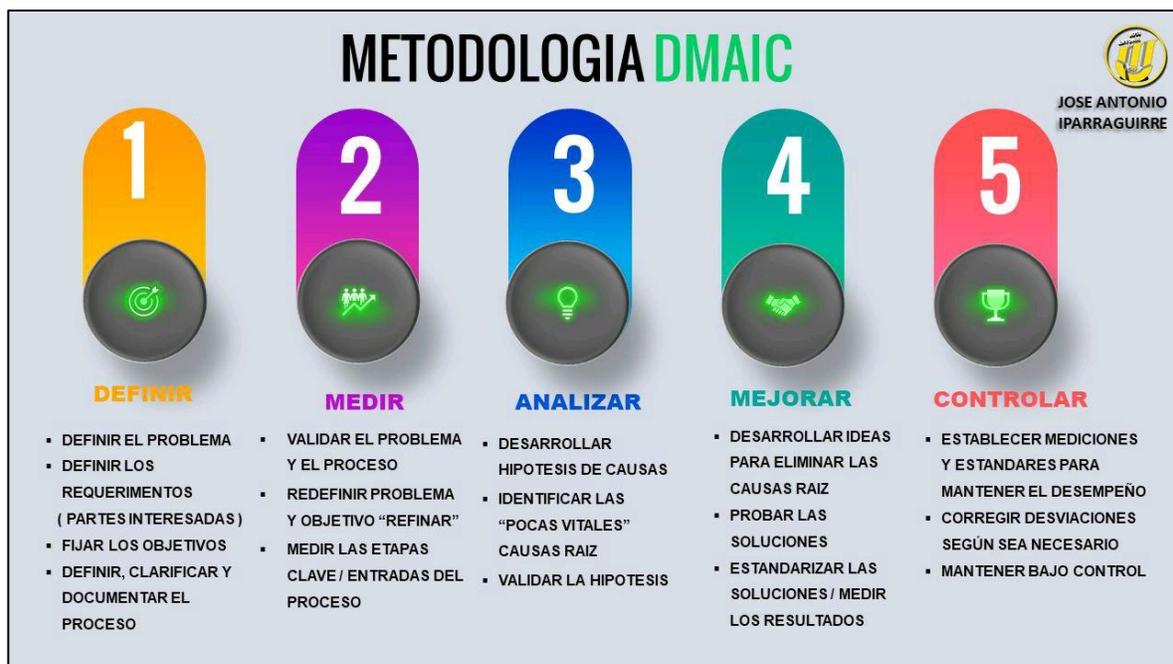


Figura 15. Diagrama de estructura DMAIC.

Fuente: " Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma (Gutierrez Pulido & De La Vara Salazar, 2013)

Entonces la metodología se basa en objetivos específicos sin antes obtener la aprobación y los recursos para la mejora y así establecer el proyecto de mejora 6 sigma. Para lograr eso se debe

redefinir y analizar el problema recopilando la información y datos suficientes y obtener perspectivas con los objetivos que se quieren alcanzar con la aplicación de Seis Sigma, tal proceso se complementa con la lluvia de ideas y una selección de estas para la mejora de procesos necesarios en el proyecto. La mejora de procesos se basa en una estrategia para encontrar soluciones que eliminen las causas raíz de los problemas de rendimiento en los actividades o tareas existentes en la construcción de edificios, enfocado en el cliente externo y procesos críticos para la calidad del producto- servicio, la meta es eliminar las causas de variación, pero dejando intacta su estructura básica. Para realizar esto se define el proceso DMAIC.

Cada una de las etapas del método DMAIC surgen a preguntas claves para establecer un conocimiento crítico sobre el contexto del proyecto en que se debe aplicar la metodología Seis Sigma.

DEFINIR	1. ¿Qué cadena de valor estás apoyando y quién es el que recibe el valor? Ej. ¿quién es el cliente? ¿Quién es el dueño de la cadena de valor y quienes son los jugadores o los miembros del equipo? ¿Qué tan bien trabaja el equipo junto?
	2. ¿Qué cadena de valor, o qué proceso o procesos tienen la más alta prioridad para mejorar? Enséñame la información que llevó a esta conclusión.
MEDIR	3. ¿Cómo se lleva a cabo el proceso? ¿Cómo fluye el valor? ¿Qué actividad agrega valor y qué actividad no agrega valor?
	4. ¿Cuáles son las mediciones de desempeño del proceso? Ej. ¿cómo sabremos si un proceso está mejorando? ¿Por qué escogemos estos? ¿Qué tan exacto y preciso es el sistema de medición? Enséñame los datos.
	5. ¿Cuáles son los requisitos y especificaciones originados por el cliente para todas las medidas de desempeño? ¿Están dentro de control las medidas de desempeño de proceso y qué tan capaz es el proceso? Enséñame los datos. ¿Cuáles son las metas de mejora para la cadena de valor o medidas de desempeño de proceso?

ANALIZAR	6. ¿Qué tipo de desperdicios y costos de mala calidad existen en la cadena de valor o en el proceso y cuál es el impacto financiero y/o a clientes? Enséñame los datos.
	7. ¿Cuáles son las fuentes de variabilidad en la cadena de valor o proceso y cuáles de estas podemos controlar? ¿Cómo los controlamos y cuál es nuestro método para documentar y mantener este control? Enséñame los datos.
	8. ¿Existen fuentes de desperdicio o variabilidad que dependen del proveedor? Si es así, cuáles son, quiénes son los proveedores, y cómo estamos trabajando juntos para eliminar el desperdicio y la variación? Enséñame los datos.
	9. ¿Cuáles son las variables de entrada claves que afectan el promedio y la desviación estándar de las mediciones de desempeño? ¿Cómo sabes esto? Enséñame los datos.
	10. ¿Cuáles son las relaciones entre las mediciones de desempeño y las variables de entrada claves? ¿Interactúan algunas de las variables de entrada claves? ¿Cómo puedes saberlo con seguridad? Enséñame los datos.

IMPLEM. MEJORA	<p>11. ¿Qué niveles o valores para las variables de entrada claves optimizarían las mediciones de desempeño? ¿Cómo sabes esto? Enséñame los datos.</p> <p>12. Para los niveles óptimos de las variables de entrada claves, ¿qué tipo de variabilidad todavía existe en las mediciones de desempeño? ¿Cómo sabes? Enséñame los datos.</p>
CONTROL	<p>13. ¿Hemos implementado un flujo del proceso y un sistema de control para conservar los logros y continuamente mejorar el proceso? Enséñame los datos</p> <p>14. ¿Qué tanta mejoría ha mostrado la cadena de valor o el proceso en los últimos seis meses? ¿Cuánto tiempo y/o dinero hemos ahorrado a la empresa como resultado de nuestros esfuerzos? Enséñame los datos.</p>

Figura 16. Las 14 preguntas de Conocimiento crítico DMAIC.

Fuente: *Presentación Modulo 1 "Gestión de Calidad y SIX SIGMA, Pinochet, Horacio, 2019.*

2.6.1. Etapa Definir.

En esta primera etapa de la metodología se estudia la documentación sobre el proyecto para delimitar y establecer las bases para su éxito, alcance, beneficios potenciales, y los roles que intervienen en éste. En este punto es necesario mencionar la adecuada selección de proyectos ya que estos deben cumplir con la alineación entre los objetivos estratégicos de la organización y equipo con objetivos alcanzables, realistas y medibles en el corto plazo.

Una vez seleccionado el proyecto el equipo debe revisar el problema, objetivos y la identificación de los requisitos del cliente. El problema se debe abordar desde los términos operativos para que se facilite su análisis y el alcance del proyecto, también se describe el nivel actual del desempeño en el proyecto y también la naturaleza de los defectos basados en los requisitos de los clientes.

Con todo las etapas y actividades que implica la etapa de Definir se puede calcular las implicancias del costo/beneficio del proyecto y también determinar el nivel esperado del desempeño del equipo en un nivel de calidad Seis Sigma, esto quiere decir que se establecen los temas administrativos del proyecto (¿qué se debe hacer?, ¿Por quién?, ¿Cuándo se debe hacer?). Aunque todo lo anterior debe ser el trabajo en su mayoría del Champion del proyecto ya que es el responsable de entregar las directrices principales para el equipo durante la realización del proyecto a través la construcción de un cuadro del proyecto.

En el cuadro del proyecto se elabora una declaración oficial del problema con un aspecto específico y medible de tal forma de conseguir un acuerdo de todos los roles que influirán en los procesos de realización y planificación.

Después de la etapa del cuadro del proyecto, se identifican los requisitos del cliente para poder validar las especificaciones y comenzar con la medición de datos (Polanco, Alejandro, 2019). También será beneficioso para el equipo saber distinguir si los requisitos del cliente son enfocados en el resultado, que se refiere a las características del producto y del servicio como resultado final al completar el proceso o si son enfocados en el servicio, que se refiere a la expectativa del cliente de cómo será tratado o involucrado en durante el proceso de desarrollo del proyecto. A fin de poder considerar todos los puntos de vista del cliente el equipo debe meditar en la forma de categorizar y priorizar los estándares de rendimiento en los procesos y como estos afectan a la satisfacción del cliente, una forma de lograr clarificar este elemento clave de la etapa Definir se puede ocupar el

análisis de Kano el cual estableció tres categorías de requisitos: Insatisfactorios o requisitos básicos, satisfactores o requisitos variables, encantadores o requisitos latentes. Es claro que existen más alternativas de poder categorizar y ordenar la prioridad de las exigencias de los clientes en los proyectos, pero lo que si se espera al final es poder obtener medidas de los requisitos prioritarios.

Y para concluir la primera etapa de la metodología es poder obtener una visión global del proyecto con una imagen clara de los procesos con la herramienta del diagrama de flujo detallado para evaluar las actividades o tareas presentes y también considerar la mirada y opinión del cliente en éstos.

2.6.2. Etapa Medir.

El principal objetivo final de esta etapa es poder calcular los costos de no calidad que implica los procesos del proyecto según los datos obtenidos en la etapa anterior y durante la ejecución de las actividades o tareas necesarias para realizar el producto. Como primera medida es necesario entender las relaciones causales entre el desempeño de los procesos y el valor para el cliente. Como siguiente consideración es definir e implementar los procedimientos para reunir y recopilar datos adecuados a fin de cuantificar mejor la magnitud del problema o defecto que se abordan en el proyecto. Es por esto que se define un nivel más detallado en los datos y así entender de mejor manera el flujo de trabajo, los puntos de decisión y detalles del funcionamiento en un carácter global o específico del proceso.

En esta etapa se logra formula con más detalles las métricas de las variables Y con las que se evaluara el éxito del producto final. En este punto es relevante validar el sistema de medición que se ocupara para garantizar que las variables Y se pueden medir de forma consciente y precisa. Es en este punto donde se plantea medir la eficiencia del proceso, el cual se relaciona con el volumen y costos de recursos necesarios en los procesos y de las mejoras que se hayan implementado a fin de beneficiar al equipo con las reducciones de costos y también al cliente externo ya que son ahorros medibles que también ofrece Seis Sigma. Mientras que la medición enfocada en la eficacia se relaciona con la percepción del cliente con el producto obtenido del proceso

Lo mencionado anteriormente converge en tener claro qué es lo que se quiere medir a fin de lograr la calidad Seis Sigma en el proyecto, ya que no se debe enfocar los recursos en medir únicamente resultados, sino que también lograr un equilibrio entre los resultados y medidas propias de la ejecución de los procesos, es decir entre resultados y predictores de errores.

En esta etapa el equipo de trabajo debe planificar y medir el rendimiento frente a los requisitos planteados por los clientes. Cuyo rendimiento estará conectado a la medida de defectos en la situación inicial para encontrar oportunidades de mejoras los procesos necesarios para cumplir con la calidad Seis Sigma y con lo que el cliente espera como producto final.

2.6.3. Etapa Analizar.

En la etapa de análisis del método DMAMC se enfoca en encontrar la explicación de los defectos, errores o variación excesiva en los procesos. Tener un hábito de proactivo en esta etapa ayuda a evitar la ausencia de conocimiento y familiaridad sobre cómo funciona el proceso en cada integrante del equipo Seis Sigma. Evitar la ausencia de conocimiento sobre cómo debería funcionar y resultar el proyecto ayuda también a la comprensión de las exigencias del cliente. También aporta más control de los materiales y recursos o equipos utilizados a fin de prevenir errores inadvertidos al realizar las actividades y tareas correspondiente a cada etapa del proyecto. Es decir, que se logra un manejo óptimo en todos los factores (como por ejemplo pasos innecesarios en un proceso y exceso de inventario) y así evitar los diseños apresurados con especificaciones, capacidad y pruebas deficientes que afectarían la producción.

Es en esta etapa donde se considera una mayor capacitación del equipo con herramientas de análisis estadístico en base a los datos obtenidos en las etapas anteriores para lograr encontrar las causas de origen de los defectos ya que al corregirlos de manera adecuada evita la recurrencia del error de manera permanente en el mismo producto o servicio que genera el proyecto.

Al respecto se puede clasificar la etapa de análisis en dos partes: análisis de datos y análisis de procesos. En el análisis de datos se buscan patrones, tendencias y otras diferencias que logren apoyar, sugerir o rechazar las explicaciones que surjan sobre las causas de los defectos. Mientras que el análisis de procesos se encarga de examinar a fondo los principales procesos que tienden a cumplir con las exigencias de los clientes para tener la información sobre el tiempo de duración del ciclo, retrabajo, tiempos muertos y otras situaciones que no aporten valor para el cliente.

Ahora la primera etapa del Análisis de la metodología parte con una exploración de datos para identificar el significado de las mediciones obtenidas con la finalidad de plantear hipótesis que expliquen la causa en un aspecto lógico y racional en las tareas y actividades del proceso. Para esto el equipo utiliza herramientas de análisis estadístico como lo es Diagrama de Pareto, Grafico de dispersión o histogramas. Todas estas herramientas antes descritas tienen una ventaja y desventaja dependiendo de tipo de proceso en análisis.

En la etapa de formulación de hipótesis es de gran apoyo para saber las causas de los defectos el Diagrama de causa-efecto de Ishikawa ya que se trata de una forma estructura de lluvias de ideas en las que se resume el problema y las causas potenciales de los defectos, en los que se pueden formar categorías de éstos y amplía el número de posibilidades en vez de acotar la hipótesis a ideas comunes u obvias que se formule el equipo en un comienzo de la etapa.

Una vez planteadas todas las causas de errores y defectos se comienza la etapa de verificación, esta se realiza desde el punto de vista lógico, estadístico y experimental en el proceso. Ocupar la lógica indica saber explicar lo que se puede observar, pero no lo que no se puede observar, es por esto que en el análisis de causas-efecto desde la perspectiva estadística se intenta buscar un patrón que defina el comportamiento entre las variables que se midieron a través del diagrama de dispersión donde se puede extraer una tendencia general de los datos por la relación de las variables “X” con las “Y” y así poder comprobar la hipótesis expresada por el equipo Seis Sigma. Ya en la última etapa de análisis de datos se demuestra las hipótesis de causa-efecto en los procesos con una prueba piloto o experimentación siempre y cuando se entienda exactamente lo que hay que cambiar y lo que se está buscando con ese cambio, esta etapa solo es recomendable utilizar cuando resulta poco práctico y complicado recoger datos para comprobar que una causa es la responsable de la variación.

En la siguiente etapa que se refiera al análisis de procesos se sugiere ocupar diagramas de flujo del proceso para tener ideas de las causas de potenciales defectos en el proyecto, esto se va a observar y detallar en desconexiones de tareas, cuellos de botella que es en donde el volumen sobrepasa la capacidad que puede desacelerar el flujo del trabajo y también en redundancias o bucles (puntos en los que los elementos a los que les falta alguna parte o información son enviados de nuevos a etapas anteriores o que deben esperar hasta que se realice sobre ellos el trabajo necesario para solucionar el problema. Al final y como primera verificación se espera un análisis sobre el tiempo de trabajo y el tiempo de espera que hay en las diferentes etapas del diagrama de flujo a fin de eliminar todo lo que no aporta valor ante la opinión del cliente y a la calidad Seis Sigma.

2.6.4. Etapa de Mejora.

Avanzando en el método DMAIC corresponde la etapa de Mejora del proceso, una vez que se entiende la raíz de la causa de los defectos o problemas el equipo necesita generar ideas para eliminar o resolver éstos con el objetivo de mejorar indicadores del desempeño del proyecto. Esto constituye una recopilación de ideas y sugerencias para evaluar los cambios técnicos y organizacionales y tomar una decisión con una calificación sobre las alternativas que hay para las mejoras, generalmente las diferentes propuestas se evalúan en una matriz que refleje los diferentes criterios o prioridades sobre los que se debe tomar la solución a fin de jerarquizar de acuerdo con cada criterio. Estos criterios pueden ser el costo, tiempo, potencial para mejorar la calidad, recursos necesarios, efectos sobre los supervisores y trabajadores así también como las barreras para la implementación y la resistencia al cambio de la cultura organizacional establecida.

Elegir la solución más conveniente regularmente es sencillo ya que se debe considerar la alternativa más sobresaliente entre las demás propuestas, pero aun así es necesario realizar una prueba de requisitos mínimos en las soluciones para saber si es que la solución lograra reducir la variación media del proceso o eliminara completamente la causa raíz de los defectos. Con esto también se evalúa el impacto y el esfuerzo que se debe considerar con la solución elegida por el equipo, para esto se debe discutir si es sencilla de aplicar y el tipo de impacto que tendrá en las siguientes etapas del proceso y en los clientes. Para este caso lo ideal es elegir la solución que presente un alto impacto de mejora y si requiere de poco esfuerzo para su ejecución en el proceso y evitar las soluciones que requieren mucho esfuerzo y que produzca un pequeño impacto en la mejora.

Al final de esta etapa se concreta una prueba piloto con las mejoras establecidas por el equipo Seis Sigma y las etapas anteriores de la metodología a fin de alcanzar una planificación y pruebas para volver a evaluar el tiempo requerido, el alcance con respecto al cliente y la mejora de calidad y lograr una prevención de problemas durante la puesta en marcha de la prueba piloto de la Mejora en el proceso.

2.6.5. Etapa de Control.

Es la última etapa del método DMAMC, una vez que las mejoras deseadas han sido identificadas y alcanzadas se va a necesitar que se logren conservar para garantizar que las variables claves continúen dentro de los rangos aceptables en el proceso de modificación. Para esto se diseña un sistema que mantenga las mejoras logradas y controlar las causas de defectos vitales en una forma permanente y generalizado en el proyecto. Es así que lo ideal de esta etapa es que el control de las mejoras soporte las pruebas del tiempo en el proyecto.

Un sistema de control ayuda a prevenir que los errores que tenía el proceso no se vuelvan a repetir, impidiendo que las mejoras y conocimientos adquiridos al respecto se olviden durante los procesos y así mantener el desempeño deseado para el cliente y el nivel de calidad en un proceso de mejora continua.

Establecer el control en un proyecto Seis Sigma requiere de disciplina personal y organizacional para evitar que los procesos de control de mejora se realicen de forma irregular permitiendo descuidos en las actividades del proceso. Con esto es necesario explicar las razones a todos los equipos involucrados en el proyecto del porque son monitorizados, controlado y mejorado en sus trabajos, y es que la Metodología Seis Sigma requiere de ser comunicada e informada en todo el entorno de modo de cerrar y difundir las nuevas características de la realización del proyecto.

También es necesario documentar el plan de control para facilitar la comprensión a los procedimientos estándar de operaciones, ya que la estandarización por documentos contempla procedimientos redactados de forma correcta y clara a fin de obtener instrucciones estandarizados en las mejoras. Es así como también se logra un correcto monitoreo del proceso en base al registro de valores y medidas continuas del proceso que se pueden resumir en gráficos de control.

Es necesario también recordar que los límites de control provienen del análisis estadístico que muchas veces no considera una relación directa con los requisitos de los clientes en los proyectos por lo que se debe mantener la atención en el cliente durante la etapa de control.

Finalmente, el producto de esta etapa es lograr diseñar un plan de gestión de procesos en los equipos Seis Sigma para establecer definitivamente una estructura de control al proyecto.

2.6.6. Estructura organizacional de la metodología Seis Sigma.

Seis Sigma constituye una infraestructura de roles para ayudar en el rediseño de la organización del trabajo a realizar en el proyecto. Es así que se determinan responsabilidades que tendrán una participación clave en cada etapa de la metodología DMAMC.

El rol más importante para armar la estructura de la Metodología Seis Sigma surge bajo el liderazgo de la Dirección quienes son los encargados de identificar las áreas a mejorar, la constitución de los equipos de trabajo, el enfoque al cliente tomando en cuenta sus necesidades y ahorro económico. Es así como previamente se deben identificar y seleccionar los proyectos.

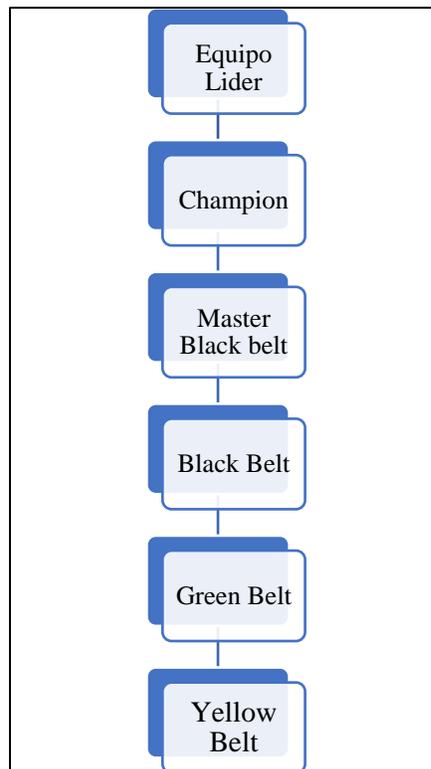


Figura 17. Jerarquía del Equipo Seis Sigma.

Fuente: (Pande, Neuman, & Cavanagh, 2004)

2.7.5.1. *Equipo Líder.*

Está conformado por los principales directivos de la empresa y son quienes respaldan y lideran el plan de implementación de Seis Sigma, crean una visión del proyecto y exigen medidas fuertemente acotadas a los resultados tomando una decisión respecto a la naturaleza y contratiempos de éstos. Son quienes aportan y establecen la correcta dirección al equipo Seis Sigma.

2.6.6.2. *Los Champions.*

Es un directivo que supervisa el proyecto de calidad Seis Sigma y se conforma como responsable frente al consejo directivo sobre los resultados de éxito del proyecto. Está encargado además de orientar al equipo sobre el correcto camino a seguir y ayudar a superar dificultades que aparecen en la gestión de organización del equipo y así crear una correcta coordinación de labores en el proceso de implementación de la metodología. Además, es quien consigue recursos y debe lograr aprender del equipo la importancia de una gestión basada en datos lo se infiere que se debe involucrar directa o indirectamente en el trabajo de equipo. (Pinochet, 2020)

2.6.6.3. *Master black belt*

Se le considera el tutor de la metodología Seis Sigma y es quien aconseja a los propietarios y equipos de mejora en las herramientas estadísticas de medida, sin embargo, no debe interferir en la forma de trabajo ya que solo se limita a aconsejar en estos sin tomar decisiones en la organización. También recoge y analiza datos sobre el trabajo en grupo estimando los beneficios al proyecto.

2.6.6.4. *Black Belt.*

Se le considera el jefe de equipo, es quien lidera las decisiones y gestión del trabajo de equipo siendo directamente responsable del trabajo diario y los resultados en la calidad del proyecto. Maneja y enseña a utilizar las herramientas de análisis estadístico a su equipo trabajando junto con ellos, revisa y aclara la necesidad en el proyecto. También es quien identifica y consigue recursos y datos a fin de mantener una solida planificación en todas las áreas que conforman su equipo y los proyectos apoyando las implementaciones de mejoras.

2.6.6.5. *Green Belt*

Son generalmente empleados que han recibido un entrenamiento previo en la metodología Seis Sigma y que saben el trabajo en equipo en pequeños proyectos, es además asistente directo del Black Belt y tiene capacitación en herramientas estadísticas.

2.4.2.6. Yellow Belt.

Corresponde al personal de piso que tiene problemas en su área, el cual tiene conocimiento de los problemas y de los cambios necesarios. Está capacitado con una cultura básica de calidad y un leve entrenamiento en herramientas estadísticas básicas y en DMAMC.

2.7. Rediseño Seis Sigma de procesos.

Los proyectos más comunes donde se estructuran de una forma DMAMC se centra en eliminar las principales causas de costes y los defectos de un proceso. Sin embargo, estos proyectos de reducción de errores por sí solos no son suficientes para satisfacer las necesidades de cambios en los productos o servicios en una empresa. Esto implica que, con la aplicación convencional de las técnicas de control estadístico de procesos, sólo se logra una parte de las posibles mejoras, es por ello que existe el diseño y rediseño del proceso cuando no está claro en el primer momento.

Esta etapa motiva a logros significativos en la reducción de costos directos y en la satisfacción del cliente ya que los problemas de diseño, aunque son difíciles de detectar son accesibles para arreglas.

Una meta fundamental es minimizar la ocurrencia de sorpresas, urgencias a última hora en base a los requerimientos de los clientes. Este nuevo proceso de mejora Seis Sigma se aplica cuando:

- Hay oportunidad de un nuevo producto o servicio.
- Las mejoras posibles no son de gran impacto.
- Las mejoras posibles no son suficientes para cumplir con las necesidades y exigencias de los clientes.
- El proceso defectuoso no se puede mejorar.

Frente a estos factores se considerar rediseñar un proceso con características en la metodología DMAMC de tal manera que hay una diferencia entre la mejora de procesos y el diseño/rediseño de procesos.

2.7.1. Rediseño de Procesos (DMADV).

La metodología de mejora como la de rediseño son similares y se conforma de las siguientes etapas:

2.7.1.1. Definir.

Tiene una semejanza con la etapa Definir de los procesos, sin embargo, la mayor diferencia está en el lograr crear algo nuevo en vez de arreglarlo, pero aun así el equipo debe determinar el alcance que se quiere lograr con el diseño/rediseño con una valoración hasta subjetiva de la información. Sin embargo, es importante determinar el alcance ya que el proceso modificado puede afectar las entradas y a los resultados de otros procesos ya existentes alterando la organización a nivel global. Es claro también que no se debe descuidar los requerimientos de los clientes en esta etapa, sino que siempre debe determinar las decisiones de diseño/rediseño de los procesos en el proyecto.

2.7.1.2. Medir.

Se debe tener claro que el equipo Seis Sigma en la etapa de diseño no tiene que detectar la causa raíz de un defecto, sino que debe calcular el rendimiento actual para poder evaluar posteriormente los progresos logrados. Esto muestra que medir los procesos existentes suele ser de gran utilidad en los esfuerzos de diseño/rediseño porque se puede obtener datos de eficiencia del proceso. Es así que principalmente se debe medir el rendimiento respecto a los requisitos de los clientes.

2.7.1.3. Analizar.

En esta etapa se centra en desarrollar los conceptos alternativos y seleccionar los conceptos que encajen de mejor manera para el diseño de alto nivel y poder predecir su capacidad para cumplir los valores de calidad y requerimientos, es decir que se centra en identificar las mejores prácticas. No se enfoca en encontrar causas raíz, sino que en entender todos los factores que afecten en el diseño con Benchmarking y análisis de mejoras de prácticas ya existentes.

2.7.1.4. Mejorar/diseñar.

El equipo en esta etapa debe crear nuevos procesos que tenga un costo menor, libre de errores y que soporte un alto rendimiento diseñando, refinando el diseño e implementando el nuevo proceso de forma iterativa. Este proceso se realiza probando las suposiciones y principios del workflow. Tomando las decisiones para implementar los nuevos procesos y estructuras en el proceso.

2.7.1.5. Verificación.

Es la etapa de construir y desarrollar el proceso piloto para verificar el cumplimiento de los niveles de calidad Seis Sigma, estableciendo medidas y revisiones para mantener el rendimiento del diseño/rediseño del proceso.

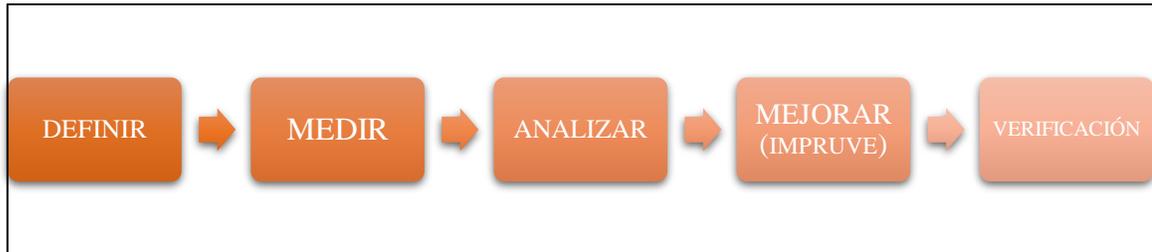


Figura 18. Estructura DMADV

Fuente: "Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma (Gutierrez Pulido & De La Vara Salazar, 2013).

2.8. Gestión por procesos.

Corresponde a la etapa clave del éxito de la Metodología Seis Sigma en las empresas, ya que es liderada por la alta dirección de la Estructura Organizacional de Seis Sigma lo cual requiere una mayor experiencia ya que la gestión de proyectos indica que se debe dar una mayor importancia a la gestión provenientes de la organización en lugar de centrarse en las funciones individuales de los diferentes equipos internos.

Esta etapa se refiere establecer mapa de procesos, análisis de datos para darle un enfoque a las variaciones de resultados y también un cambio cultural en el uso de herramientas de la Calidad ya que Seis Sigma considera la participación y evaluaciones de todos los actores involucrados en el proceso del producto o servicio.

Esta suele ser la forma más complicada de aplicar la metodología Seis Sigma y se compone en definir los procesos y requisitos del cliente, medir el rendimiento respecto a los requisitos del cliente e indicadores claves. Después analizar los datos para mejorar las mediciones y refinar los mecanismos de gestión de los procesos para que finalmente se pueda controlar el rendimiento a través de la monitorización continua de las entradas. En resumen, se puede aplicar el método DMAMC, pero centrándose en los procesos y no en el problema específico.

Sin embargo, hay que destacar que la gestión de los procesos es el trabajo dirigido en los altos directivos y líderes para mejorar la gestión de la empresa.

Capítulo 3 : Gestión de herramientas de diagnóstico y aplicación de la metodología Seis Sigma.

3.1. Estudio y análisis de mapa de procesos de construcción.

Un proyecto de edificación considera diferentes elementos que se estructuran de forma única en una definición de objetivo, resultados, requisitos, plazos, Calidad y gestión de Calidad, seguridad, medio ambiente y costos. Cada elemento especificado en la documentación necesaria para registrar el proceso de ejecución en forma de entregables del proyecto.

Se considera además que el los proyectos de construcción tiene dos tipos de áreas importantes de desarrollo que es la Gestión de Construcción y los Procesos Constructivos. Por lo que se puede definir la relación de cada elemento en un mapa de procesos característicos tanto para la gestión y los procesos constructivos.

El mapa de procesos permitirá poder identificar las actividades que pueden otorgar datos dentro de un desarrollo repetitivo y en cuales hay una potencial variación de cifras y precisión.

3.1.1. Gestión de Construcción.

Se realizará un estudio y mapa de procesos sobre los elementos constituyentes de la gestión de construcción en las áreas tales como:

- a) La Organización en obra: Se analizará la estructura jerarquizada y la relación entre cada nivel funcional establecido en la obra de construcción representada en el organigrama, y también la designación de responsabilidades.
- b) La gestión de recursos: Se estimará el funcionamiento y optimización de recursos materiales enfocado en los proveedores y su respuesta a las solicitudes de la empresa a cargo del proyecto de edificación así también en la mano de obra para poder determinar la capacidad y avance según la cantidad de personal en terreno.
- c) Los equipos y maquinaria: Se analizará la cantidad de maquinaria y equipos en obra para poder cumplir con los requerimientos técnicos y de avance en obra, también detectar errores en la mantención y uso en terreno.
- d) Subcontratos: Para tal rol dentro del proyecto se tendrá un registro y análisis de cumplimiento de responsabilidad, calidad y cumplimiento de especificaciones técnicas de parte de la empresa subcontratista para determinar variaciones respecto a lo que establecen los costos, tiempo y especificaciones técnicas, también se considera estudiar el cumplimiento de pagos en las fechas estimadas entre ambas empresas.
- e) Relación y manejo de información: Debido a que la relación e información entre los distintos componentes de la organización de la obra determina una ejecución de trabajos sin errores se realizara un análisis del grado de conocimiento del proyecto y los plazos que deben tener presente para poder avanzar en cada labor del proyecto de construcción para identificar puntos de variación en la gestión administrativa.

Se propone un mapa de procesos de gestión en un proyecto de construcción, donde se puede adecuar a lo que la empresa o el proyecto en cuestión determine como necesario en su actividad.

Para facilitar la identificación de las actividades repetitivas y donde existe una potencial probabilidad de errores y variación en el desarrollo de un proyecto de construcción se plantea un mapa de procesos para cada área:

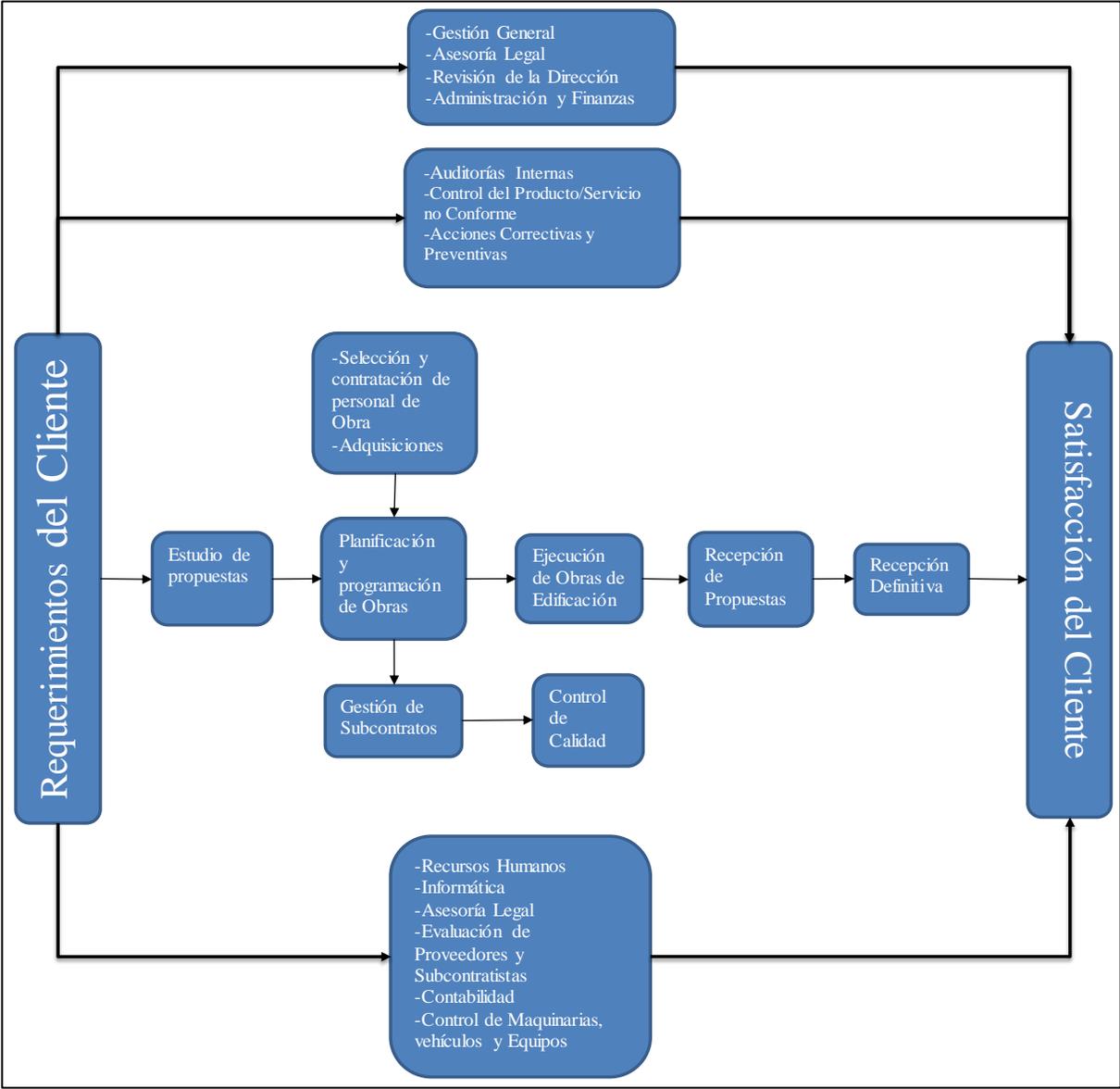


Figura 19. Mapa de proceso de Construcción.

Fuente: Tesis "Desarrollo de un sistema de gestión de la calidad y su aplicación en la empresa constructora Orlando Muñoz y CÍA. LTDA., Chillán", Ferrada Bustos, Cristian Guillermo, 2007.

3.1.2. Procesos constructivos.

Se realizará un estudio y mapa de procesos sobre los elementos constituyentes a los procesos constructivos de la edificación determinados como:

- 1) Procesos preliminares: Se refiere al análisis de datos obtenidos en Instalación de faenas, la limpieza y emparejamiento del terreno para finalmente realizar un replanteo de la obra en terreno.
- 2) Movimiento de tierra y fundaciones: Se establecerán datos sobre excavaciones y rellenos en el área de edificación del proyecto para lo cual se identificarán actividades repetitivas en esta etapa.
- 3) Estructura del cuerpo de la edificación: Dentro de cada proceso de instalación de moldajes, armadura y hormigonado junto con la instalación de estructura metálica se analizará las variaciones de los procesos repetitivos en esta etapa para identificar errores constantes y determinantes para las especificaciones técnicas.
- 4) Techumbre: Se refiere a la instalación del techo en la estructura, considerando variaciones de tiempo y mediciones según fabricación en maestranza para establecer datos de variación.
- 5) Terminaciones: Se considerará establecer un registro del cumplimiento del material requerido, plazos y condiciones óptimas de instalación para realizar la documentación de los datos para un análisis estadístico.
- 6) Instalaciones: Se establece como la etapa de instalación de alimentación de agua, corriente eléctrica, ductos para alimentación de gas licuado, determinar el nivel de funcionamiento de los desagües de agua servidas, equipos de aire acondicionado. En esta etapa se determina el funcionamiento ocupacional del proyecto.

Se propone un mapa de procesos de construcción en un proyecto de edificación, dicho planteamiento está sujeto a cambios en función de las características del proyecto y de los métodos constructivos que aplica la empresa.

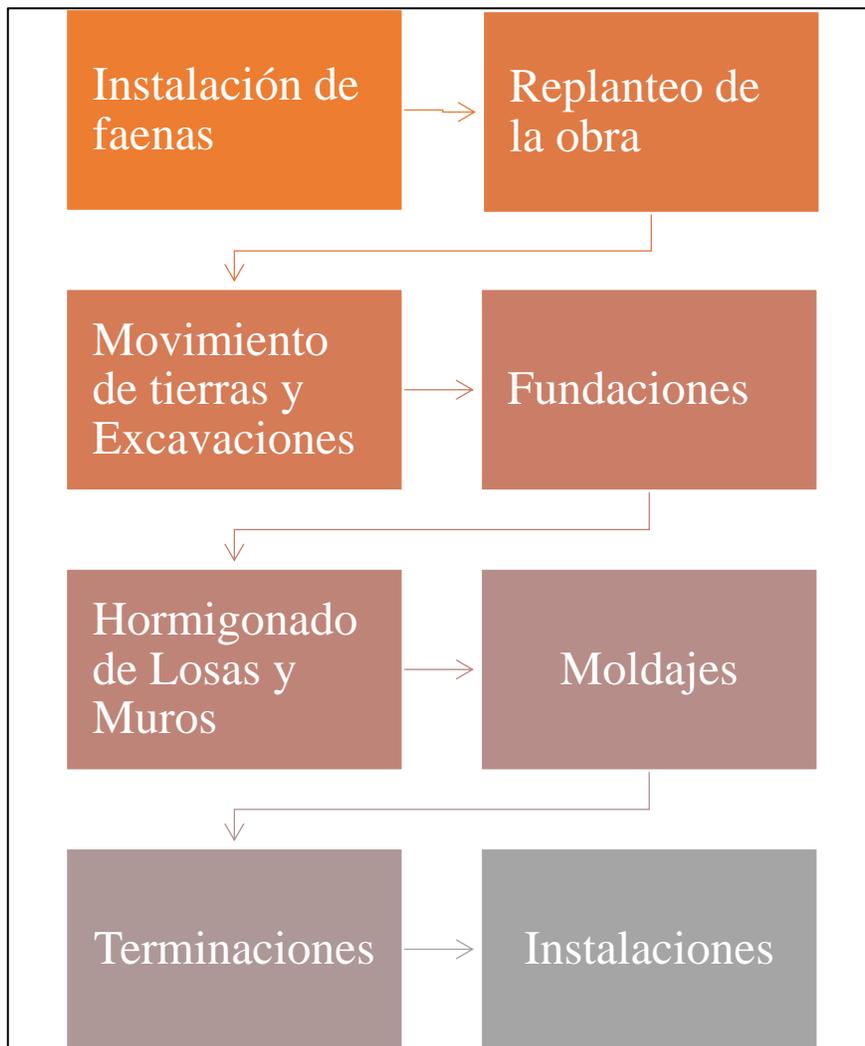


Figura 20. Mapa de procesos de proyectos de edificación.

Fuente: Tesis "Desarrollo de un sistema de gestión de la calidad y su aplicación en la empresa constructora Orlando Muñoz y CÍA. LTDA., Chillán", Ferrada Bustos, Cristian Guillermo, 2007.

3.2. Planteamiento y desarrollo de encuesta a profesionales en gestión de calidad y procesos de mejora continua relacionada con Seis Sigma.

Para complementar el estudio de la aplicabilidad de la Metodología Seis Sigma en proyectos de Edificación se realiza una encuesta y entrevistas a profesionales como Ingenieros Civiles y encargados de oficinas de Calidad en el área de construcción. Para plantear las preguntas de estas entrevistas se utiliza la información correspondiente al Capítulo 2.

La encuesta será dirigida a profesionales de la gestión de calidad tanto de empresas como académicos aplicados a proyectos de construcción de edificios.

Los profesionales a los que se le envía la encuesta son:

- a) Ingeniería Civil con experiencia en proyectos de construcción y procesos de mejoramiento continuo.
- b) Profesionales a cargo de la Oficina de Calidad de empresas constructoras preferentemente con proyectos de construcción de edificios.

Los profesionales serán contactados mediante correo electrónico donde se les invita a participar de la encuesta mediante un enlace a una plataforma online llamada e-encuestas lo cual permite recopilar la información de las respuestas para después poder tener acceso a una planilla Excel con todos los datos en las respuestas.

2.10.1. Objetivos de la encuesta.

En las encuestas se pretende lograr obtener la información y documentación clave para analizar la aplicabilidad de Seis Sigma en proyectos de construcción de edificios, estableciendo un seguimiento a la accesibilidad y frecuencia a capacitaciones e información de la Metodología, además la utilización de las herramientas estadísticas para establecer un control de Calidad en los proyectos, formular un análisis de procesos constructivos críticos para la construcción de edificios y por último lograr identificar casos reales o potenciales de la aplicabilidad con sus consecuencias según la experiencia compartida de los Ingenieros Civiles y profesiones de la gestión de Calidad en empresas constructoras y Universidades.

2.10.2. Estructura de la encuesta.

Al comienzo de la encuesta se presentan preguntas para la caracterización de cada participante basados en establecer la profesión, los estudios realizados al respecto de la gestión de Calidad, proyectos en los que ha participado en esa área, el tipo y alcance de la empresa en la que está ejerciendo, área de especialización y años de experiencia.

Las preguntas son planteadas con el objetivo de poder alcanzar un estado de diagnóstico a los elementos considerados como datos para documentar con un registro de avance en el proyecto de tal manera de poder determinar la aplicabilidad de la Metodología Seis Sigma.

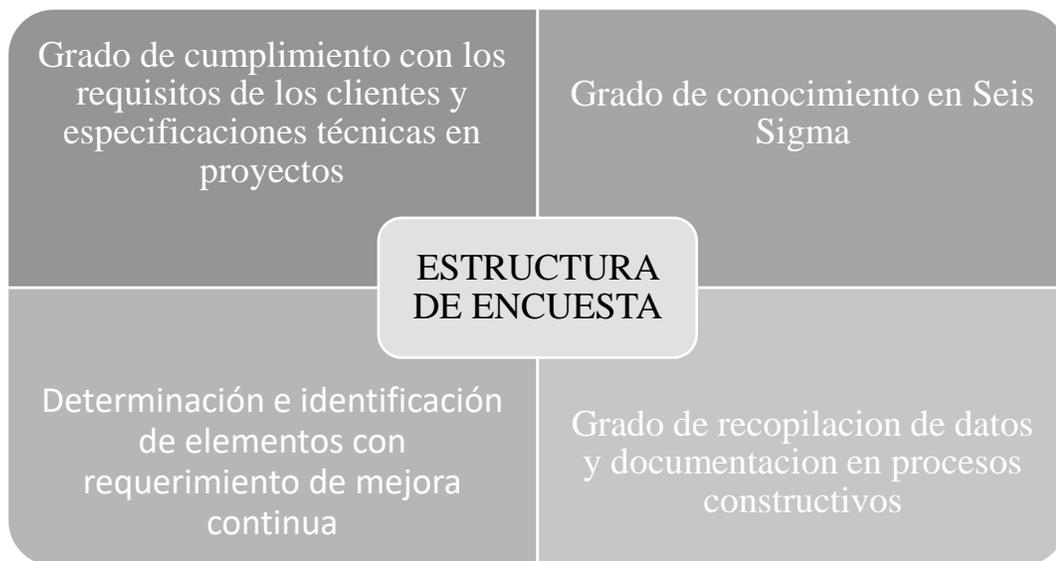


Figura 21. Estructura de encuestas a Profesionales de Gestión de Calidad.
Fuente: elaboración propia.

En la siguiente sección se detallan la cantidad de preguntas de cada sección de la estructura de la encuesta, además con la redacción de cada una de ellas para su evaluación y presentación.

2.10.3. Presentación de preguntas de la encuesta.

En las siguientes tablas se presentan las preguntas correspondientes a cada sección de la encuesta a profesionales de gestión de Calidad y Seis Sigma.

Tabla 3. Preguntas de Caracterización de los profesionales encuestados.

Contexto actual de la variación en datos, registros y documentación en obra

1. Área representativa de trabajo:
 - a. Edificios 1-10 pisos.
 - b. Edificios con más de 10 pisos
 - c. Edificaciones de 1 o 2 pisos
 - d. Mall y Centro Comerciales
 - e. Hoteles y Centros Turísticos
 - f. Supermercados y Bodegas
 - g. Edificios Municipales y Estatales
 - h. Museos
 - i. Otros.
2. En su experiencia ¿En qué tipo de procesos de gestión de construcción es más frecuente cometer errores?
 - a. Estados de pagos
 - b. Selección de Subcontratistas
 - c. Selección de proveedores
 - d. Contratación de personal

- e. Inventario
3. En su experiencia ¿En qué etapa de los procesos constructivos es más significativo las desviaciones respecto al plan?
 - a. Replanteo y Excavación
 - b. Hormigonado
 - c. Moldajes
 - d. Terminaciones
 - e. Instalaciones
 4. En su Experiencia ¿Qué tan frecuente es documentar los resultados y errores en los procesos de gestión?
 - a. Baja
 - b. Ocasional
 - c. Frecuente
 - d. Muy Frecuente
 - e. Siempre
 5. En su experiencia ¿Qué tan frecuente es documentar los resultados y errores en los procesos constructivos?
 - a. Baja
 - b. Ocasional
 - c. Frecuente
 - d. Muy frecuente
 - e. Siempre
 6. En su experiencia ¿En qué porcentaje aumentan los costos por el arreglo de errores y variaciones en los proyectos de construcción?
 - a. 1 a 10%
 - b. 10 a 20%
 - c. 20 a 30%
 - d. 30 a 40%
 - e. 40% o más
 7. En su experiencia ¿En qué porcentaje aumentan los plazos de finalización del proyecto debido a los errores y variaciones en los procesos?
 - a. 1 a 10%
 - b. 10 a 20%
 - c. 20 a 30%
 - d. 30 a 40%
 - e. 40% o más
 8. Respecto a su experiencia ¿Á conocido alguna metodología de mejora de procesos?
 - a. Si, formal

- b. Si, informal
 - c. No hay
 - d. No sabe
9. En su experiencia y con respecto a las metodologías de mejora de procesos ¿En su empresa se utiliza la metodología PDCA (ciclo de Deming) o similar?
- a. Si, formal
 - b. Si, informal
 - c. No hay
 - d. No sabe
10. La metodología Seis Sigma plantea lograr un porcentaje de conformidad en los resultados de los procesos de 99,99966%, lo que se traduce a 3,4 defectos por millón de oportunidades. En general la industria de la construcción ¿Cómo usted considera el grado de conformidad?
- a. 93,3% de conformidad
 - b. 99,379% de conformidad
 - c. 99,9767 % de conformidad
 - d. 99,9997% de conformidad

3.3. Desarrollo de entrevistas a profesionales en gestión de calidad de empresas constructoras.

La entrevista va dirigida a Ingenieros Civiles con experiencia en proyectos de construcción y procesos de mejoramiento continuo. Para poder captar su apreciación a la Metodología Seis Sigma.

Debido al contexto nacional se contacta mediante correo electrónico o en conferencia mediante video llamada para responder las preguntas formuladas a través de un enlace a una plataforma virtual donde se pueden guardar y analizar.

3.3.1. Objetivos de la entrevista.

El objetivo de la entrevista es lograr tener en base a la experiencia y amplia practica en gestión de procesos de mejoramiento continua de proyectos de construcción de edificaciones y poder obtener una apreciación acerca de la aplicabilidad de la metodología Seis Sigma, además de conocer los principales factores que los equipos de trabajo deben tener para poder implementar Seis Sigma en su planificación y filosofía de trabajo en el área de construcción. También la información proporcionada a través de la entrevista logra determinar un diagnóstico sobre la poca utilización de la Metodología en empresa con un sistema de gestión de Calidad definida.

3.3.2. Estructura de la entrevista.

La entrevista se organizará en base a 3 temas en consideración.

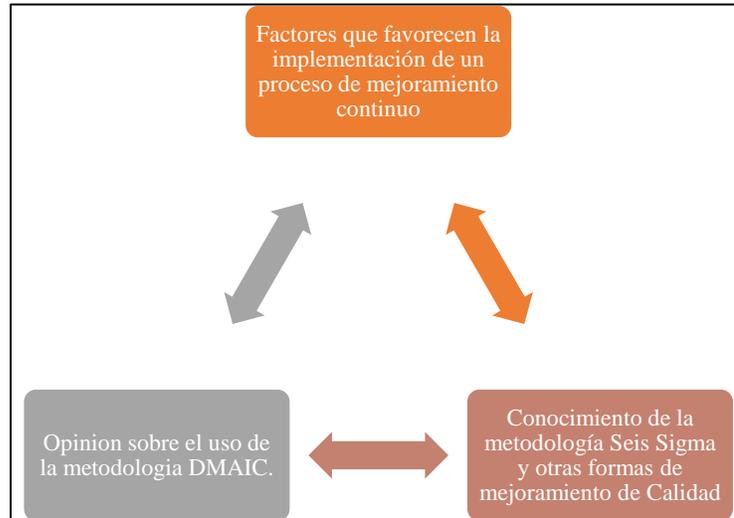


Figura 22. Estructura temática de entrevista Ingenieros Civiles.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Preguntas de la entrevista.

Las preguntas a continuación son las correspondiente para realizar a los Ingenieros Civiles expertos en el conocimiento de la metodología Seis Sigma.

Tabla 4. Primera Sección de preguntas de entrevista a Ingenieros Civiles.

Caracterización del entrevistado
1. ¿Qué cargo tiene actualmente en la empresa? ¿Cuánto tiempo tiene de experiencia en la aplicación procesos de mejora continua en edificación?

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Segunda Sección de preguntas de entrevista a Ingenieros Civiles.

Antecedentes Actuales en proyectos de Edificación
2. ¿Generalmente se miden y registran los defectos en la gestión de construcción?
3. ¿Se aplican herramientas de gestión estadística en los errores?
4. ¿Generalmente se miden y registran los defectos en la construcción?
5. Si hay procesos de mejora. ¿Se realiza una evaluación de efectividad o un seguimiento de la mejora?

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Tercera sección de preguntas de entrevista a Ingenieros Civiles.

Proyecciones futuras de procesos de mejora.
<ol style="list-style-type: none"> 1. Con respecto al nivel Sigma de los procesos ¿Qué Porcentaje de conformidad considera adecuado para un proyecto de edificación? 2. ¿Desde el punto de vista del nivel sigma medido según datos, cual corresponde a la conformidad adecuada? ¿Una categoría 3 sigma (correspondiente a un 93,3% de efectividad), superior o inferior? 3. ¿Considera factible medir y recopilar datos de cantidad de defectos en sus proyectos? 4. Si pudiera ¿Qué áreas o procesos investigaría? 5. Desde su propia experiencia ¿Qué procesos considera que deben mejorar? ¿Cuáles se debería rediseñar?

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Proyectos realizados según la aplicabilidad de la Metodología Seis Sigma.

Los casos reales a estudiar son proyectos actualmente en ejecución donde se pueda establecer las etapas de procesos constructivos con actividades preferentemente repetitivas además de un sistema de gestión de mejoramiento. Además de un planteamiento de un mapa donde poder graficar de mejor manera el proceso y la cadena critica tanto en el área de la gestión como también en la construcción del proyecto.

Para cumplir el correcto desarrollo del análisis en los casos reales de proyectos de construcción de edificación se plantea una etapa de decisión del cambio, un despliegue de objetivos, análisis del proyecto y sus etapas y finalmente obtener una evaluación de los beneficios (Yepes, Victor; Pellicer, Eugenio, 2014).

- a) Decisión del cambio: Se plantea dar a conocer las características de la metodología Seis Sigma y como se diferencia de los otros sistemas de mejora continua y basado en el mapa de procesos en el área de la Gestión y Construcción se evalúa el nivel sigma actual según la recopilación de datos. Se propone reuniones informativas con los directivos del proyecto para establecer las actividades que se necesitan estudiar por la cantidad de variaciones que presentan y además la forma repetitiva en que se ejecutan.
- b) Despliegue de objetivo: Según el nivel Sigma en que se encuentre el proceso de gestión y de construcción se establecerán objetivos para disminuir la cantidad de errores presentes en las actividades en base a la información y opiniones de cada integrante del proyecto.
- c) Desarrollo del proyecto: Se documenta los datos obtenidos con las observaciones de la cada participante del cuerpo profesional del proyecto para establecer ideas de mejoras en los puntos identificados con más errores.
- d) Evaluación de eventuales beneficios: Se proyecta los beneficios de la aplicación de mejoras continuas según el desarrollo del mapa de procesos de gestión y construcción, con el análisis de actividades repetitivas y con variaciones en los resultados. Esto permitirá evaluar los beneficios en los casos de replantear el desarrollo, supervisión y control de actividades críticas para cumplir con los requisitos técnicos y del cliente en el proyecto.

Capítulo 4 : Estudio sobre la aplicación de la Metodología Seis Sigma en proyectos y casos de estudio extranjeros.

4.1. Ejemplos de la aplicación de la Metodología Seis Sigma en proyectos de países extranjeros.

Como inicio de la investigación en la Aplicabilidad de la Metodología se presentan proyectos cuya realización implicó un control de mejora continua con las características de la metodología Seis Sigma dando a conocer que a nivel internacional es favorable poder lograr los beneficios que surgen con el sistema DMAIC en los procesos de proyectos.

4.1.1. Aplicación de Seis Sigma a procesos de viviendas de interés social (Jorge Alfredo Rojas Rondán, 2020)

Corresponde a un paper publicado con los datos adquiridos de los proyectos de Los Parques de San Martín de Porres de la empresa constructora Viva GyM S.A. en la ciudad de Lima, Perú. Donde se enfoca en demostrar que se pueden utilizar los parámetros y métricas de Seis Sigma para medir el nivel de calidad de los procesos claves de la construcción de viviendas, también estudiar la posibilidad de aplicar un estudio del método DMAIC a los procesos más críticos en el proyecto.

4.1.1.1. Método DMAIC.

Como primera etapa de la metodología es identificar los procesos críticos en la cadena de producción, para realizar esto se aplica la herramienta de análisis de Pareto a los costos estimados para cada actividad en la construcción del proyecto.

Tabla 7. Incidencia de especialidades en proyecto Vivienda Interés Social

Especialidad	Porcentaje
Estructuras	43.04%
Albañilería	7.99%
Acabados	26.72%
Instalaciones	22.24%

Fuente: *Aplicación de Seis Sigma a procesos de Viviendas de Interés Social.* (Jorge Alfredo Rojas Rondán, 2020)

De esta misma forma se logra analizar los procesos con mayor cantidad de observaciones y detalles registrados dentro de un avance del 80 % de ejecución.

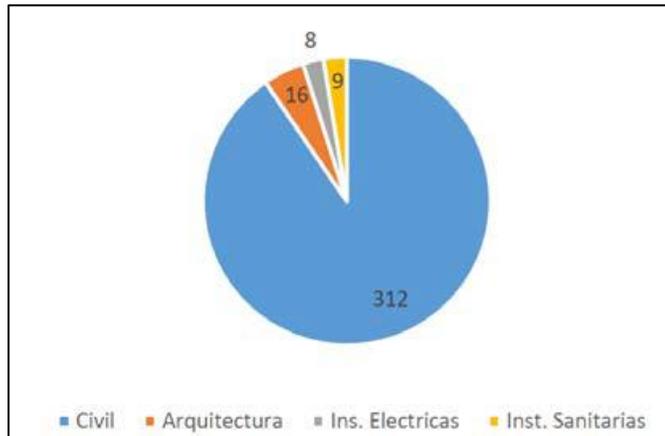


Figura 23. Fases del ciclo de mejora DMAIC

Fuente: Proyecto Los parques de San Martin de Porres. Viva GyM S.A. (Jorge Alfredo Rojas Rondán, 2020)

Se considera que las actividades con más incidencia es el proceso de hormigonado (concreto) y moldajes (encofrados) por lo cual se registra la cantidad de observaciones que hay presentes en esas etapas.

Tabla 8. Registro de observaciones en hormigonado.

Tipo	Símbolo	Cantidad de observaciones
Burbuja	B	333
Segregación	SE	197
Cangrejera	CA	39

Fuente: Proyecto Los Parques de San Martin de Porres. Viva GyM S.A. (Jorge Alfredo Rojas Rondán, 2020)

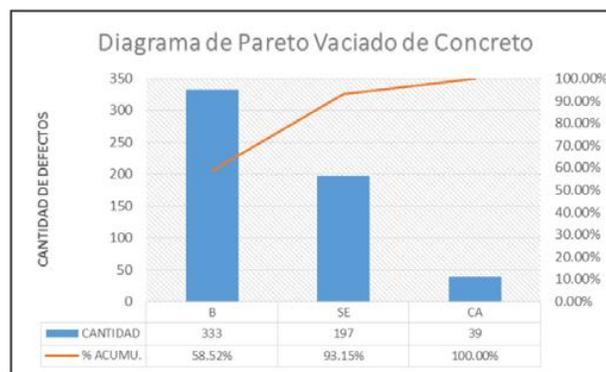


Figura 24. Diagrama de Pareto aplicado al proceso de hormigonado.

Fuente: Proyecto Los Parques de San Martin de Porres. Viva GyM S.A. (Jorge Alfredo Rojas Rondán, 2020)

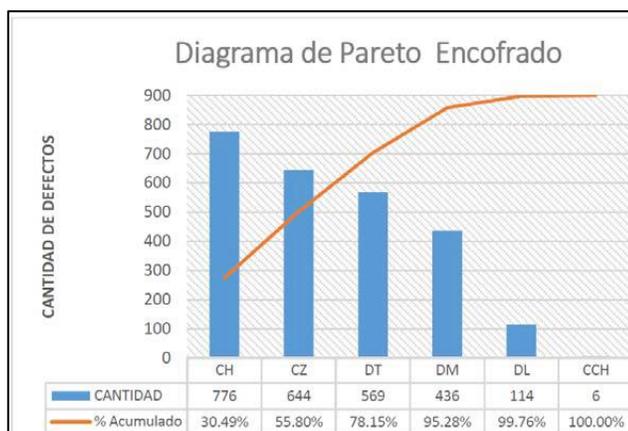


Figura 25. Diagrama de Pareto aplicado en los Moldajes.

Fuente: Proyecto Los Parques de San Martín de Porres. Viva GyM S.A. (Jorge Alfredo Rojas Rondán, 2020)

Con el resultado de ambos diagramas se determina que los procesos más críticos son el hormigonado y la instalación de moldajes y presentan variaciones que pueden mejorarse. Pero la efectiva del análisis se completa con el esquema SIPOC en ambos procesos.

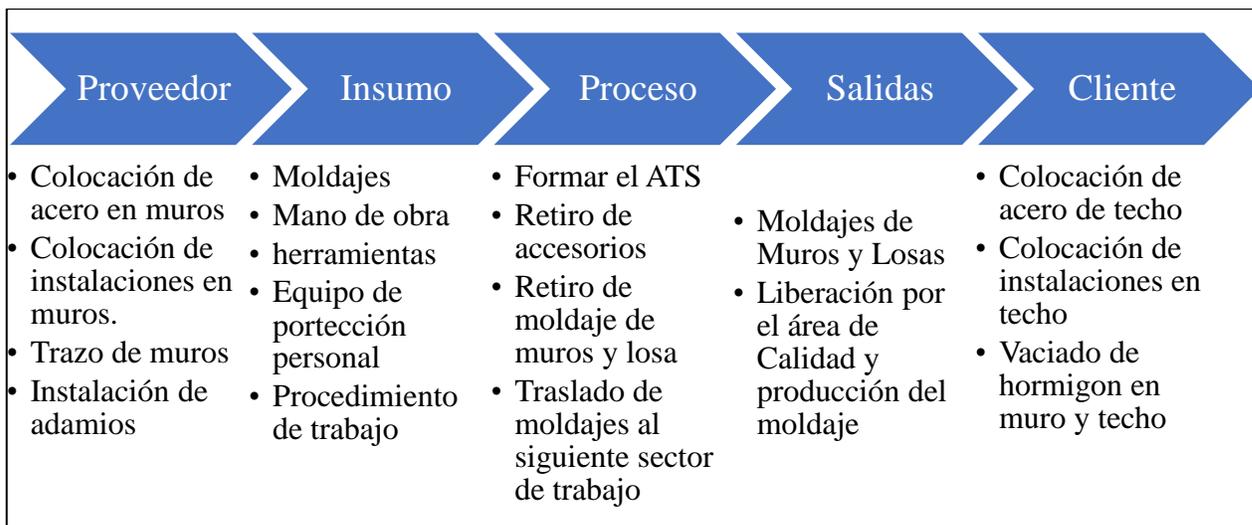


Figura 26. SIPOC aplicado al proceso de moldaje.

Fuente: Proyecto Los Parques de San Martín de Porres. Viva GyM S.A. (Jorge Alfredo Rojas Rondán, 2020)

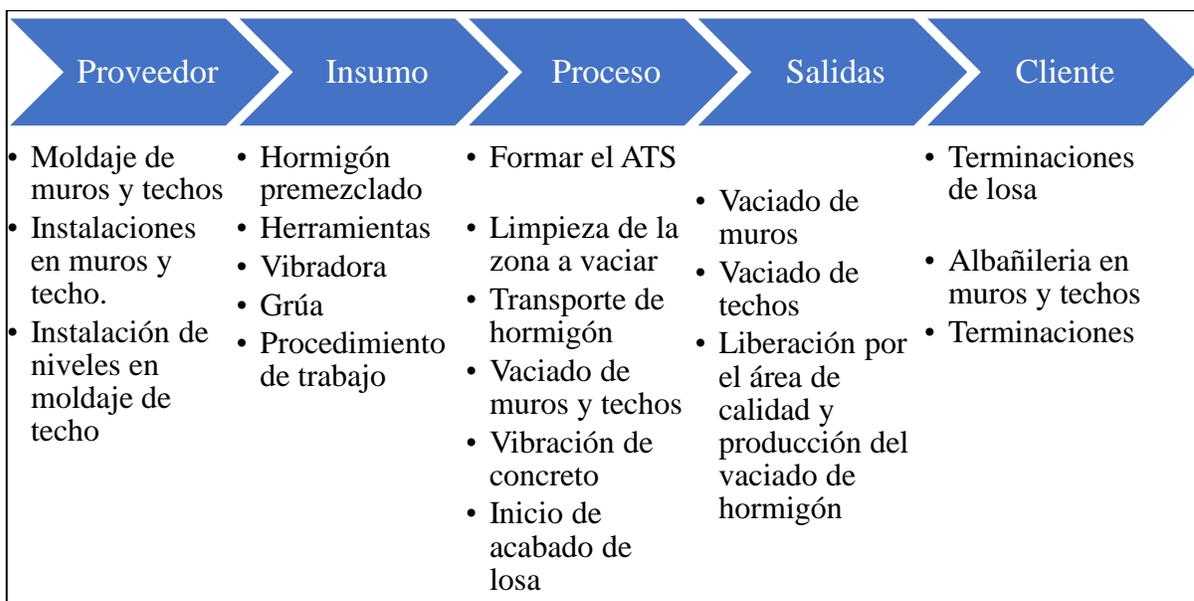


Figura 27. SIPOC aplicado al proceso de Hormigonado.

Fuente: Proyecto Los Parques de San Martín de Porres. Viva GyM S.A. (Jorge Alfredo Rojas Rondán, 2020).

En la fase de medir se plantea establecer el nivel sigma actual de los procesos según la métrica de la metodología. Donde primeramente se determina los tipos de defectos a ser contabilizados, para después establecer la cantidad de oportunidades de defectos por unidad procesada. Al tener la cantidad de defectos encontrados se puede calcular el rendimiento del proceso, con estos datos se determina el nivel sigma según la tabla de relación de nivel sigma.

Tabla 9. Tabla de relación de nivel Sigma.

Sigma	DPMO	Rendimiento	Sigma	DPMO	Rendimiento	Sigma	DPMO	Rendimiento
6.0	3.40	99.99966%	4.0	6210	99.38%	2.0	308538	69.1%
5.9	5.40	99.99946%	3.9	8198	99.18%	1.9	344578	65.5%
5.8	8.50	99.99915%	3.8	10724	98.9%	1.8	382089	61.8%
5.7	13.00	99.99866%	3.7	13903	98.6%	1.7	420740	57.9%
5.6	21.00	99.9979%	3.6	17864	98.2%	1.6	460172	54.0%
5.5	32.00	99.9968%	3.5	22750	97.7%	1.5	500000	50.0%
5.4	48.00	99.9952%	3.4	28716	97.1%	1.4	539828	46.0%
5.3	72.00	99.9928%	3.3	35930	96.4%	1.3	579260	42.1%
5.2	108.00	99.984%	3.2	44565	95.5%	1.2	617911	38.2%
5.1	159.00	99.977%	3.1	54799	94.5%	1.1	655422	34.5%
5.0	233.00	99.966%	3.0	66807	93.3%	1.0	691462	30.9%
4.9	337.00	99.952%	2.9	80757	91.9%	0.9	725747	27.4%
4.8	483.00	99.931%	2.8	96801	90.3%	0.8	758036	24.2%
4.7	687.00	99.90%	2.7	115070	88.5%	0.7	788145	21.2%
4.6	968.00	99.87%	2.6	135666	86.4%	0.6	815940	18.4%
4.5	1,350.00	99.81%	2.5	158655	84.1%	0.5	841345	15.9%
4.4	1,866.00	99.74%	2.4	184060	81.6%	0.4	864334	13.6%
4.3	2,555.00	99.65%	2.3	211855	78.8%	0.3	884930	11.5%
4.2	3,467.00	99.53%	2.2	241964	75.8%	0.2	903199	9.7%
4.1	4,661.00	99.38%	2.1	274253	72.6%	0.1	919243	8.1%

Fuente: Proyecto Los Parques de San Martín de Porres. Viva GyM S.A. (Jorge Alfredo Rojas Rondán, 2020).

Determinándose que el proceso de moldaje se encuentra en un nivel de 1,15 sigma mientras que en el proceso de hormigonado está a un nivel 2,44 sigma.

Ya en la etapa de analizar se aplican herramientas tales como pruebas de hipótesis, análisis multifactorial o también capacidad de procesos.

En la siguiente etapa de control se realizan gráficos de control, esto pudo demostrar que fue completamente factible utilizar la metodología Seis Sigma en los proyectos de viviendas de interés social. Esto determina oportunidades de mejora en los procesos basado en la aplicación de las herramientas estadísticas y la métrica Seis Sigma.

4.1.2. Proceso de montaje de una estructura aeronáutica. (Estrada Carrasco, Elena, 2015)

La estructura en estudio para este caso se llama Tailboom, esta pieza forma parte de la zona posterior de los helicópteros de gran tamaño. La función que cumple es poder dar estabilidad en el vuelo y también en aterrizaje. En su interior posee un motor y un sistema de conexión a los pedales del piloto.



Figura 28. Pieza Tailboom en estudio de aplicación Seis Sigma.

Fuente: Proyecto fin de carrera "Aplicación del método Seis Sigma en un proceso de montaje de una estructura aeronáutica"
Estrada Carrasco, Elena; Sevilla 2015.

Este elemento se compone de aleaciones metálicas ligeras divididas en dos partes: Cono y Pylon. Estas piezas se fabrican por separado uniéndose una vez que ambas piezas ya se encuentran terminadas.

El cono (tail cone) es la parte horizontal de la cola del helicóptero y está compuesto por una estructura de metal que forman un cuerpo interno del cono y se encuentran colocadas de forma equidistantes. La estructura mide 4 metros de largo y 1,05 metros de alto en la parte más alta, en una parte específica se une a una quilla para poder aportar estabilidad vertical en el aterrizaje y despegue del helicóptero.

El pylon es la estructura inclinada de la cola del helicóptero en donde se instala el motor pequeño, la pieza se instala al cono con un grado de inclinación de 70° con respecto al eje del cono. La pieza tiene una longitud de 2,6 metros y una altura de 0,9 metros en la parte más alta.

Lo que se destaca en el proceso de fabricación es que la unión de ambas piezas son parte del proceso crítico ya que es muy importante para el funcionamiento del helicóptero por lo cual el proceso de unión considera dos o tres días. Por el tiempo y los procesos es común la existencia de fallas tanto por error humano o por los mismos fallos del proceso. Sin embargo, la mayoría de los errores presentes son defectos del taladro tanto en la posición, diámetro, distancias al borde, condiciones indebidas de trabajo, profundidades, rebarbado correcto, marcas y acabado.

Considerando también la calidad y los requisitos del cliente, se establecen las demandas de acuerdo a la aplicación de planos y normas dadas por el cliente en donde se registran los errores en documentos clasificando el tipo de error y la frecuencia en el proceso de construcción que se informa al cliente para que informe sobre su decisión al respecto. El documento presenta las opciones:

-aceptable: No hace falta modificar la pieza y el cliente acepta el producto tal como está.

-Retrabajar: Es añadir sellante o aplicar algún tipo de arreglo.

-Tirar: Si no existe solución sobre la pieza se solicita una nueva pieza.

-Derogar: Se puede anular la demanda por parte del cliente.

En caso que el cliente determine que una pieza se tira se forma una inutilidad lo que aumenta los costos del proceso, que la empresa siempre intentara reparar y volver a utilizar la pieza desestimada por el cliente.

Este registro de demandas se organiza mensualmente para considerar la cantidad de aviones construidos y los errores presentes en los procesos donde se determinaron 66 demandas en los 14,56 aviones construidos en un mes. Este dato es determinante para poder relacionar el número de demandas y los aviones fabricados con el nivel de calidad del proceso de fabricación.

Lo importante en base a los datos globales es saber el punto que necesita mejora en el proceso para esto se aplica diagrama de Pareto de los últimos 12 años del proyecto para identificar las actividades que producen el 80% de daño y sobre ellas se define un método de mejora continua (doble chequeo, mapeado más claro para evitar la repetición de dicha falla).

En base a estos nuevos datos y análisis se plantean acciones correctivas según el método DMAIC de manera que cada vez que se recibe una queja del cliente se documenta con un diagrama de Ishikawa para hacer un seguimiento del proceso involucrado en la falla. Entonces se plantean reunión del equipo para ver las posibles causas y tomar decisiones para evitar que se repita los errores. Con la identificación de puntos críticos en los procesos.

Como primera medida fue contabilizar las demandas por avión y no por mes incluyendo las mediciones en función del grado de avance en las fabricaciones de los aviones. En definitiva, se pudo apreciar una disminución en el gasto de piezas inutilizables en los proyectos provocando un ahorro de más del 30% anual por lo que cual se comprueba que la Aplicabilidad de la Metodología Seis Sigma si produjo efectos favorables en la inversión de la empresa de fabricaciones de aviones.

4.1.3. Caso de aplicación de Seis Sigma en una empresa productora de Cemento. (Herrera, 2011)

Corresponde a una investigación sobre la evaluación de no conformidad en el proceso de seguridad industrial y salud ocupacional SIHSO en una empresa Productora de Cemento. En este contexto se aplica la metodología Seis Sigma para analizar los problemas que afectan estos procesos.

La seguridad industrial y salud ocupacional son condiciones y factores que afectan el bienestar de los empleados, trabajadores, contratistas o cualquier otra persona en el área de trabajo. Es decir que son aspectos importantes en la integridad de todos y cada uno de los trabajadores en su lugar de trabajo, de descanso y en todas las áreas de la compañía. El objetivo principal de la seguridad es evitar la lesión y muerte por accidente, reducir los costos operativos de producción y mejorar la imagen de la empresa mediante el fortalecimiento de la seguridad a los trabajadores.

En este caso se aplicó la métrica del cálculo de los defectos por millón de oportunidades según los datos documentados en la empresa que en este caso se interpreta como:

$$DPMO = \frac{n}{U \cdot Q} \cdot 1.000.000$$

Donde las variables son:

n: Accidentes e incidentes por año

U: Grado de exposición al riesgo (número de trabajadores x días trabajados por mes x mese trabajados al año)

O: Condiciones inseguras de trabajo por parte críticas del proceso.

Mediante análisis se determinó que se generaron accidentes entre los años 2008 y 2010 en dos de los cinco puntos críticos del proceso de producción de cemento: La trituradora y el almacén. Es en estas actividades donde se aplica la fórmula de los defectos por millón de oportunidades, se tomaron 7 de los trabajadores de la planta, que es en este número el que está expuesto a los dos puntos críticos en estudio.

También se considera los 24 días hábiles del mes y los 12 meses del año que trabaja la planta de producción de cemento.

Con el cálculo de la DPMO se encuentra la equivalencia en noveles sigma y a su vez el rendimiento en función del nivel sigma que corresponde. Además, se consideran los cálculos de los años 2008, 2009 y 2010 con los rendimientos correspondiente.

Tabla 10. Puntos críticos de la fabricación del cemento.

Partes críticas del proceso	No.	Condición insegura
1. Almacén	1	- Mal uso de los EPP (Elementos de protección personal)
	2	- Presencia de polvos
	3	- No hay señalización de lugares peligrosos
	4	- Mal distribución de espacios
2. Trituradora	1	- No hay señalización en zonas de riesgo de la máquina y sus alrededores
	2	- Pisos en mal estado
	3	- Presencia de polvos
	4	- Ruido
	5	- Vibraciones
	6	- Máquinas oxidadas
	7	- Mal uso de los EPP (Elementos de protección personal)
	8	- Aguas estancadas (Humedad relativa)
	9	- Presencia de microorganismos
3. Zaranda	1	- Pisos en mal estado
	2	- Presencia de polvos
	3	- No hay señalización en zonas de riesgo de la máquina y sus alrededores
	4	- No uso de los EPP
4. Banda transportadora	1	- Presencia de polvos
	2	- Estado de la banda (por atascamientos hay posibilidades de golpes al momento de la reparación)
	3	- No uso de los EPP
5. Mixer Droom	1	- No uso de los EPP
	2	- Cambios bruscos temperatura
	3	- Herramientas inadecuadas (al encender la mecha del mixer)

Fuente: Aplicación de Seis Sigma en una empresa productora de Cemento (Herrera, 2011).

Tabla 11. Tabla resumen de DPMO, rendimiento, nivel Sigma y rendimiento por unidades de salida.

Actividad / año	DPMO	Rendimiento	Sigma	Rendimiento en función de unidades de salida
Trituradora 2008	55.1146	94.1%	3.1	99.95%
Trituradora 2009	165.3439	84.1%	2.5	99.85%
Trituradora 2010	55.1146	94.1%	3.1	99.95%
Almacén 2008	0	100%	6	100%
Almacén 2009	0	100%	6	100%
Almacén 2010	372.023	61.8%	1.8	99.85%

Fuente: Aplicación de Seis Sigma en una empresa productora de Cemento (Herrera, 2011).

En la tabla resumen se presenta los valores de DPMO, el rendimiento y el nivel Sigma, además del rendimiento por año en función de las unidades de salidas que se refiere a las partes que entran al proceso y que salen defectuosas del mismo que es diferente al rendimiento anterior ya que se calcula en función del nivel Sigma.

En conclusión, de la investigación se determinó un nivel Sigma de 4.6 para el almacén mientras que para la trituradora se obtiene un promedio de 2.9 Sigma, esto indica que dentro de un millón de oportunidades de defectos unas 80.75 oportunidades serian probables de ocurrir un accidente o error. Lo ideal es alcanzar el nivel 6 Sigma tal como lo logró el almacén, esto muestra las condiciones inseguras de trabajo para la trituradora.

4.1.4. El método de Seis Sigma en la industria de la construcción para vivienda en serie. (Jimenez Lara, Julian Alberto, 2005)

Es un estudio de aplicabilidad de la metodología Seis Sigma en proyecto de viviendas en serie, éstos son producidos por una empresa tipo de edificación en la ciudad de Chihuahua. Donde se plantea la construcción de 100 viviendas y las calles del lugar están construidas por concreto hidráulico.

El tipo de viviendas a construir es de tipo medio residencial con un área de proyecto de 150 m^2 total, pero con un área de construcción de la vivienda de 94 m^2 en dos pisos. La vivienda considera espacio para dos autos, un pasillo de servicio, un patio posterior, baño, sala de comedor, cocina y lavandería mientras que en el segundo piso consideras dos dormitorios, un hall y un baño.

Los defectos identificados en los procesos consideran los tipos estructural debido al asentamiento diferencial poco visible, instalaciones hidráulicas y sanitarias por fugas detectadas, instalaciones eléctricas con previa entrega, terminaciones interiores, terminaciones exteriores y sistema de impermeabilización.

Tabla 12. Lista de defectos considerados en el proyecto de viviendas en serie.

Tipo de defecto
Estructural
Instalación hidráulica
Instalación sanitaria
Instalación de gas
Instalación eléctrica
Terminaciones interiores
Terminaciones exteriores
Impermeabilización

Fuente: Proyecto de construcción de viviendas en serie. (Jimenez Lara, Julian Alberto, 2005)

Tabla 13. Resumen de defectos y rendimiento.

Tipo de defecto	Defectos en 284 viviendas	Porcentaje	En 100 viviendas (proporcional)	Observaciones
Estructural	2	0.7 %	1	Asentamiento diferencial apenas visible (fisura 45 grados).
Inst. hidráulica	8	2.82%	3	Fugas detectadas previa entrega.
Inst. sanitaria	5	1.76%	2	Taponamientos detectados previa entrega.
Inst. gas	0	0.0%	0	Se realiza la prueba de hermeticidad previa entrega.
Inst. eléctrica	6	2.11%	2	Se detectan previa entrega y se corrigen.
Terminación interior	12	4.23%	4	Se detectan previa entrega y se corrigen.

Terminación exterior	18	6.34%	6	Se detectan previa entrega y se corrigen.
Impermeabilización	0	0.0%	0	No se detectan hasta que está en uso la vivienda y en lluvias.
Cancelería	0	0.0%	0	Vidrios quebrados que se reponen previa entrega.
Banquetas y guarniciones	6	2.11%	2	Se detectan previa entrega y se corrigen.

Fuente: Proyecto de construcción de viviendas en serie. (Jimenez Lara, Julian Alberto, 2005)

Tabla 14. Resumen de resultados nivel Sigma.

Indicador	Resultado
DPU= Defectos por unidad	0.2
DPMC= Defectos por millón de oportunidad	200000
Porcentaje de error	20%
Nivel Sigma	2.3416

Fuente: Proyecto de construcción de viviendas en serie. (Jimenez Lara, Julian Alberto, 2005)

El cálculo para este caso corresponde a un nivel 2,34 Sigma lo que refleja una empresa con muy pocas aptitudes competitivas por la cantidad de errores presentes en los diferentes procesos constructivos que corresponde al 30% de costos.

Finalmente se menciona que es necesario nuevas consideraciones para aplicar las herramientas estadísticas y poder controlar los defectos para aplicar una gestión de mejora continua que plantea la metodología Seis Sigma en la construcción.

4.1.5. Registros de datos en proyectos de construcciones en Europa (Yepes Piqueras, Victor, 2014)

Según los datos obtenidos de 10.000 informes de fallas del proyecto Buerau Seguritas en 1978 se puede demostrar que las fallas en la fase de diseño tienen igual cantidad de frecuencia que en la etapa de construcción. Además, se demuestra que el predominio de errores en países como España llega al 43% en el proceso de construcción.

En 1991 en un estudio realizado por los profesores Aguado y Agulló en obras hidráulicas españolas establecen un 35% de errores en la etapa de diseño del proyecto. Con esto se aplicaron

sistemas de aseguramiento de calidad como la norma ISO 9001 pero se requiere una filosofía de gestión de calidad que considere todas las áreas que influyen en la realización del proyecto.

Seis Sigma implica gestión, comunicación, metodología y mejoramiento continuo de los procesos, por lo cual sería una gran forma de reducir errores en los proyectos de construcción de edificios según el estudio estadístico realizado en Europa.

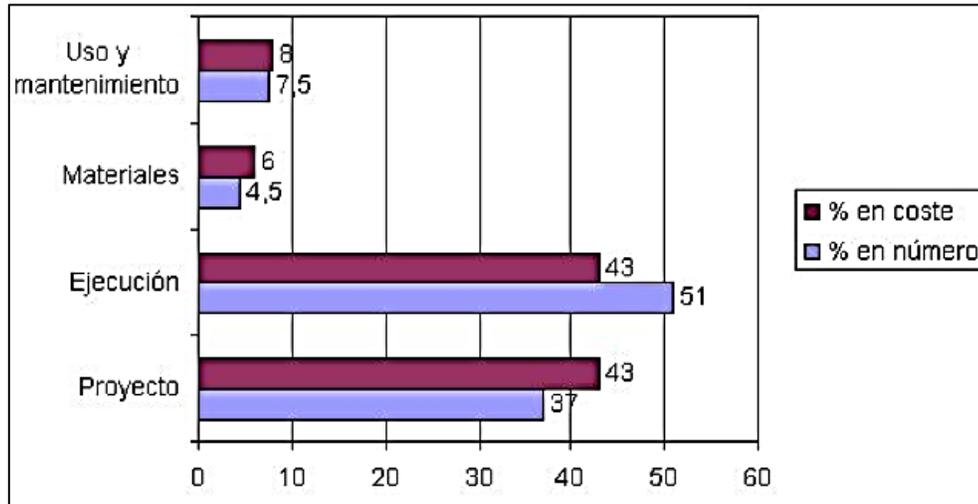


Figura 29. Distribución de los fallos en las etapas del proceso constructivo según el Bureau Securitas (Francia, 1978).

Fuente: *Aplicación de la Metodología Seis Sigma en la mejora de resultados de los proyectos de construcción* (Yepes Piqueras, Víctor, 2014).

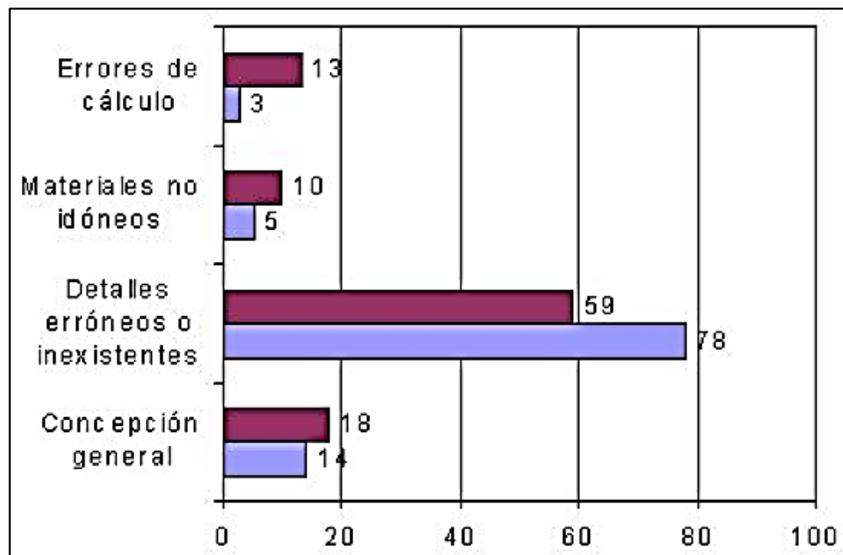


Figura 30. Distribución de los fallos según el Bureau Securitas (Francia, 1978)

Fuente: *Aplicación de la Metodología Seis Sigma en la mejora de resultados de los proyectos de construcción* (Yepes Piqueras, Víctor, 2014).

Capítulo 5 : Resultados y análisis de entrevistas y encuestas.

5.1. Entrevistas.

Las entrevistas realizadas contemplan captar información, opiniones y el contexto actual de la aplicabilidad de un método de mejora continua en proyectos de edificación con tal de poder determinar las formas actuales de documentación.

Se presenta en las siguientes figuras los perfiles y experiencia de 5 entrevistados correspondientes a profesionales especializados en el área de Calidad.

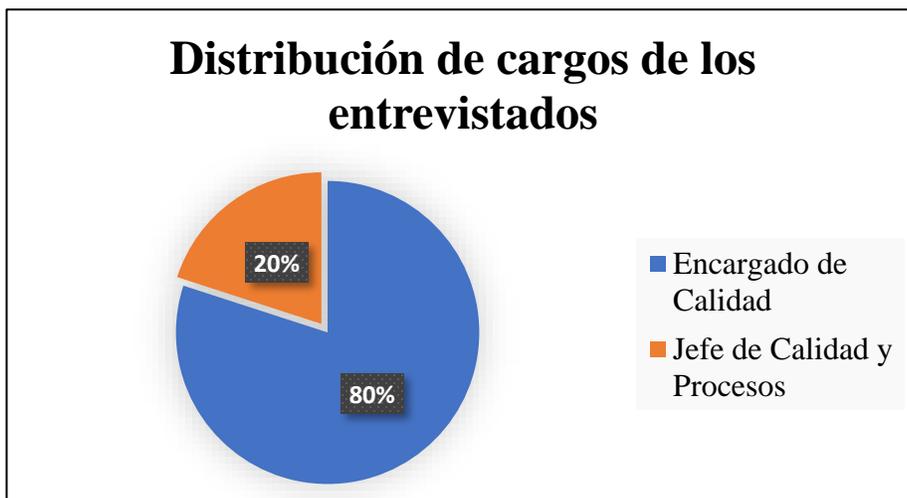


Figura 31. Distribución de cargo de los entrevistados.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 32. Distribución de experiencia laboral de entrevistados.

Fuente: Elaboración propia

En base a la estructura de la entrevista se realiza una tabla resumen donde se destacan los principales comentarios recibidos en cada sección de preguntas sobre el contexto de la documentación de errores en proyectos de edificación y en la percepción del rendimiento de procesos constructivos.

Tabla 15. Resumen de comentarios principales a la primera sección de preguntas de la entrevista

Antecedentes en proyectos de edificación.	
Tema tratado en la pregunta	Comentarios
Registro de defectos en gestión de construcción.	<ul style="list-style-type: none"> • Se miden defectos para aplicar objetivos en los plazos y costos. • Se miden defectos en la gestión de los trabajadores en obra. • Con el registro de los defectos se planifican estudios y mejoras para controlar los procesos de pagos y facturas. • Se forman documentos de no conformidad a las áreas relacionadas con los defectos.
Aplicación de herramientas estadísticas en análisis de errores.	<ul style="list-style-type: none"> • Se aplica seguimiento en los procesos con mayor frecuencia de errores. • Se aplican objetivos para establecer acciones preventivas. • Se aplica ciclo de PDCA en la mejora continua de los procesos. • Con la cantidad de errores medidos se aplica la norma ISO 9001- 15
Registro de defectos en procesos constructivos	<ul style="list-style-type: none"> • Se registran más frecuentemente errores en hormigonado. • Frente a errores detectados se crean acciones preventivas y correctivas al proceso. • Se registran mayoritariamente errores para informar en reunión de encargados sobre las precauciones a tener en cuenta.
Evaluaciones y seguimientos en las mejoras de defectos	<ul style="list-style-type: none"> • Se realiza seguimiento para estimar costos. • Se miden y se hace seguimiento a todos los defectos para tener un registro de no conformidad para realizar los 5 porque • Se busca la causa raíz en los seguimientos

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Segunda sección de preguntas a entrevistados.

Antecedentes en proyecciones futuras de procesos de mejora.	
Tema tratado en la pregunta.	Comentarios
Porcentaje de conformidad adecuado para un proyecto de edificación.	<ul style="list-style-type: none"> • El rendimiento adecuado debe ser 98% en los procesos constructivos • En la gestión debe ser efectivo en un 99%
Nivel de sigma adecuado a los procesos del proyecto de edificación.	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel 3 sigma para procesos constructivos. • Nivel 3 sigma para gestión en construcción
Factibilidad de recopilación de datos en obra.	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe crear un sistema efectivo de mediciones en los resultados y servicios en el proyecto. • La documentación de registros existe, pero sin especificaciones claras. • Es factible medir las variaciones siempre y cuando se supervise constantemente todas las actividades presentes. • No siempre se considera el detalle o la anticipación de errores en los procesos constructivos.
Procesos o áreas más adecuados para investigar mejoras.	<ul style="list-style-type: none"> • Las áreas tentativas a la investigación son las presentan mayores errores. • El proceso de hormigonado tiene un alto índice de variaciones en su ejecución y resultados por lo cual se debería investigar para plantar una mejor supervisión. • El sistema de moldaje tiene variaciones en sus materiales por los cuales se debería investigar sobre las mejoras en este proceso. • Proponer acciones correctivas y preventivas en la gestión y procesos de construcción es el mayor objetivo de la mejora de procesos.
Los procesos que requieren mejoras o rediseños en su ejecución en los proyectos de edificación.	<ul style="list-style-type: none"> • Hormigonado • Moldaje • Facturación y estados de pagos • Plazos para solicitud de material

Fuente: Elaboración propia.

5.2. Encuestas.

Las Encuestas realizadas tiene como principal objetivo poder tener un diagnóstico de la aplicación de métodos de mejora continua en los procesos relacionados a variados proyectos. También establecer la frecuencia de documentación y registros de datos en los procesos de gestión y construcción en los proyectos de edificación.

Los resultados se presentan considerando las preguntas y tendencias de respuestas mediante gráficos del formulario de Google Forms y fueron distribuidos a profesionales mediante sitios web, correos electrónicos y difusión del Área de Extensión del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile. Se muestran los gráficos y distribución de tendencias a 50 profesionales encuestados.



Figura 33. Distribución de áreas de desempeño de los encuestados.

Fuente: Elaboración propia mediante Google.

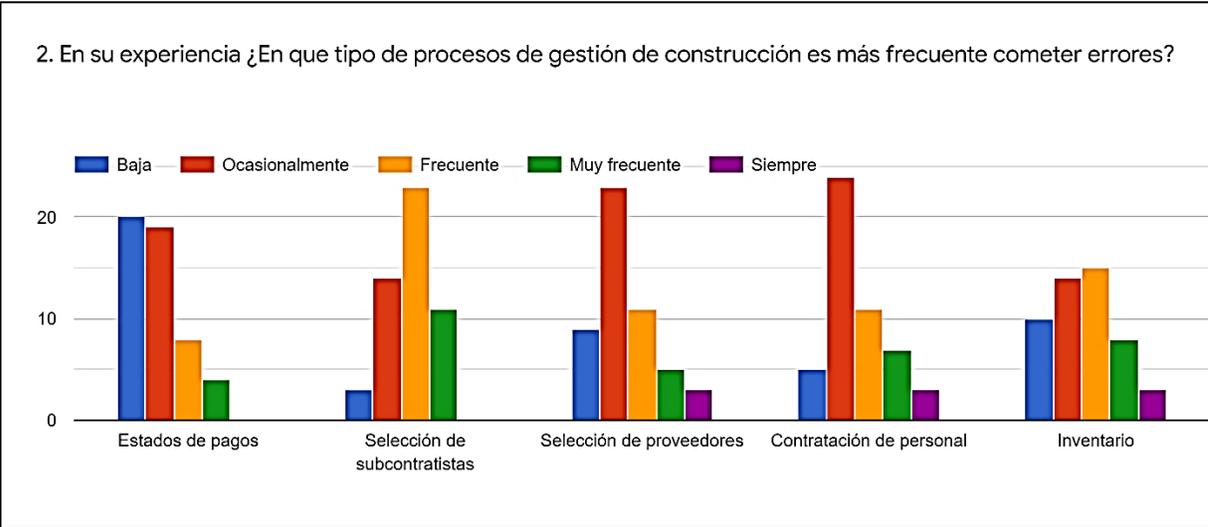


Figura 34. Experiencia de encuestados en procesos de gestión de construcción con más errores.

Fuente: Elaboración propia mediante Google.

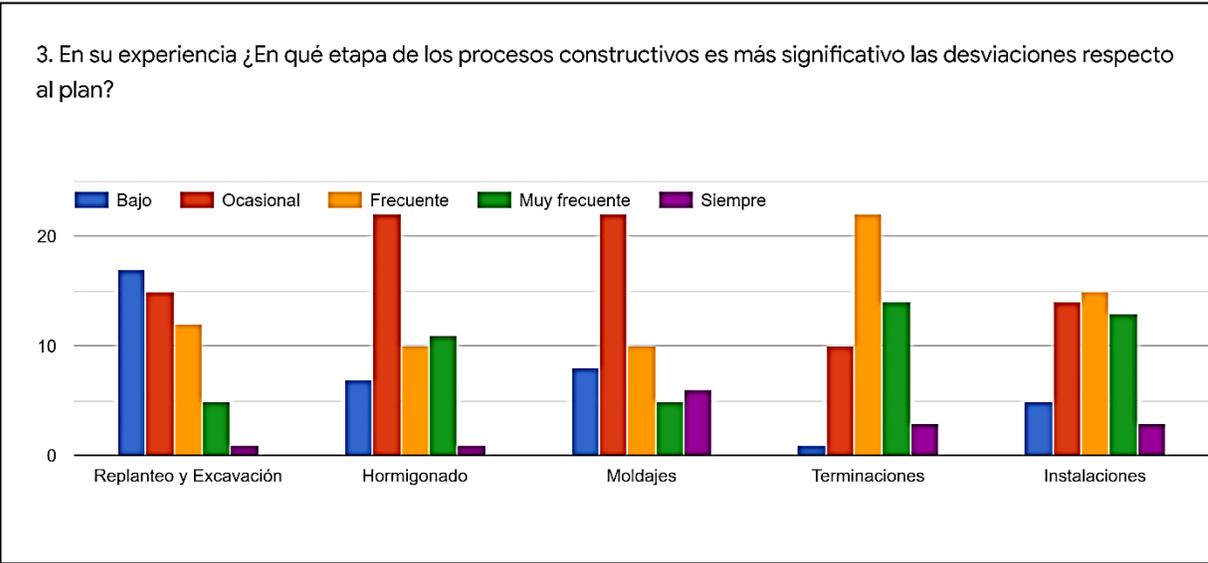


Figura 35. Experiencia de los encuestados en procesos constructivos con más variaciones.

Fuente: Elaboración propia mediante Google.

4. En su experiencia ¿Qué tan frecuente es documentar los resultados y errores en los procesos gestión?

50 respuestas

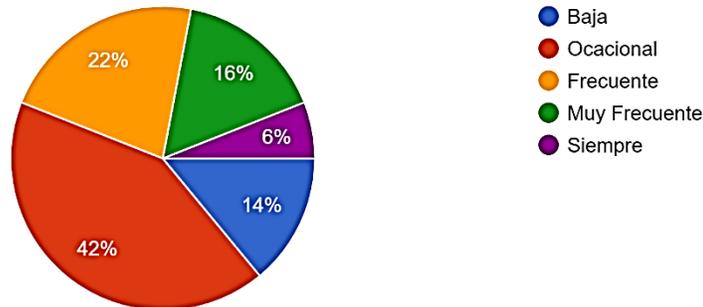


Figura 36. Distribución de experiencia de encuestados en frecuencia de documentación de gestión.

Fuente: Elaboración propia mediante Google

5. En su experiencia ¿Qué tan frecuente es documentar los resultados y errores en los procesos constructivos?

50 respuestas

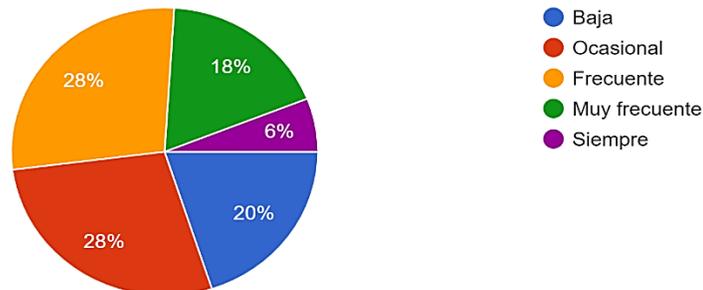


Figura 37. Distribución de experiencia de encuestados en frecuencia de documentación de procesos Constructivos.

Fuente: Elaboración propia mediante Google

6. En su experiencia ¿En qué porcentaje aumenta los costos por el arreglo de errores y variaciones en los proyectos de construcción ?

50 respuestas

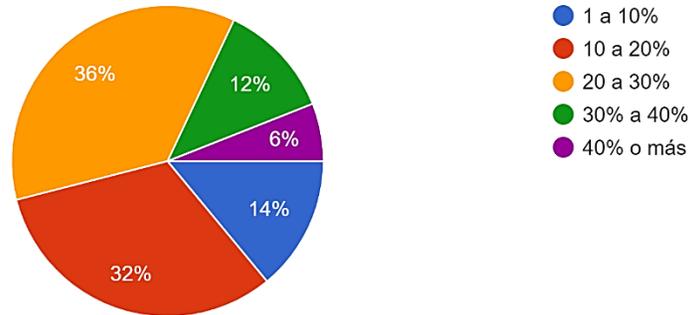


Figura 38. Distribución de experiencia de encuestados en aumento de costos por arreglo de errores.

Fuente: Elaboración propia mediante Google

7. En su experiencia ¿En qué porcentaje aumentan los plazos de finalización del proyecto debido a los errores y variaciones en los procesos?

50 respuestas

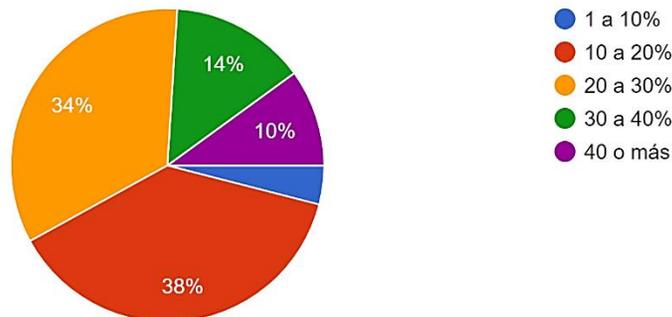


Figura 39. Distribución de experiencia de encuestados en aumento de plazos por errores.

Fuente: Elaboración propia mediante Google

8. Respecto a su experiencia ¿A conocido alguna metodología de mejora de procesos en la empresa?

50 respuestas

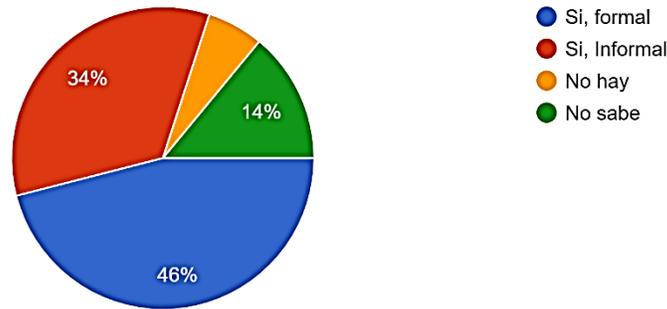


Figura 40. Distribución de experiencia de encuestados en conocimiento de metodología de mejora continua.

Fuente: Elaboración propia mediante Google

9. En su experiencia y con respecto a las metodologías de mejora de procesos ¿En su empresa se utiliza la metodología PDCA (ciclo de Deming) o similar?

50 respuestas

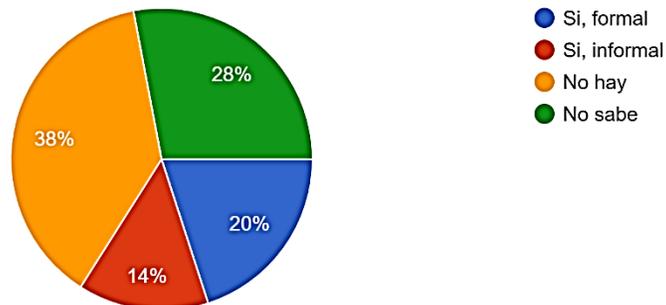


Figura 41. Distribución de experiencia de encuestados en uso de metodología PDCA.

Fuente: Elaboración propia mediante Google

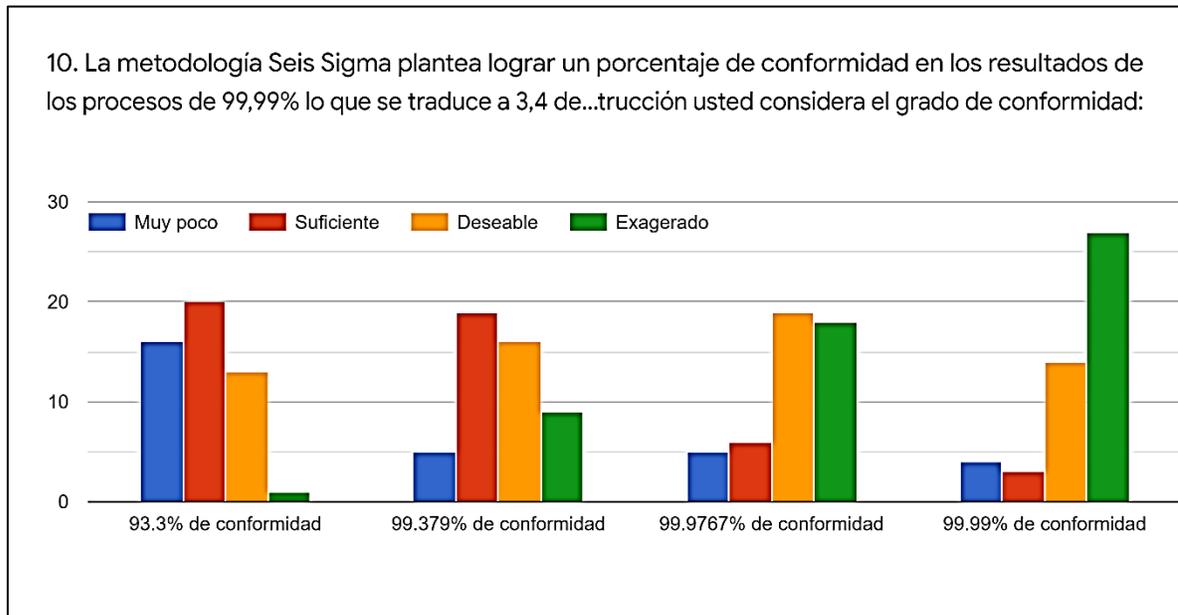


Figura 42. Distribución de experiencia de encuestados en evaluación de conformidad.

Fuente: Elaboración propia mediante Google

Expuestos los resultados de la encuesta se analiza en el siguiente ítem con el objetivo de poder determinar las tendencias y contextos que configuran la aplicabilidad de la Metodología Seis Sigma en proyectos de edificación.

3.5. Análisis de resultados.

3.5.1. Entrevistas.

En base a las respuestas obtenidas de los 5 entrevistados se puede determinar que existe la disposición de registrar las medidas de los errores en todos las actividades y áreas relacionadas con un proyecto de edificación. Esto es motivado por mantener un nivel estándar para el cliente sobre la eficiencia y eficacia de la constructora a cargo, tanto para establecer niveles de calidad en el servicio y producto final como también en la optimización de recursos de materiales y costos asociados a cada actividad.

Las no conformidades son documentos importantes para poder establecer acciones preventivas y así lograr evitar cometer errores de forma cíclica y repetitiva a fin de no aumentar los costos y plazos en situaciones que se pueden mejorar aplicando un rediseño al procesos o sistema de ejecución y supervisión. De la misma manera es óptimo para el proyecto y su avance establecer acciones correctivas basados en la mejora de procesos específicos y cuya ejecución no es posible siempre de controlar, como es el caso del hormigonado, ya que está presente bastante variabilidad.

El seguimiento a los errores es una actividad necesaria para los proyectos de edificación ya que se requiere un rendimiento mínimo del 98%.

Sin duda un proyecto de construcción tiene formas de tener un sistema de documentación y análisis posterior de una forma estadística de los errores cometidos ya que un proyecto sin un estándar de efectividad en sus procesos no obtiene los resultados que exige tanto el cliente como las normas de construcción.

3.5.2. Encuestas.

En base a los resultados se puede resumir que se confirma el registro de datos en los proyectos de edificación de variadas características, pero de una forma ocasional lo que indica que los resultados de variación pueden aún ser mayor. Esto puede potenciar aún más la realidad sobre los errores en la gestión indicando que es frecuente la variabilidad en la selección de subcontratistas ya que puede ser variable el cumplimiento de los plazos y presupuestos fijados en los contratos.

En los procesos constructivos se determina que el proceso con mayor frecuencia de variaciones es las terminaciones ya que se compone de detalles aplicados a las especificaciones desde el punto de vista arquitectónica, el cual potencia las fachadas y trabajos más finos. El segundo grupo con una importante cantidad de frecuencia es hormigonado por tener muchos factores que no se logran controlar en totalidad.

La variación en los procesos constructivos fue confirmada como de una forma frecuente ya que considera la mayoría del porcentaje entre una forma frecuente, muy frecuente y siempre con un porcentaje acumulado de un 52%.

Esta alta variabilidad es por los errores presentes en los procesos constructivos que afectan directamente los costos iniciales del presupuesto del proyecto y el tiempo de entrega final, esto por lo menos en un 20 a 30% de aumento en los costos y en un 10 a 20% más de aumento en los costos.

Frente esta realidad expresada en los resultados de los 50 profesionales encuestados sugiere que existan métodos o sistemas de mejora continua en las empresas donde están ejerciendo y esto lo confirma el 46% de las respuestas que afirman conocer un proceso de mejora continua de una forma oficial y formal de parte de la empresa constructora, pero de una frecuencia muy baja en el uso del ciclo PDCA por lo cual se debe tener presente alguno otro método de mejora en los procesos.

Finalmente se estima como un 99,99% de conformidad una cifra exagerada en el contexto de proyectos de edificación por lo cual se conforma la cifra de 93,3 % de efectividad como un rendimiento suficiente lo que corresponde al nivel 3 sigma.

Capítulo 6 : Caso de estudio en Metodología Seis Sigma.

5.1. Contexto.

El proyecto de estudio del caso real se refiere a una edificación correspondiente a la ampliación de un importante retail en la ciudad de Santiago cuyas características de trabajo ha presentado costos asociados a la no calidad en sus procesos afectando de forma determinante los servicios y productos desde sus inicios.

El costo de no calidad se relaciona directamente a defectos los cuales son documentados y registrados para su estudio y análisis. En base a la estimación de costos que existe hasta la fecha se considera en la figura 53 la distribución de los costos en los procesos principales de la realización del proyecto. En donde se aprecian considerables porcentajes de costos por no calidad en los procesos de Hormigonado y Operación y gestión. Por lo cual se aplicará la metodología Seis Sigma en estos dos grandes procesos para poder buscar, detectar y reducir los defectos que afectan y resultan ser la causa principal de inconformidades en los servicios y productos finales.

El proceso de hormigonado en este proyecto de edificación presenta errores que son clasificados en sub procesos relativos a las etapas constructivas. En los cuales hay diversas variaciones en la ejecución de las actividades de tendencia cíclica afectando al producto y servicio al cliente.

Así también el proceso de Operación y Gestión presenta errores en el flujo de la información y logística en general que determinan no calidad en los costos y plazos finales de las distintas etapas constituyentes de la edificación.

Es por estos motivos que se aplica la metodología Seis Sigma al proceso de Hormigonado con dos proyectos de mejora asociados a disminuir la Pérdida de Hormigón y a mejorar el cumplimiento de las dimensiones requeridas en planos de construcción a elemento de hormigón estructural. Así también se aplica la metodología Seis Sigma al proceso de Operaciones y Gestión con dos proyectos de mejoras asociados a disminuir el tiempo de variación en la Planificación y Gestión, también a tener una mayor efectividad en Información a Proveedores Externos.

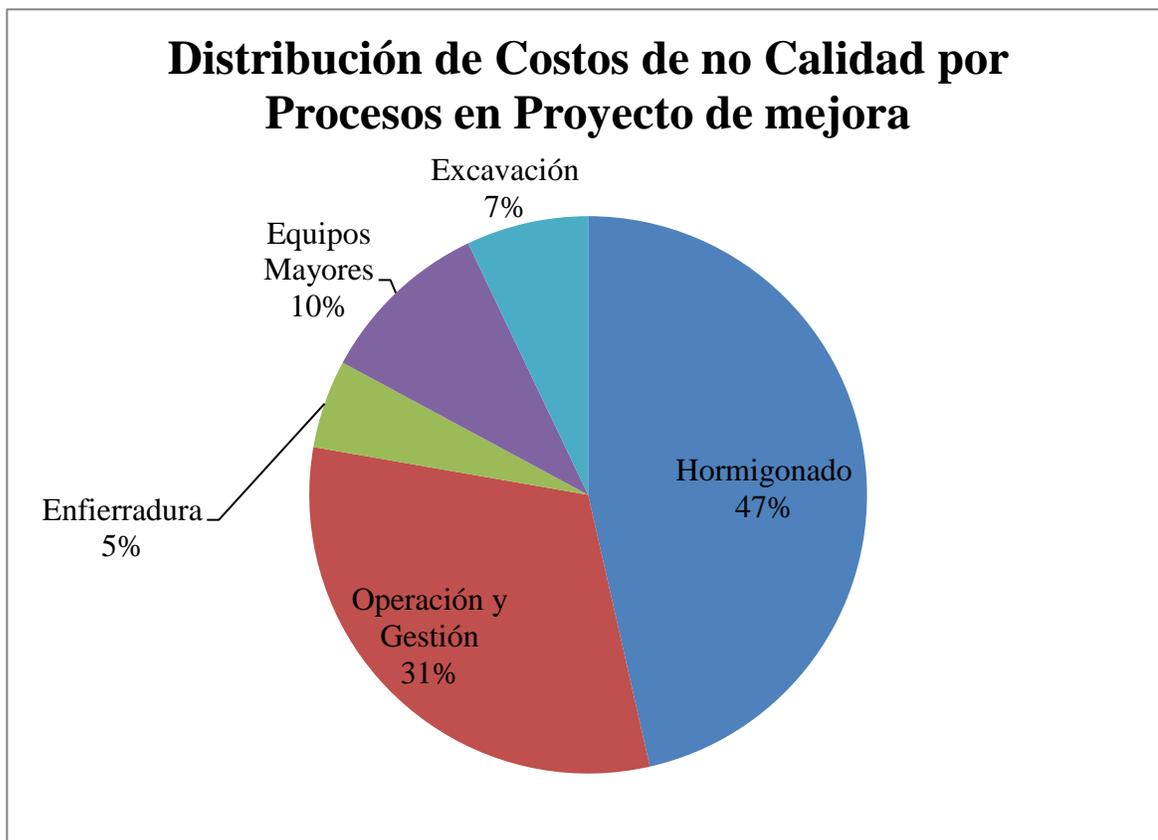


Figura 43. Registro de Costos de No Calidad por Procesos.

Fuente: Elaboración propia.

5.2. Proyectos de mejora en procesos de Hormigonado.

Para el proceso de Hormigonado se desarrolla la aplicación de la metodología Seis Sigma en sus etapas Definir, Medir, Analizar y Mejorar. Para la etapa de Control, esta se deja propuesto por el contexto y alcance correspondiente a la realización del tema de estudio.

Se plantea el proyecto de mejora Hormigonado 1 correspondiente a la Perdida de Hormigón y el proyecto de mejora Hormigonado 2 asociado al cumplimiento de las dimensiones especificadas en planos de elementos de hormigón.

5.2.1. Proyecto de Mejora Hormigonado 1.

5.2.1.1. Etapa Definir: Pérdida de Hormigón.

En esta primera etapa se busca conocer, comprender, delimitar e identificar el problema objetivo que necesita de mejoras continuas en el desarrollo de sus actividades y proceso. Todo esto para poder establecer metas claras en servicios y productos con una mejor eficacia y eficiencia reflejado en el nivel de calidad y reducción de costos por errores.

El subproceso tiene una distribución de flujo como se muestran en la figura 44 correspondiente al diagrama SIPOC. Dentro del desarrollo del proyecto de estudio se considera como punto crítico la etapa del proceso de llevar el hormigón al área de trabajo ya que se basa en la coordinación de los trabajos previos y determinado también por el tiempo de espera en obra para su ejecución.

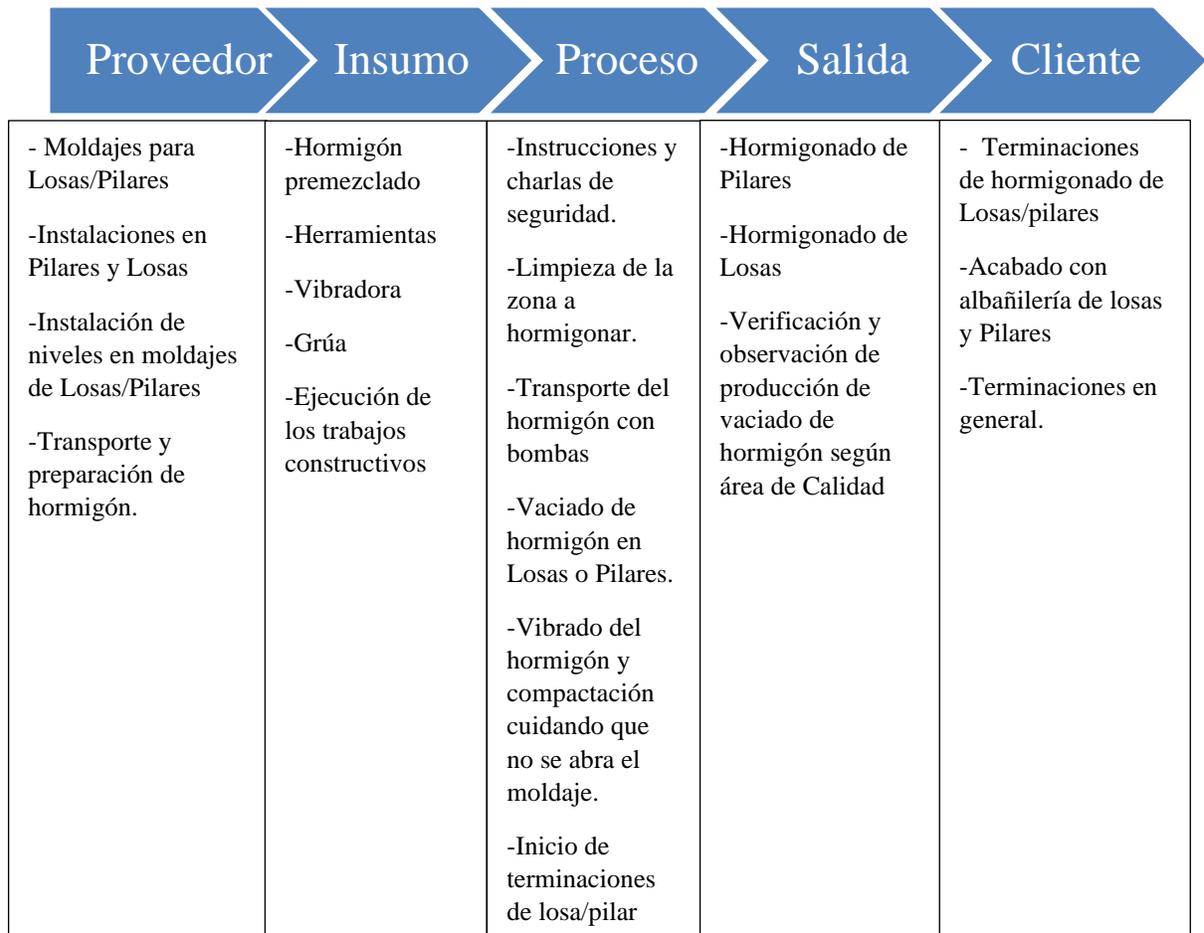


Figura 44. Diagrama SIPOC de Pérdida de Hormigón.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.1.1. Antecedentes de errores en Pérdida de Hormigón.

Se considera pérdida de hormigón a la cantidad de material sobrante o que por imprevistos en los procesos se pierda, así también se considera pérdida en cuyos casos falte el material e insumo de hormigón para completar el producto.

En este tipo de defecto se registran la cantidad de no conformidades como única solución a tales defectos entre los años 2018 y 2019. Para el cliente el gasto de no conformidades es una variable que puede disminuir aplicando mejoras en las actividades que estructuran la gestión de hormigón a la edificación del proyecto.

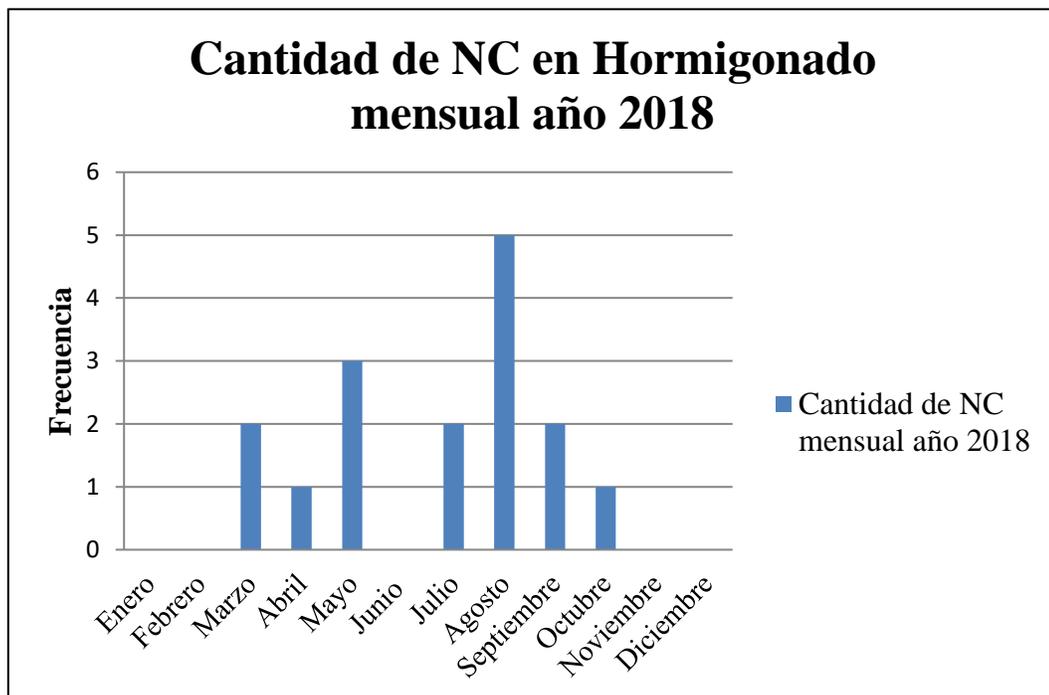


Figura 45. Registro de No Conformidades año 2018 del proceso de Hormigonado.

Fuente: Elaboración propia.

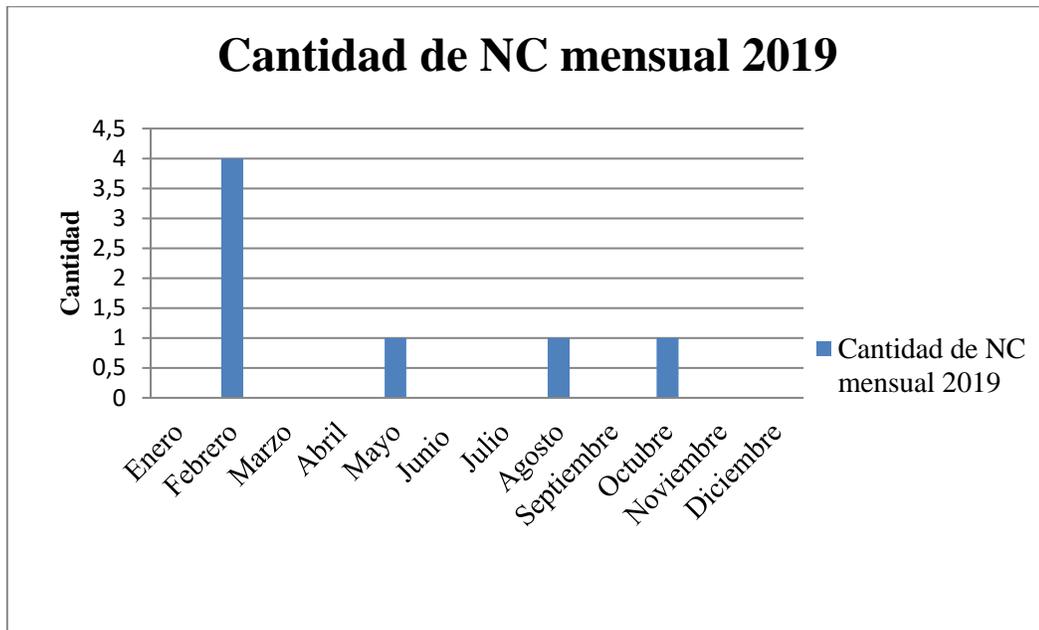


Figura 46. Registro de No Conformidades año 2019 del proceso de Hormigonado.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.2. Conclusión etapa de Definición de Pérdida de Hormigón.

Las no conformidades afectan directamente al nivel sigma de los procesos de edificación por lo tanto tienen un efecto en el presupuesto del proyecto ya que agrega costos por errores en la ejecución de las actividades que definen el proceso de Hormigonado.

En este sentido se estima una tolerancia de pérdida de hormigón en $3 m^3$ en la etapa de obra gruesa. Pero esta situación tiene una forma de mejora identificando las causas principales que afectan directamente al incumplimiento de la norma de hormigones.

También se estima que la actividad de moldaje trae grandes variaciones en la cantidad de hormigón necesaria por lo que permite la variación en la cantidad especificada por la cubicación del material por lo cual se agrega un 10% de hormigón en la orden de compra por concepto de contingencia en el proceso de moldaje.

5.2.1.3. Etapa Medir: Pérdida de Hormigón.

El objetivo en esta etapa es lograr medir el nivel sigma actual del subproceso, por lo que se determina la medición de errores por Pérdida de Hormigón comparando con la tendencia de distribución normal de los datos para poder aplicar la metodología Seis Sigma.

Tabla 17. Datos de error Pérdida de Hormigón.

Pérdida de Hormigón	
Rango [m3]	Frecuencia
[-1,25;-0,75]	2
[-0,75;-0,25]	3
[-0,25;0,25]	5
[0,25;0,75]	7
[0,75;1,25]	10
[1,25;1,75]	8
[1,75;2,25]	5
[2,25;2,75]	4
[2,75;3,25]	1

Fuente: Elaboración Propia.

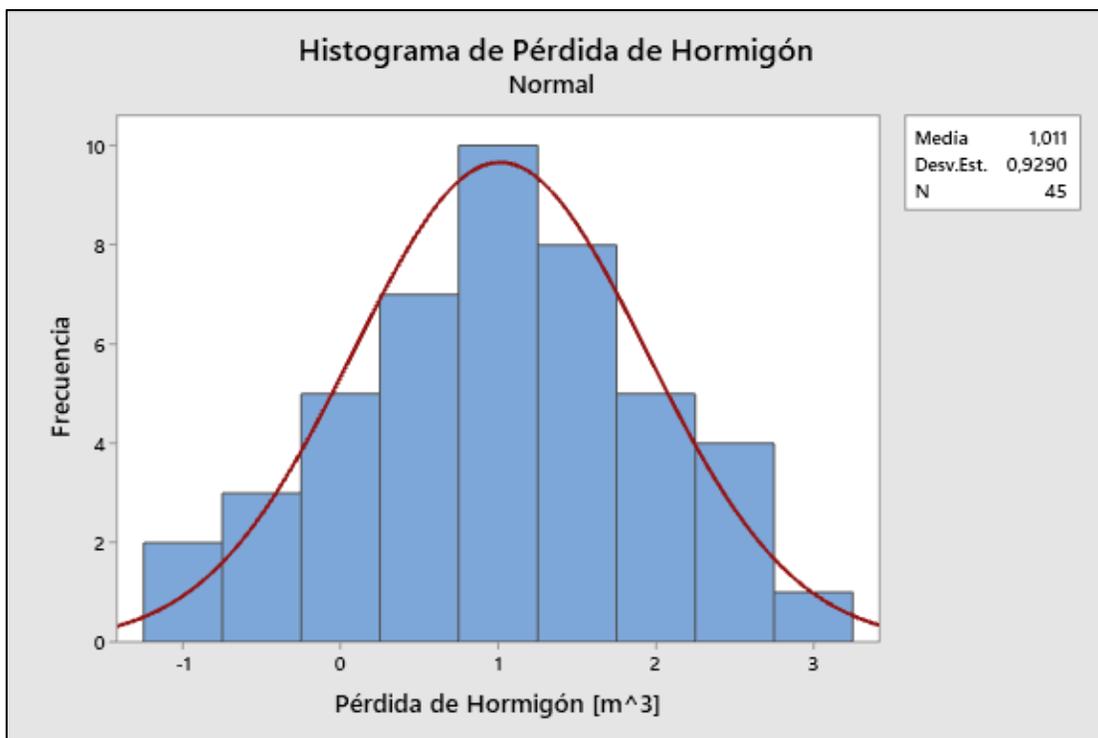


Figura 47. Histograma de Pérdida de Hormigón.

Fuente: Elaboración en Minitab.

Según la figura 47. se aplicó valores negativos debido a los casos en que faltaba hormigón en la obra por mal manejo con moldajes o mal replanteo de los elementos a hormigonar, mientras que los datos positivos son los casos en que sobra hormigón en la obra. Según indicaciones de terreno se determina un 10% más del volumen de hormigón calculado en la cubicación debido a contingencias o imprevistos con los moldajes o ejecución del proceso constructivo, pero aún sobra mucho más que la cantidad calculada como holgura.

En cuanto a la tendencia normal se considera que el histograma se aproxima a la curva de distribución normal de una forma gráfica ya que por la naturaleza de los datos no se puede realizar un test de normalidad.

Tabla 18 Datos de error Pérdida de Hormigón.

Media	1,011
Desv.Est.	0,929
Nº Datos	45
Límite superior	3
Límite inferior	0
Nivel Sigma	2,14

Fuente: Elaboración propia.

Según lo calculado el nivel sigma de 2,14 lo que indica que el proceso tiene un rendimiento de 73% de efectividad y un DPMO de 274255 defectos por millón de oportunidades. Lo cual sugiere aplicar herramientas de análisis para entender las causas del grado de efectividad.

5.2.1.4. Etapa Analizar: Pérdida de Hormigón.

Se aplica las herramientas de análisis sobre los defectos que cumplen con la distribución normal que corresponde a la Pérdida de Hormigón para identificar los defectos con mayor frecuencia e impacto en los costos.

Como primera etapa se construye el diagrama de flujo sobre la gestión de hormigón y sistema de planificación de hormigonado que hacen efectivo la ejecución de las actividades, así también poder identificar los roles y responsabilidades que hay en el proceso de hormigonado. Con el análisis de las relaciones de roles influyentes en las actividades y fases que tiene la gestión de hormigón en el proyecto se puede establecer ideas sobre el origen de factores que producen no conformidades y defectos.

Posteriormente se realiza una lluvia de ideas para la construcción del diagrama de Ishikawa, en este caso se plantea que hay cuatro grandes fuentes de errores que producen pérdidas de hormigón como son las áreas de Terreno, Subcontrato, Logística y Proveedores. En estos existen errores producidos por la descoordinación de actividades tanto en el incumplimiento de plazos como en la planificación e información del proceso mismo. En el siguiente paso de la etapa de análisis se focaliza sobre que defectos se deben mejorar para subir el nivel sigma del proceso de Pérdida de Hormigón mediante análisis de Pareto.

Diagrama de flujo Hormigonado

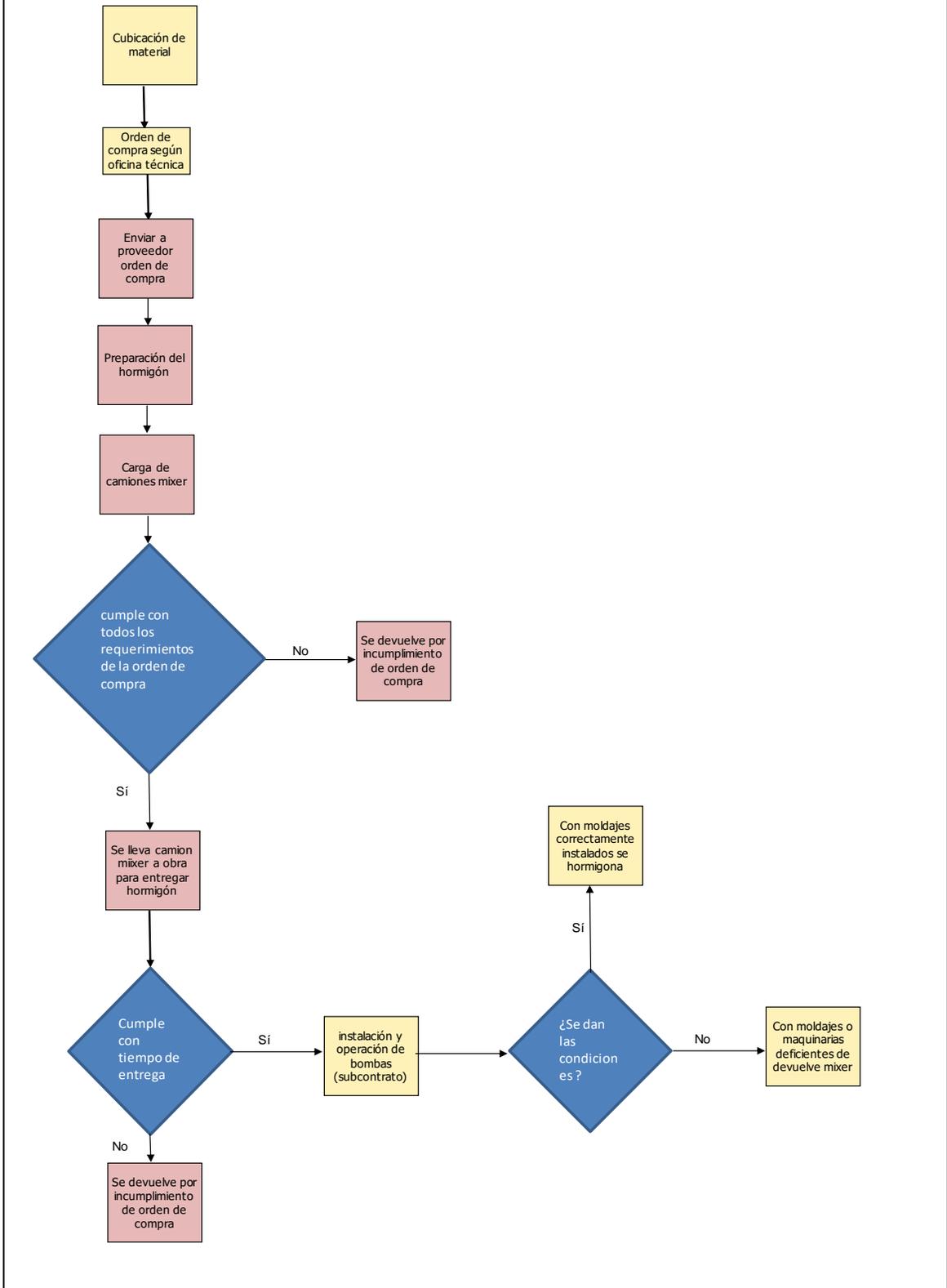


Figura 48. Diagrama de flujo del proceso de hormigonado.

Fuente: Elaboración Propia.

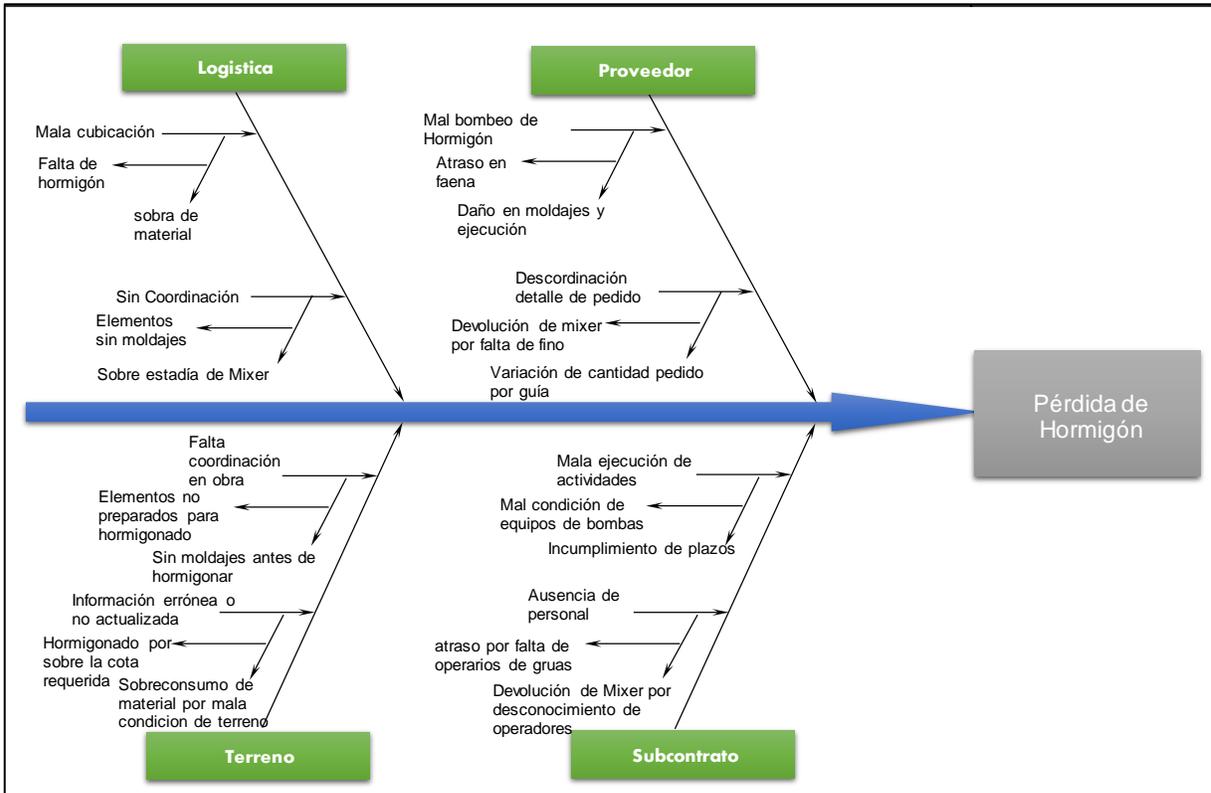


Figura 49. Diagrama de Ishikawa o espina de pescado del proceso de pérdida de hormigón.
Fuente: Elaboración Propia.

Por la naturaleza de las ideas planteadas en la figura 49, se considera una clasificación de errores entre los que pueden ser controlables y no controlables para poder analizar su impacto mediante análisis de Pareto.

Tabla 19. Clasificación de naturaleza de errores.

Errores controlables	Errores no controlables
Falta Coordinación en terreno	Hormigonado por sobre la cota requerida
Mala ejecución de actividades	Sobre consumo de material
Información errónea y no actualizada	Incumplimiento de plazos
Descoordinación en detalle de compra	Devolución de mixer por desconocimiento de operadores
Error de cubicación	Variación de cantidad de pedido por guía
Ausencia de Personal (Subcontrato)	Daño en moldajes y ejecución
Mala calidad de máquinas para hormigonar	Atraso en faena
Falta coordinación en gestión	Mal bombeo de hormigón

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 19 se considera estudiar en el análisis de Pareto los datos que son controlables para poder estimar un plan de mejora en sus procesos de modo de reducir los efectos en el proyecto.

Tabla 20. Datos de análisis de Pareto en Hormigonado.

Causa / Problema / Fenómeno	Datos recolectados	Porcentaje de costos asociados
Falta coordinación en terreno	16	42%
Mala ejecución de actividades (subcontrato)	8	16%
Información errónea o no actualizada	6	2%
Descoordinación en detalle de compra	5	13%
Error de cubicación	4	7%
Ausencia de personal (Subcontrato)	3	7%
Mala calidad de máquinas para hormigonar	2	4%
Falta coordinación en gestión	1	9%

Fuente: Elaboración propia.

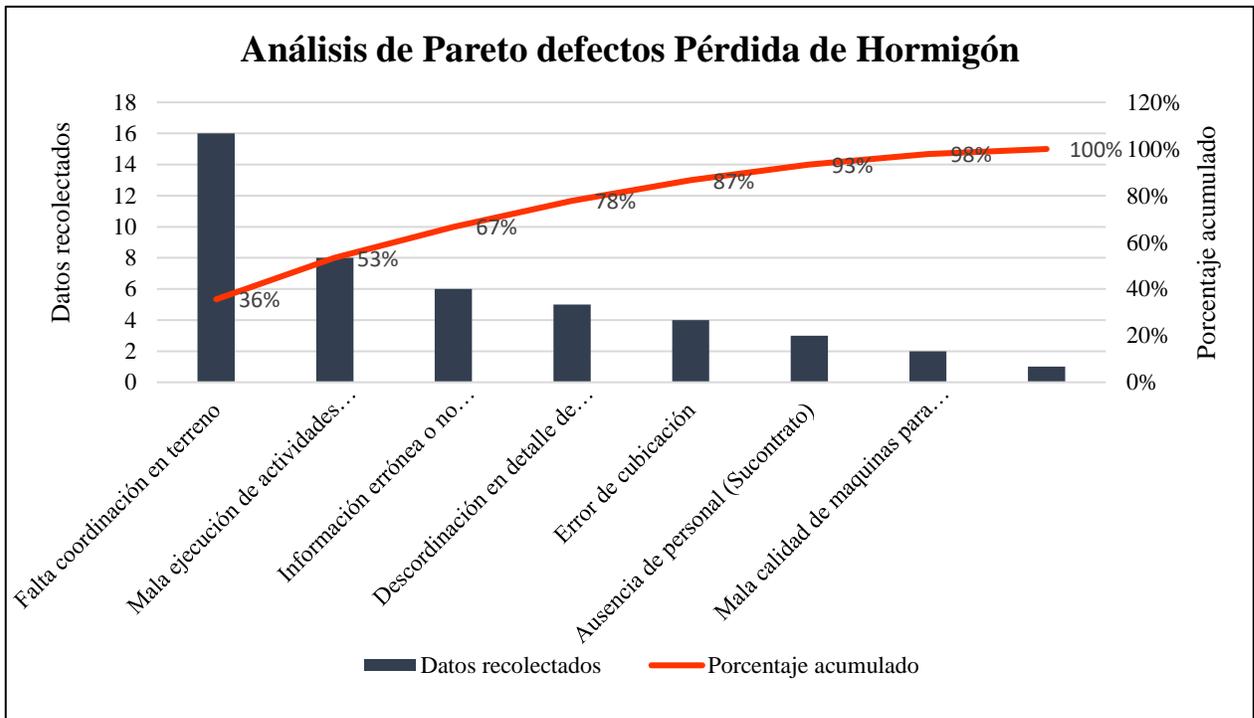


Figura 50. Diagrama de Pareto de frecuencia en Pérdida de hormigón.

Fuente: Elaboración Propia.

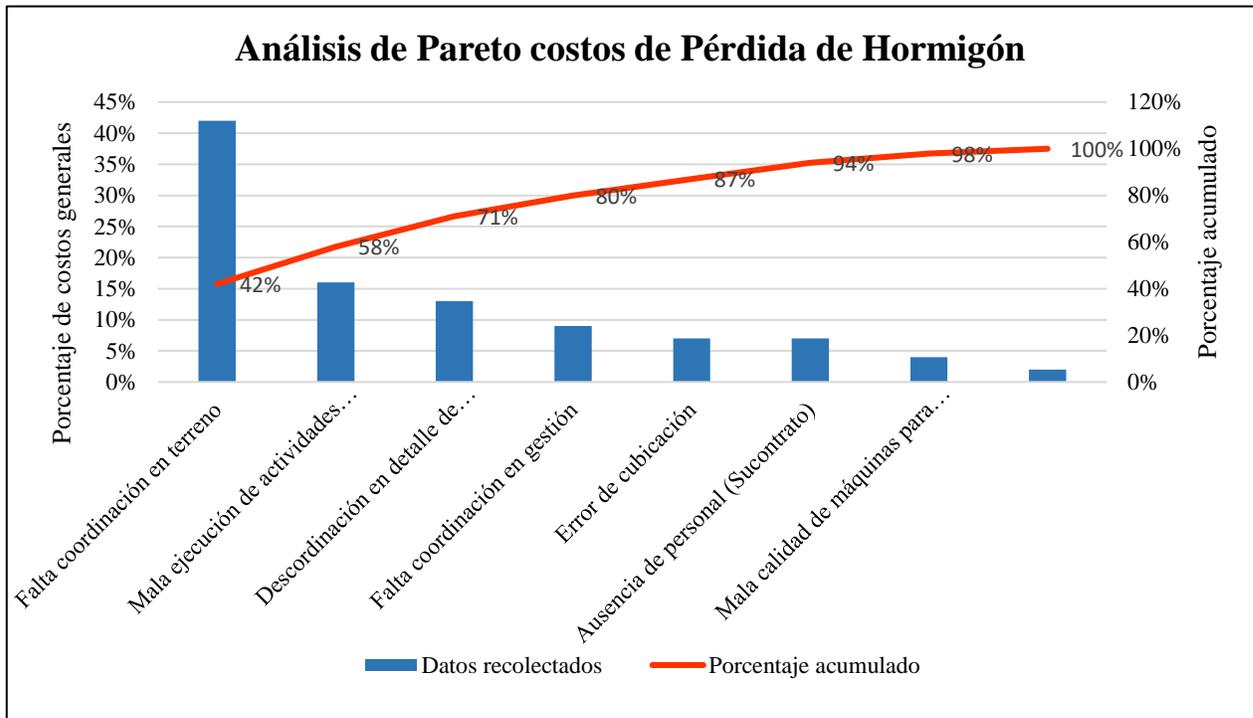


Figura 51. Diagrama de Pareto de costos en pérdidas de hormigón.

Fuente: Elaboración Propia.

Con el análisis de Pareto de frecuencia y costos de errores que producen pérdidas de hormigón se considera que es necesario plantear mejoras en los errores: Falta de coordinación en terreno, Mala ejecución de actividades por parte de subcontrato, descoordinación en detalle de compra en terreno y falta de coordinación en gestión ya que concentran aproximadamente el 80% de los costos de errores.

Al plantear mejoras en las 3 actividades con más frecuencia de ocurrencia y costos se avanza a la etapa de mejorar el nivel sigma del proceso de Hormigonado.

5.2.1.1. Etapa Mejora: Pérdida de Hormigón.

En base a la etapa de análisis se considera plantear mejoras que consideren la falta de coordinación en terreno, mala ejecución de actividades de parte del personal de subcontrato, la información errónea o no actualizada en terreno y descoordinación en detalle de compra. Para organizar estas propuestas se presenta un diagrama árbol para el desarrollo de estas soluciones que mejorarían el nivel sigma de los procesos y por consiguiente una reducción de los costos por no conformidad al cliente. Para esto el esquema de mejoras se plantea por categorías: Objetivos necesario para la solución del problema, Estrategias, Tácticas y Acciones. Considerando las mejoras en la figura 52 se puede estimar un nuevo escenario de los defectos por pérdida de hormigón el cual implica una disminución de frecuencias de errores que solamente contabilizan como pérdida el 10% extra de Hormigón en la cubicación.

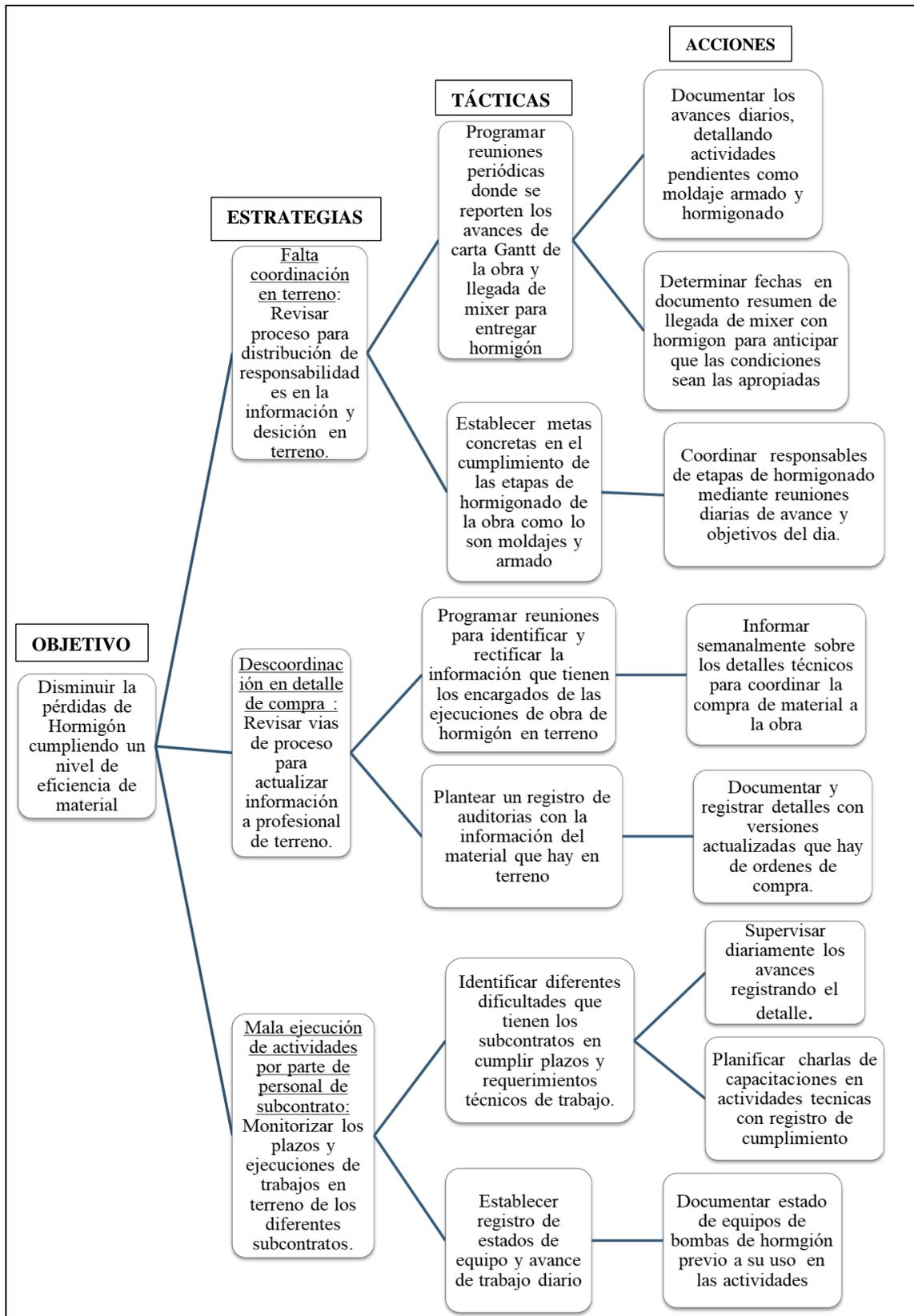


Figura 52. Diagrama de árbol de soluciones para las ideas de mejoras en hormigón.

Fuente: Elaboración Propia.

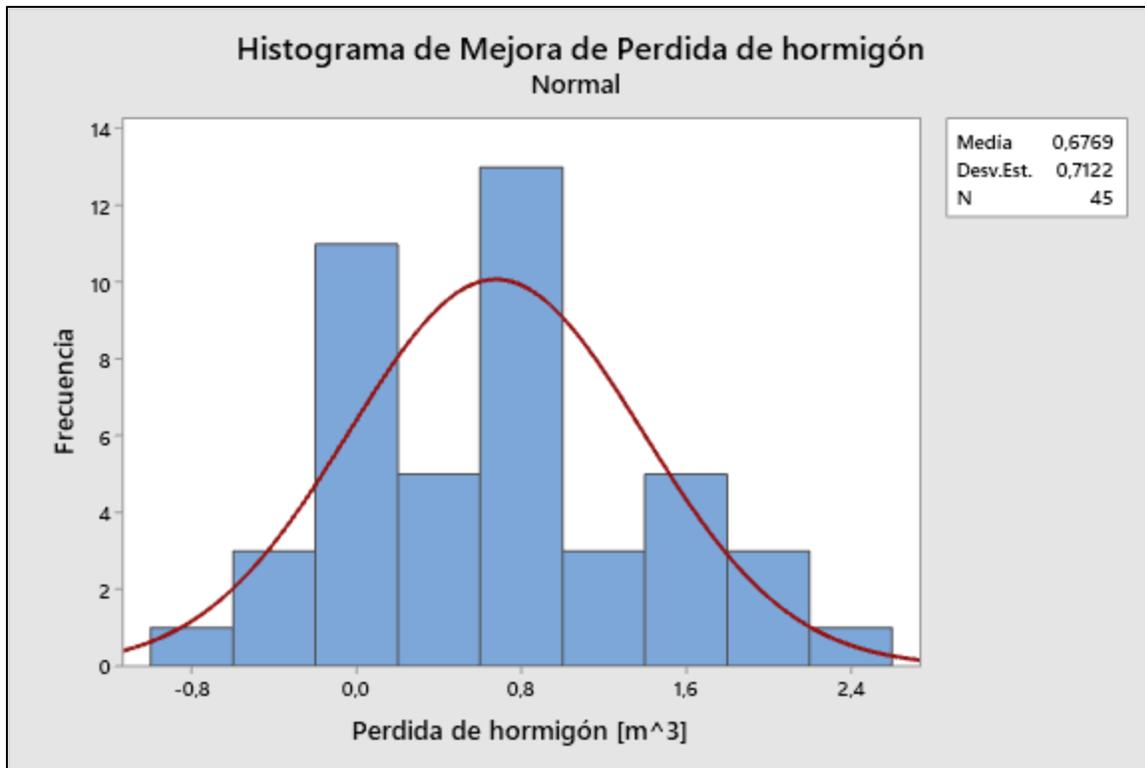


Figura 53. Histograma de mejora en pérdida de hormigón.

Fuente: Elaboración Propia.

Las mejoras propuestas producirían solamente la pérdida del 10% de las ordenes de mixer a la obra ya que la orden de compra se realiza en base a la suma de la cubicación de todos los elementos a hormigonar con un aumento del 10% en cada caso por concepto de holgura de material. Considerando esto se calcula un nuevo nivel sigma del proceso según la aproximación gráfica del histograma de los datos a distribución normal, no se realiza test de normalidad por la naturaleza de los datos.

Tabla 21. Datos de cálculo de nivel sigma en mejora de Pérdida de Hormigón.

Media	0,6769
Desv.Est.	0,7122
Nº Datos	45
Límite superior	3
Límite inferior	0
Nivel Sigma	3,268

Fuente: Elaboración propia.

Basado en este aumento del nivel sigma de la pérdida de hormigón se estima un nivel sigma de 3,27 lo que correspondería a un 96% de rendimiento. Este nuevo contexto con mejoras supuestas en los procesos resultaría una reducción de errores del 79% de los costos por no conformidad en pérdida de hormigón.

5.2.2. Proyecto de mejora Hormigonado 2.

5.2.2.1. *Etapa Definir: Elementos que no quedan en las dimensiones específicas.*

En esta primera etapa se busca conocer, comprender, delimitar e identificar el problema objetivo que necesita de mejoras continuas en el desarrollo de sus actividades y proceso. Todo esto para poder establecer metas claras en servicios y productos con una mejor eficacia y eficiencia reflejado en el nivel de calidad y reducción de costos por errores que generan la variación de dimensiones en elementos de hormigón.

Uno de los errores más comunes en los proyectos de construcción son los casos en que no se cumplen con la dimensión de elementos según las indicaciones que entrega el plano del proyecto, además que esto corresponde a una regulación de requisitos a través de normas de construcción para establecer factores de seguridad de diseño y construcción en aspectos sísmico estructural fundamental.

Es por esto que se estudian y registran los errores que hay en las dimensiones que quedan los pilares de hormigón y muros además de las variaciones presentes en las dimensiones reales de losas y vigas en comparación a la información de los planos de construcción con detalles.

El proyecto de mejora 2 tiene un flujo de etapas que se muestran en la figura 54 con el correspondiente diagrama SIPOC del proceso de moldaje y hormigonado de pilares, muros, vigas y losas. Donde los errores se establecen en base a un punto crítico en la actividad de moldaje ya que es más susceptible a la variación por la poca precisión que está presente en la ejecución de la obra en terreno.

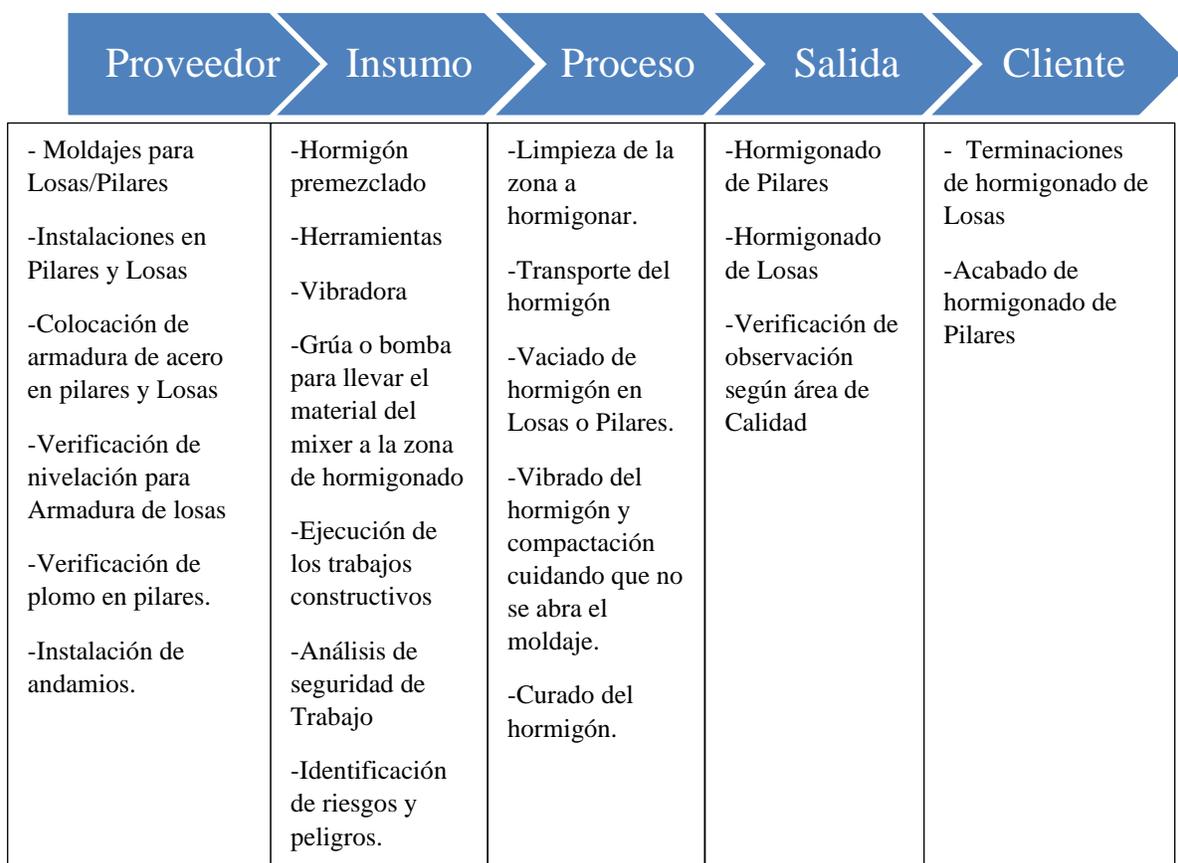


Figura 54. Diagrama SIPOC del proceso de hormigonado en Pilares y Losas.

Fuente: Elaboración propia.

Las variaciones que puede aportar el moldaje o el hormigonado por sobre lo requerido produce notoriamente una diferencia de dimensiones en los cuales es importante definir los límites tolerables en los cuales se permite variar en las terminaciones. Los rangos de tolerancia en la variación de dimensiones están especificados en el Manual de Tolerancias para Edificación de la Cámara Chilena de la Construcción en su tercera edición 2018. Es por esto que se presentan la tabla 21 un resumen para estas tolerancias dependiendo de las características del elemento.

Las tolerancias de cada elemento dependen de la función que cumplirá el hormigón en el proyecto clasificándolos en grados G1, G2, G3 y G4.

G1: Son hormigones arquitectónicos a la vista. Para elementos de hormigón cuya terminación superficial quedara expuesta en el elemento de servicio y sin ningún tratamiento posterior que altere su forma.

G2: Hormigones que serán empastado, pintados o maquillados.

G3: Hormigón que quedara expuesto a la vista, pero en los cuales su apariencia no es más importante que el hormigone de grado G1.

G4: Hormigón para obras gruesa. En donde las superficies de los elementos de hormigón recibirán estucos u otras terminaciones distintas al grado G2.

Tabla 22. Resumen de Tolerancias por elemento y grado correspondiente.

Grado	Elemento	Tolerancia [mm]
G1	Muro o pilar	± 5
G2	Muro o pilar	± 5
G3	Muro o pilar	± 5
G4	Muro o pilar	± 10
G1	Losas y vigas	± 20
G2	Losas y vigas	± 22
G3	Losas y vigas	± 25
G4	Losas y vigas	± 30

Fuente: Manual de Tolerancia en Edificaciones de la Cámara Chilena de la Construcción. (2018).

Las no conformidades respecto a este subproceso pueden generar grandes costos en los plazos y en el presupuesto teniendo que volver a hacer el mismo proceso para generar un nuevo producto, con tal de cumplir con lo especificado en los planos y normas de construcción a los cuales se somete el proyecto para cumplir con los requerimientos de los clientes. Por lo tanto, se estudia estadísticamente los datos y registro de las dimensiones de elementos del proyecto para establecer un análisis y mejorar los procesos de tal forma que las variaciones puedan estar en el rango de tolerancia.

6.1.2.1. Etapa Medir: Elementos de Hormigón no quedan en las dimensiones especificadas.

Se determina la medición de errores de elementos que no queda en dimensiones especificadas para el caso de los pilares y muros, comparando también con la tendencia de distribución normal de los datos para poder aplicar la metodología Seis Sigma.

Tabla 23. Datos de error Pilares y Muros.

Pilares y Muros	
Rango [mm]	Frecuencia
[-67,5;-52,5]	1
[-52,5;-37,5]	4
[-37,5;-22,5]	5
[-22,5;-7,5]	9
[-7,5;7,5]	13
[7,5;22,5]	8
[22,5;37,5]	6
[37,5;52,5]	3
[52,5;67,5]	1

Fuente: Elaboración propia.

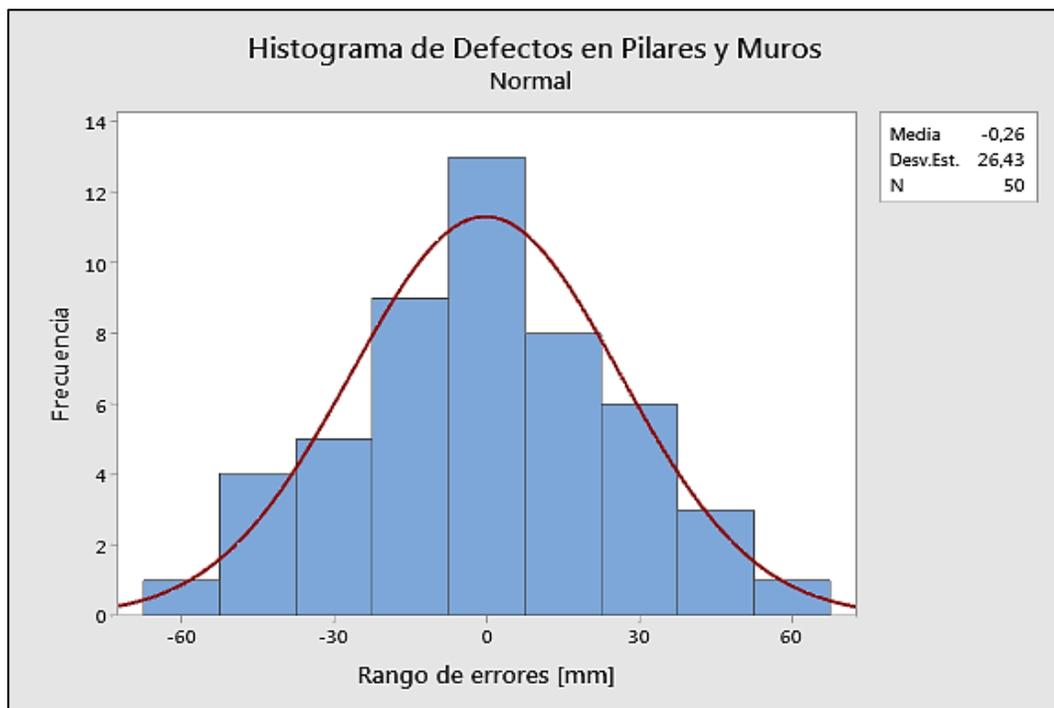


Figura 55. Histograma de Elemento no queda en medidas específicas en Pilares y Muros.

Fuente: Elaboración en Minitab.

En la figura 55 se gráfica el histograma considerando distribución normal en base a la aproximación gráfica ya que no se realiza test de normaliza por la naturaleza de los datos, donde los valores negativos corresponden a errores en que les falto cumplir las alturas requeridas en los pilares y muros según las indicaciones de planos de diseño. Mientras que los datos positivos es la medida en que sobrepasaron la altura o dimensiones especificadas por los planos de diseño. Se debe mencionar que los limites admisibles de variaciones para las alturas de los pilares y muros es de ± 10 mm (Cámara Chilena de la Construcción CCHC, 2018) ya que las variaciones de alturas se van acumulando en el desarrollo de la edificación. Con estos detalles se determina el nivel sigma en la siguiente tabla resumen de la Medición de los defectos en pilares y muros.

Tabla 24. Cálculo de nivel Sigma para defectos de Pilares y Muros.

Media	-0,26
Desv.Est.	26,43
Nº Datos	50
Límite superior	10
Límite inferior	-10
Nivel Sigma	0,4

Fuente: Elaboración Propia.

Según lo calculado el nivel sigma es de 0,4 lo que indica que el proceso tiene un rendimiento de 27,3% de efectividad y un DPMO de 864334 defectos por millón de oportunidades. Lo cual sugiere aplicar herramientas de análisis para entender las causas del grado de efectividad.

También se determina la medición de errores en elemento que no queda en dimensiones especificadas para el caso de los Losas y Vigas, comparando también con la tendencia de distribución normal de los datos para poder aplicar la metodología Seis Sigma.

Tabla 25. Datos de error Losas y Vigas.

Losas y Vigas	
Rango [mm]	Frecuencia
[-135;-105]	1
[-105;-75]	2
[-75;-45]	3
[-45;-15]	9
[-15;15]	14
[15;45]	10
[45;75]	6
[75;105]	3
[105;135]	2

Fuente: Elaboración propia.

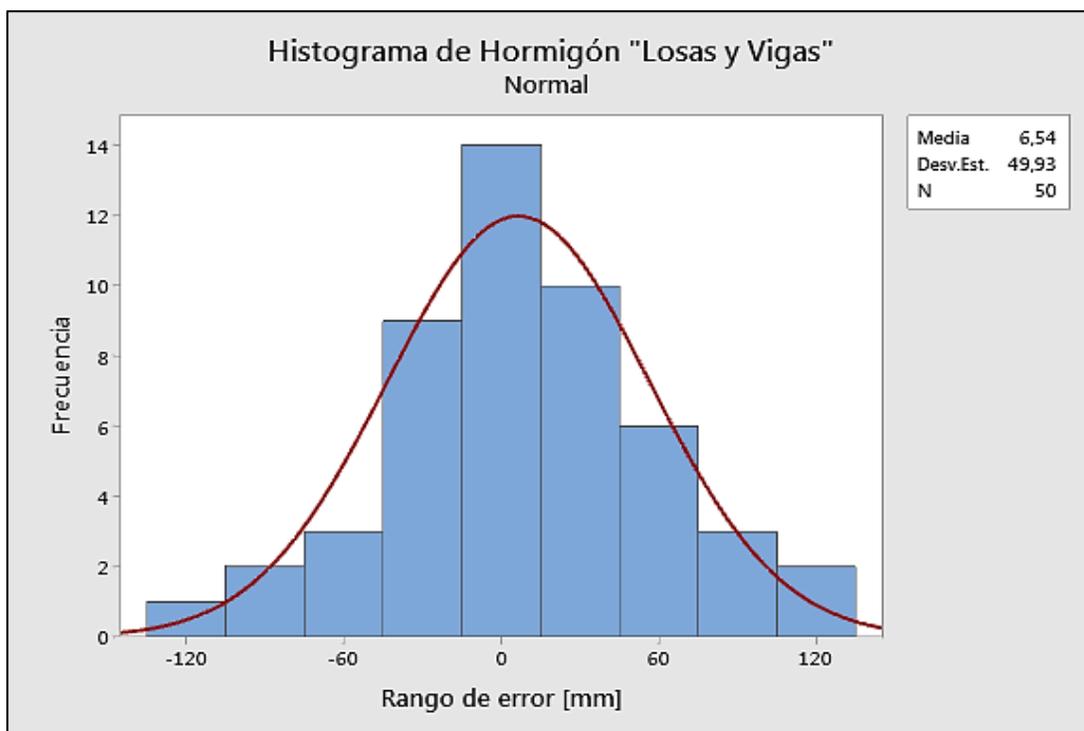


Figura 56. Histograma de Elemento no queda en medidas específicas en Losas y Vigas.
Fuente: Elaboración en Minitab.

En la figura 56 se gráfica el histograma considerando distribución normal en base a la aproximación gráfica ya que no se realiza test de normaliza por la naturaleza de los datos, donde los valores negativos corresponden a errores en que les falto cumplir las dimensiones requeridas en losas y vigas según las indicaciones de planos de diseño. Mientras que los datos positivos es la medida en que sobrepasaron las dimensiones especificadas por los planos de diseño.

Se debe mencionar que los limites admisibles de variaciones para las dimensiones de Losas y Vigas es de ± 20 mm (Cámara Chilena de la Construcción CCHC, 2018) ya que se consideran como elemento de hormigón expuesto a la vista, pero en los cuales su apariencia no es tan importante en el proyecto. Con estos detalles de determina el nivel sigma en la siguiente tabla resumen de la Medición de los defectos en pilares y muros.

Tabla 26. Cálculo de nivel Sigma para defectos de Losas y Vigas.

Media	6,54
Desv.Est.	49,93
Nº Datos	50
Límite superior	20
Límite inferior	-20
Nivel Sigma	0,3

Fuente: Elaboración propia.

Según lo calculado el nivel sigma de 0,3 lo que indica que el proceso tiene un rendimiento de 13,5% de efectividad y un DPMO de 884930 defectos por millón de oportunidades. Lo cual sugiere aplicar herramientas de análisis para entender las causas del grado de efectividad.

6.1.2.2. Etapa Análisis: Elementos de Hormigón no quedan en las dimensiones específicas.

Este defecto corresponde al 47% de los costos totales por no conformidad en el proceso de ejecución para el proyecto. Como primera forma de analizar el origen que produce errores en los elementos se plantea un diagrama de flujo en el hormigonado de los Pilares y Losas ya que su gestión determina responsabilidades.

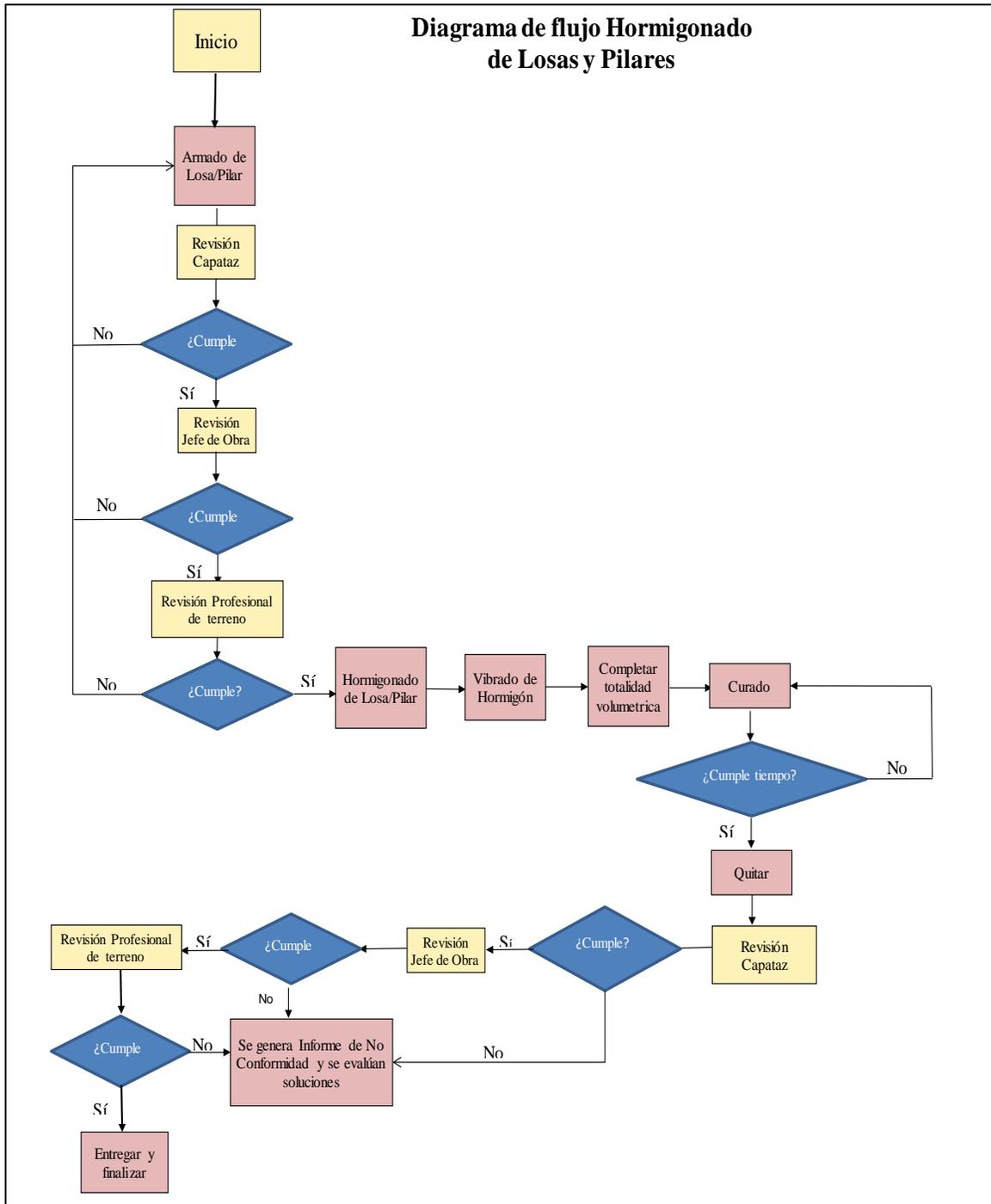


Figura 57. Diagrama de flujo del proceso de hormigonado de Losas y Pilares.

Fuente: Elaboración Propia.

Con el planteamiento del diagrama de flujo del proceso de hormigonado de Losas y Pilares se puede estudiar los puntos críticos donde se forman errores, para esto se plantea utilizar la información de la lluvia de idea para estructurar las causas de los errores en el diagrama de a Ishikawa.

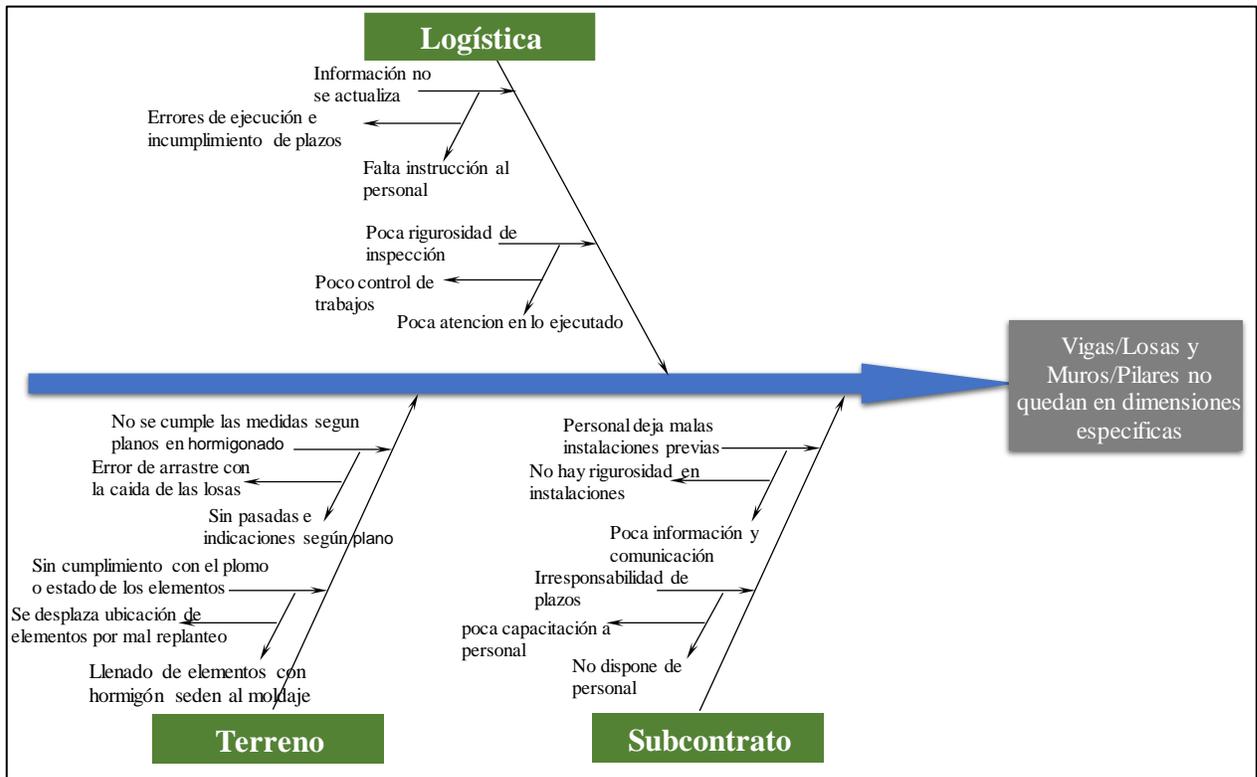


Figura 58. Diagrama de Ishikawa o espina pescada del proceso de Elemento no queda en medidas específicas.

Fuente: Elaboración Propia.

Considerando el diagrama de Ishikawa se divide las ideas principales de causa en 3 secciones como lo es Terreno, Subcontrato y Logística determinando los efectos presentes en los cuales disminuye la eficacia en los elementos de hormigón. Por la naturaleza de las ideas planteadas en la figura 58. se considera una clasificación de errores entre los que pueden ser controlables y no controlables para poder analizar su impacto mediante análisis de Pareto.

Tabla 27. Clasificación de la naturaleza de errores en elementos que no quedan en medidas especificadas.

Errores controlables	Errores no controlables
Fuera de la dimensión especificada	Error de arrastre con la caída de losas
Malas instalaciones previas	Poca atención a lo ejecutado
Sin rigurosidad de plomo o estado de elementos	Se desplaza ubicación de elemento por mal replanteo
Poca rigurosidad de inspección	Llenado de elementos con hormigón sede moldaje
Irresponsabilidad de plazos	Poca rigurosidad en instalaciones del personal
Poca capacitación a personal	No dispone del personal o ausencia

Fuente: Elaboración Propia.

Para estudiar las mejoras en este subproceso de error en el Hormigonado se realiza un análisis de Pareto en base a la frecuencia y costo de los errores de naturaleza controlable por la naturaleza de los datos.

Tabla 28. Datos para Pareto Losas y Vigas que no quedan en dimensiones especificadas.

Causa / Problema / Fenómeno	Datos recolectados	Porcentaje de costos asociados
Fuera de la dimensión especificada	18	23%
Malas instalaciones previas	16	6%
Sin rigurosidad de plomo o estado de elementos	8	56%
Poca rigurosidad de inspección	4	1%
Irresponsabilidad de plazos	3	12%
Información no actualizada	1	2%

Fuente: Elaboración propia.

Con el análisis de Pareto de las frecuencias y costos asociados a los tipos de errores que se producen cuando las losas y vigas quedan fuera de la dimensión correspondiente a las indicaciones técnicas se determina que es necesario plantear mejoras en los errores: Elemento fuera de dimensión, Malas instalaciones previas y sin rigurosidad de plomo o estado del elemento ya que concentran aproximadamente el 79% de la ocurrencia de errores y costos.

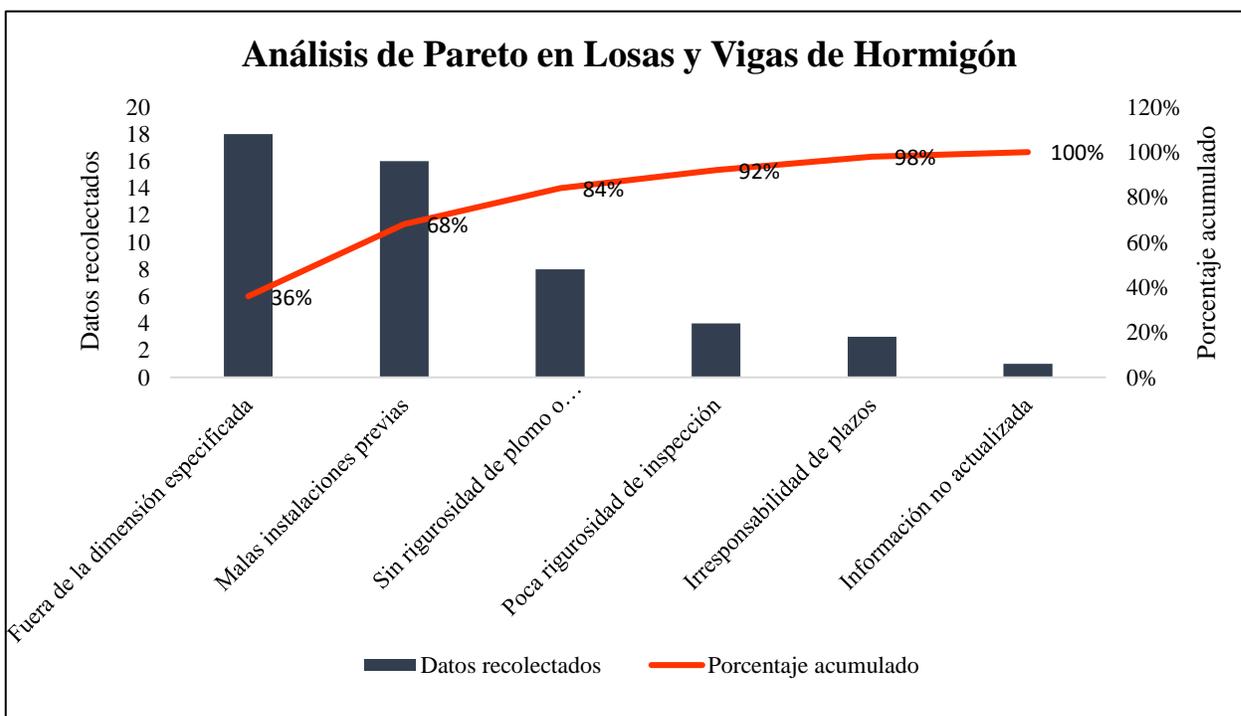


Figura 59. Análisis de Pareto a errores de Losas y Vigas cuando las no quedan en las dimensiones especificadas por plano.

Fuente: Elaboración propia.

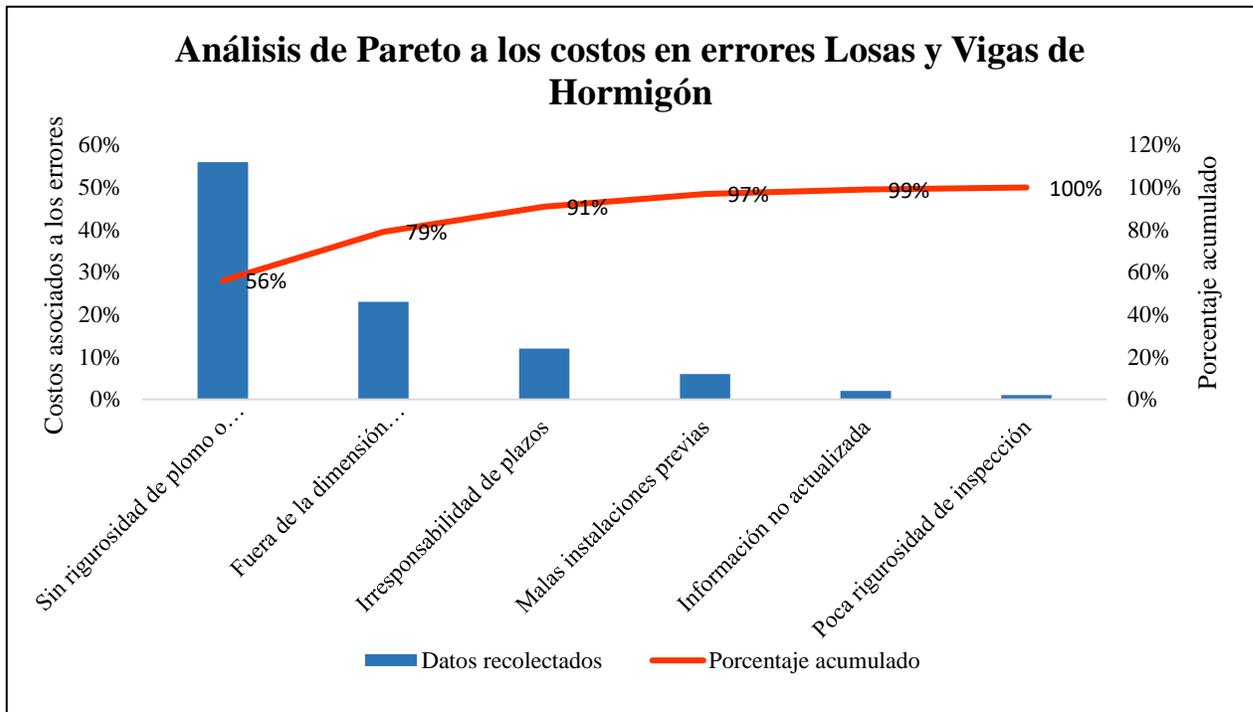


Figura 60. Análisis de Pareto a porcentajes de costos asociados a cada tipo de error en Losas y Vigas de hormigón.

Fuente: Elaboración Propia.

Al plantear mejoras en las 3 actividades con más frecuencia de ocurrencia y costos se plantea mejorar el nivel sigma del proceso de Losas y Vigas de hormigón. Mientras que para los Pilares y Muros se plantea un diagrama de Pareto de tal forma que queda.

Tabla 29. Datos para análisis de Pareto en errores de Losas y Vigas de hormigón.

Causa / Problema / Fenómeno	Datos recolectados	Porcentaje de costos asociados
Sin rigurosidad de plomo o estado de Pilares y muros	15	72%
Fuera de la dimensión especificada	14	4%
Malas instalaciones previas	9	7%
Poca rigurosidad de inspección	8	9%
Irresponsabilidad de plazos	3	7%
Información no se Actualiza	0	1%

Fuente: Elaboración propia.

Con el análisis de Pareto de los tipos de errores que producen que las losas y vigas queden fuera de la dimensión correspondiente a las indicaciones técnicas se les considera que es necesario plantear mejoras en los errores: Sin rigurosidad de plomo o estado del pilar o muro, elemento fuera de la dimensión especificada y malas instalaciones previas ya que concentran aproximadamente el 80% de la ocurrencia de errores y costos.

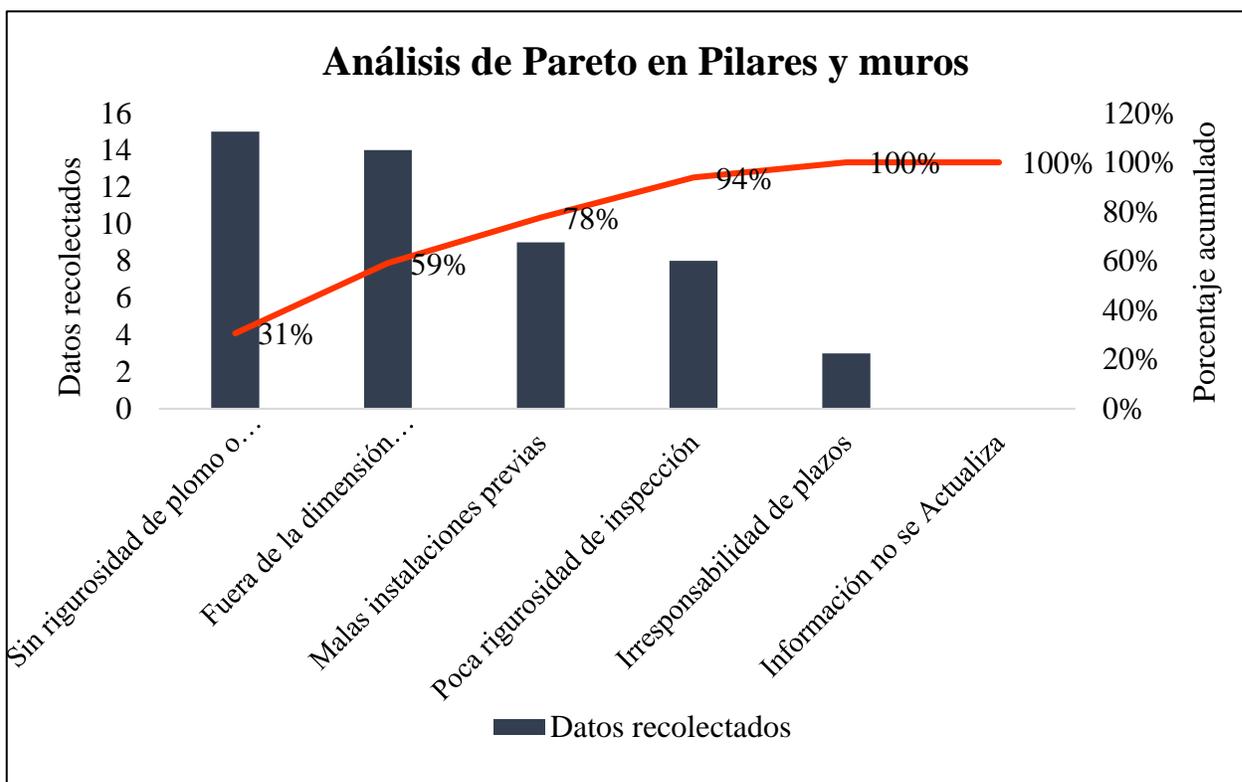


Figura 61. Diagrama de Pareto para pilares y muros de hormigón.
Fuente: Elaboración Propia.

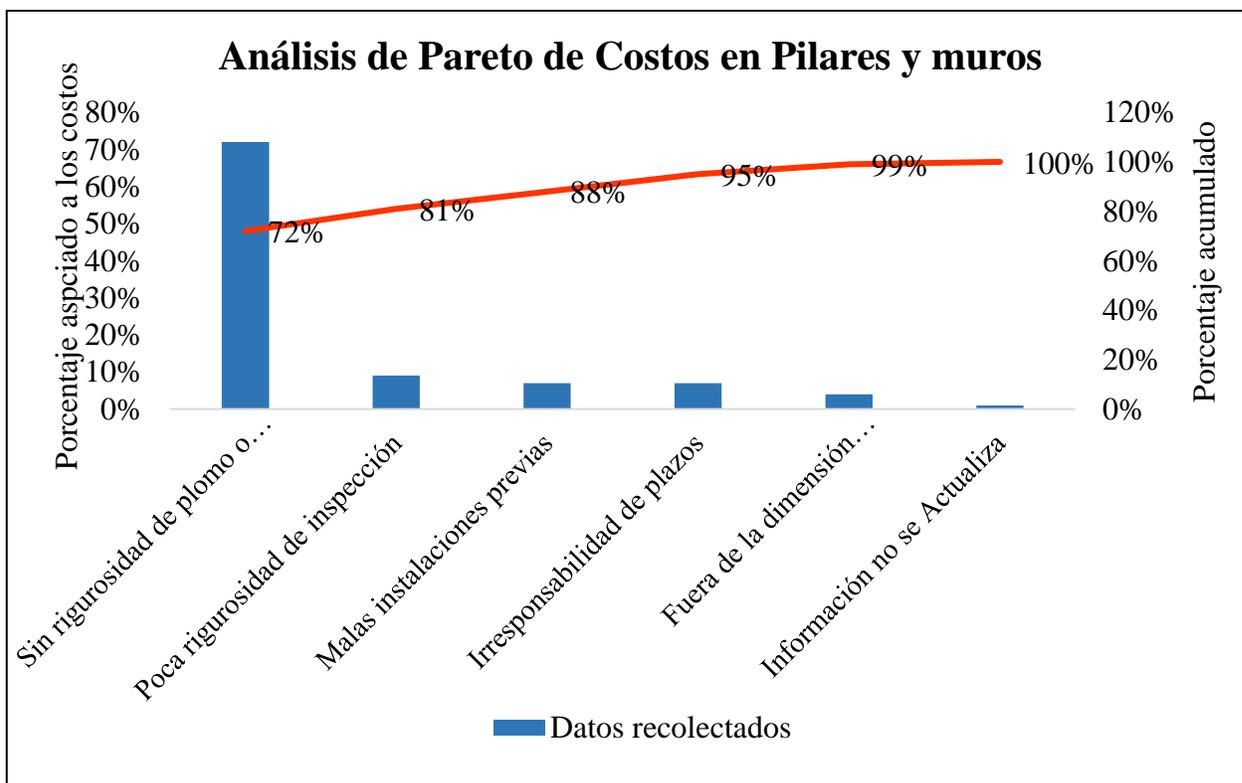


Figura 62. Porcentajes de costos asociados a cada tipo de error en Pilares y Muros de hormigón.
Fuente: Elaboración Propia.

6.1.2.3. *Etapa Mejora: Elementos de Hormigón no quedan en dimensiones específicas.*

En base a la etapa de análisis se considera que se debe plantear mejoras considerando mejoras en la falta de coordinación en terreno, mala ejecución de actividades de parte del personal de subcontrato y la información errónea o no actualizada en terreno.

Para organizar estas propuestas se presenta un diagrama árbol para el desarrollo de estas soluciones que mejorarían el nivel sigma de los procesos y por consiguiente una reducción de los costos por no calidad al cliente.

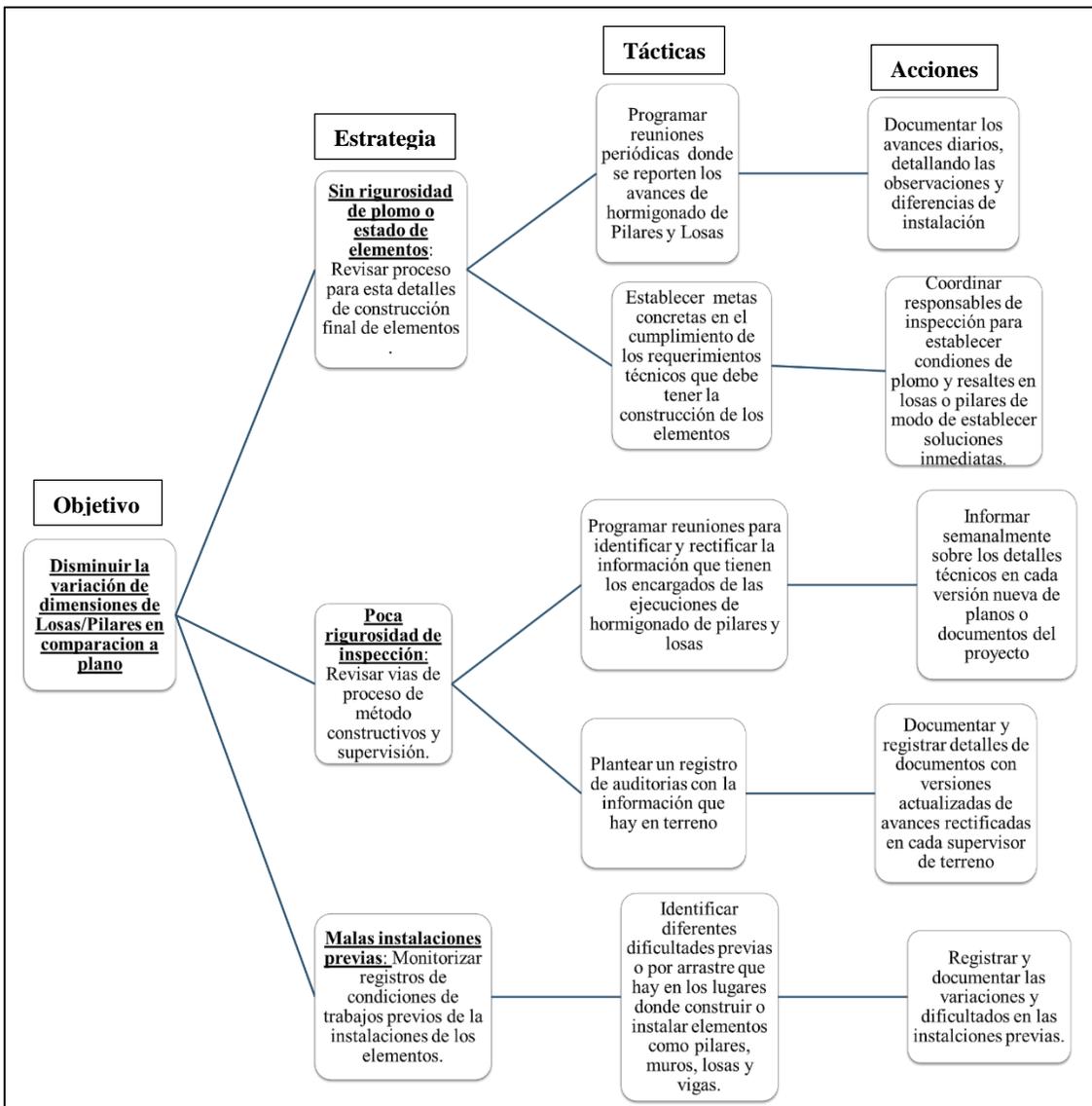


Figura 63. Diagrama de soluciones para Losas y Pilares de hormigón.

Fuente: Elaboración Propia.

Considerando las mejoras en la figura 63 se puede estimar un nuevo resultado en la distribución de los defectos en Pilares y muros así también en Vigas y Losas en comparación a los planos de construcción.

De los casos registrados con defecto, se estima que bajo el plan de mejoramiento se puede reducir la variación y detalles en el producto final aumentando el nivel sigma antes registrado de hormigonado de Pilares y muros, así también en losas y Vigas.

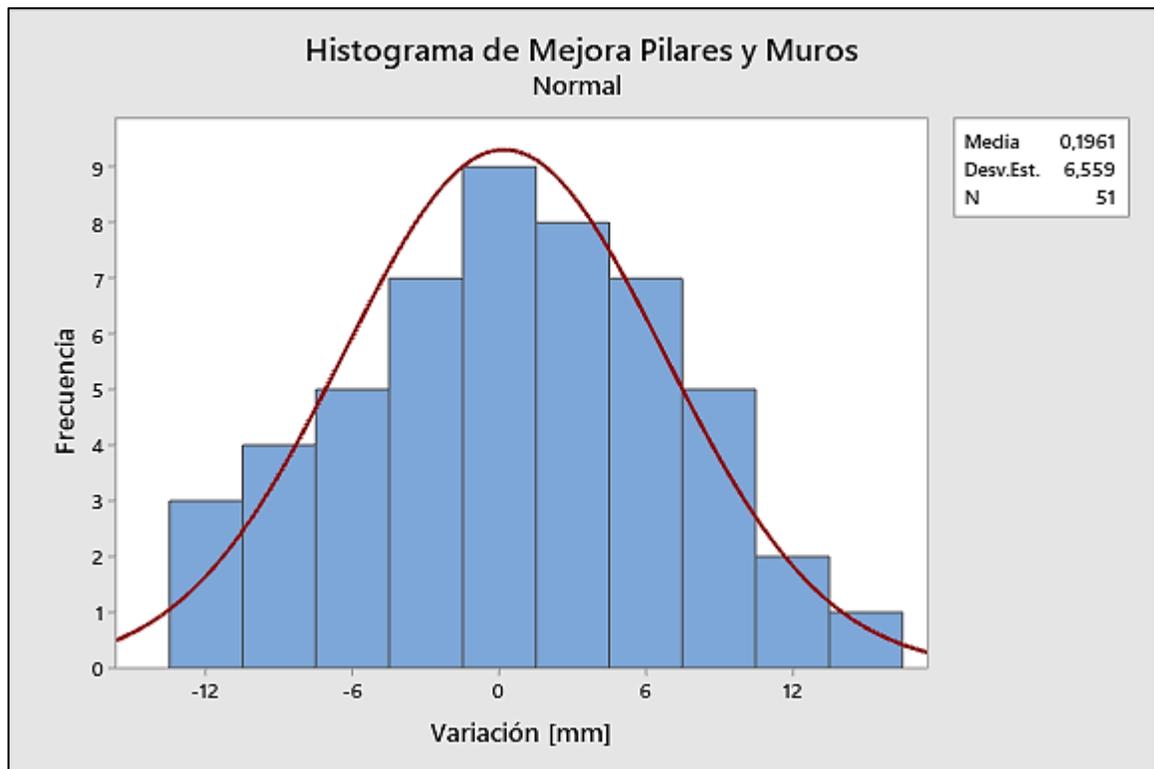


Figura 64. Diagrama de mejora en Pilares y Muros de hormigón.

Fuente: *Elaboración Propia.*

Las mejoras propuestas producirían solamente de la variación cercana a los 10 mm que es lo que se podría considerar por la poca uniformidad de los moldajes y su instalación, así también en la variación que puede haber por plomo o resaltos en la losa de hormigón. La pérdida sería considerando solamente un 10% de variación debido a los factores antes mencionados y que se traducen en dimensiones tolerables.

Tabla 30. Cálculo Nivel sigma en la mejora de hormigonado en Pilares y Muros.

Media	0,1921
Desv.Est.	6,559
Nº Datos	51
Límite superior	10
Límite inferior	0
Nivel Sigma	1,55

Fuente: Elaboración propia.

Basado en este aumento del nivel sigma con solamente la variación del 10% de las dimensiones se considera un nivel sigma de 1,55 que corresponde a un rendimiento del 53% debido a la gran imprecisión que hay en el método constructivo del hormigonado y poco control de factores en terreno, pero aún es evidente que reduce los costos en un 75,2% por lo cual es conveniente para el presupuesto del proyecto. Mientras que en losas y vigas se determina que la nueva distribución de errores que resulta.

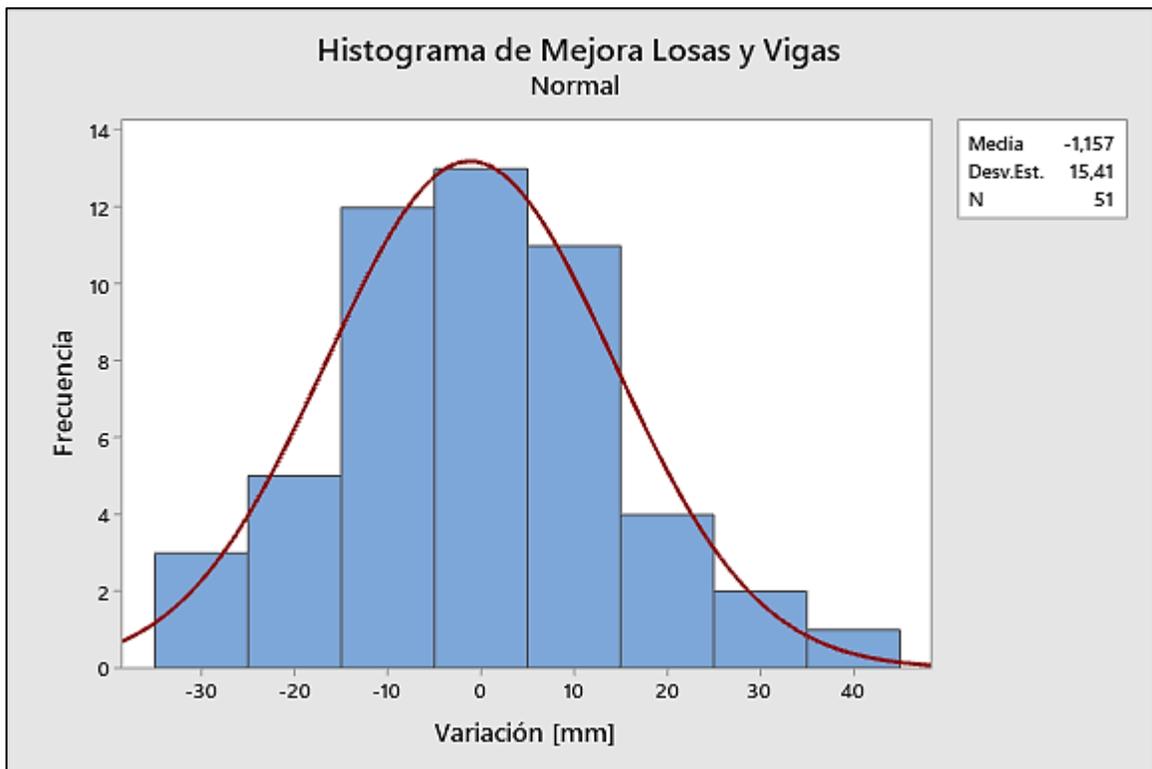


Figura 65. Histograma de mejora en Losas y Vigas.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 31. Calculo Nivel sigma en la mejora de hormigonado en Vigas y Losas.

Media	-1,157
Desv.Est.	15,41
Nº Datos	51
Límite superior	20
Límite inferior	0
Nivel Sigma	1,37

Fuente: Elaboración propia.

Con este nuevo valor sigma se estima que se puede reducir los costos en tan solo 72,1% en el hormigonado de Losas y vigas. Un nivel sigma 1,37 corresponde a un rendimiento del 46% en la suposición que se logra implementar las mejoras descritas en la figura 65 con detalle en la efectividad de las acciones a seguir. El bajo nivel sigma resultante en las mejoras se debe a la naturaleza de los datos y al método constructivo aplicado ya que los elementos de hormigón tienen una variedad de factores que pueden hacer impreciso las medidas en toda la continuidad del elemento, pero aún están dentro de las variaciones tolerables.

6.2. Proyectos de mejora en procesos de Operación y Gestión.

Para el proceso de Operación y Gestión se desarrolla la aplicación de la metodología Seis Sigma en sus etapas Definir, Medir, Analizar y Mejorar. Para la etapa de Control, esta se deja propuesto por el contexto y alcance a la realización del tema de estudio.

Se plantea el proyecto de mejora Operación 1 correspondiente a la variación en la Planificación y Gestión de materiales en obra. El proyecto de mejora Operación 2 asociado al cumplimiento de la Información a proveedores externos.

6.2.2. Proyecto de mejora en Operaciones y Gestión 1.

6.2.2.1. Etapa Definir: Planificación y Gestión de materiales.

En esta primera etapa se busca conocer, comprender, delimitar e identificar el problema objetivo que necesita de mejoras continuas en el desarrollo de cumplir con las actividades programadas. Todo esto para poder establecer metas claras en servicios y productos, con una mejor eficacia y eficiencia reflejado en el nivel de calidad y reducción de costos en plazos por errores que generan la variación en la planificación y gestión de materiales.

El proceso de Planificación y Control de Gestión es un sistema que define, coordina y determina el orden de las actividades para lograr una eficiencia tanto en el presupuesto como también en los plazos determinados por el cliente. La organización de plazos a cumplir en las etapas del proyecto es una variable que es vital para evitar la no calidad en el servicio.

Obtener un alto nivel de conformidad de parte del cliente es también parte de la gestión interna de insumos y recursos necesarios de equipos, materiales y recursos humanos. Esto aporta un control en los costos asociados a cada actividad ejecutada en la faena de edificación.

Es importante poder definir los puntos críticos en la cadena de etapas del proceso, en las cuales se presentan los principales participantes que gestionan el control de información para la planificación y control del proyecto, en este caso tiene puntos críticos como la Oficina Técnica ya que llevan la realización de la redacción del documento y también la Oficina de Administración que lidera las decisiones respecto a la reprogramación de costos y plazos junto con el cliente.

Las etapas principales en el desarrollo de una planificación se presentan en la siguiente figura.

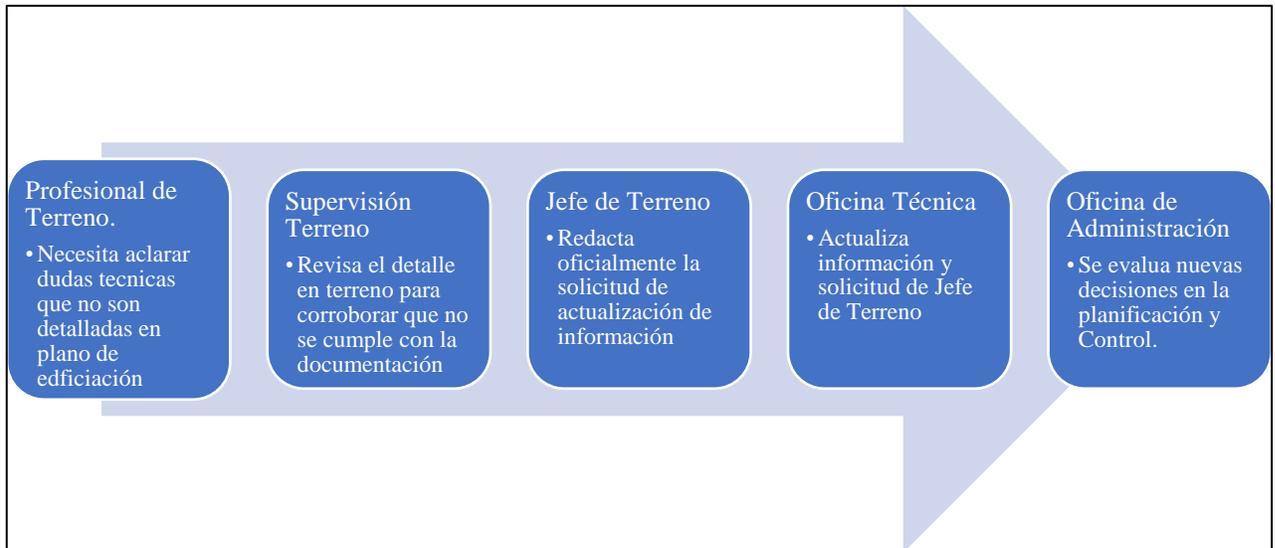


Figura 66. Figura de orden de especialidades en la Planificación de proyecto edificación.

Fuente: Elaboración propia.

Las variaciones que sufre la planificación del manejo de recursos y el cumplimiento de plazos de actividades se registra en documentos como minutas de reunión, registros de capacitación, mails, no conformidades y registros de nuevas modificaciones al plan de desarrollo de las distintas actividades.

Se concluye que el principal objetivo para aplicar la metodología Seis Sigma es poder reducir los costos adicionales a los plazos por motivos de variaciones en el desarrollo de las actividades que componen la realización de la edificación en proyecto. Así también, lograr reducir las variaciones de tiempos en que se gestiona las soluciones a los cambios del programa ya establecido.

6.2.2.2. Etapa Medir: Planificación y Gestión de materiales en obra.

El objetivo en esta etapa es lograr medir el nivel sigma actual de la planificación y control de gestión, por lo que se determina la medición de errores por días de atraso a las soluciones requeridas. Estas se registran en un histograma y se compara con la tendencia de distribución normal de los datos para poder aplicar la metodología Seis Sigma.

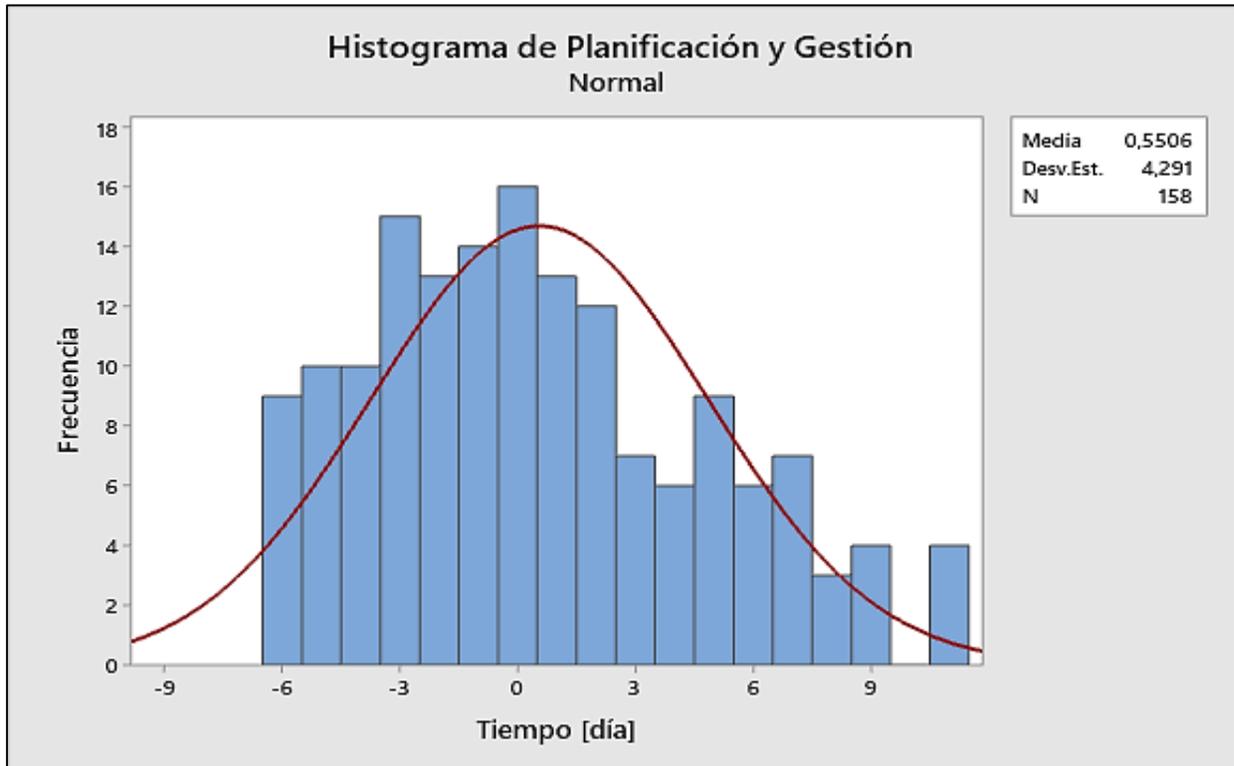


Figura 67. Histograma de Planificación y Gestión de materiales en Obra.

Fuente: Elaboración propia.

Según la figura 67 se aplicó un valor estimado como óptimo de tiempo de respuesta a lo que se determinó a los datos registrados que las cantidades de días inferiores ese tiempo óptimo se considera como un valor negativo considerado como un adelanto al plazo previamente acordado en el sistema de planificación y gestión de control, este valor corresponde a 3 días.

Se considera la distribución normal por demostración gráfica con ausencia de test de normalidad debido a la naturaleza de los datos. La variable aleatoria es el tiempo determinado por un límite superior los 7 días y límite inferior los cero días de respuesta del sistema de planificación y control de gestión.

Tabla 32. Tabla de resultado de nivel sigma de medidas de errores en Planificación y Gestión.

Media	0,5506
Desv.Est.	4,291
Nº Datos	158
Límite superior	7
Límite inferior	0
Nivel Sigma	1,5

Fuente: Elaboración propia.

Según el cálculo del nivel sigma del proyecto 1 de Operación y Gestión se considera que tiene un rendimiento del 50% esto quiere decir que el nivel de DPOM es de 500000. Este resultado sugiere aplicar mejoras en las actividades que componen la Planificación y Control de Gestión.

6.2.2.3. Etapa Analizar: Planificación y Gestión de materiales en obra.

En esta etapa se aplica las herramientas de análisis sobre los defectos que cumplen con la distribución normal en los datos de Planificación y Control de Gestión del proyecto. Estas herramientas de análisis se pueden generar un diagnóstico objetivo sobre los factores o áreas que requieren de un plan de mejora para poder elevar el nivel sigma y el rendimiento.

Se construye el diagrama de flujo sobre la planificación de actividades, recursos y costos del proyecto de edificación para poder entender las variables que están involucradas en la toma de decisiones de los plazos y gestión del proyecto.

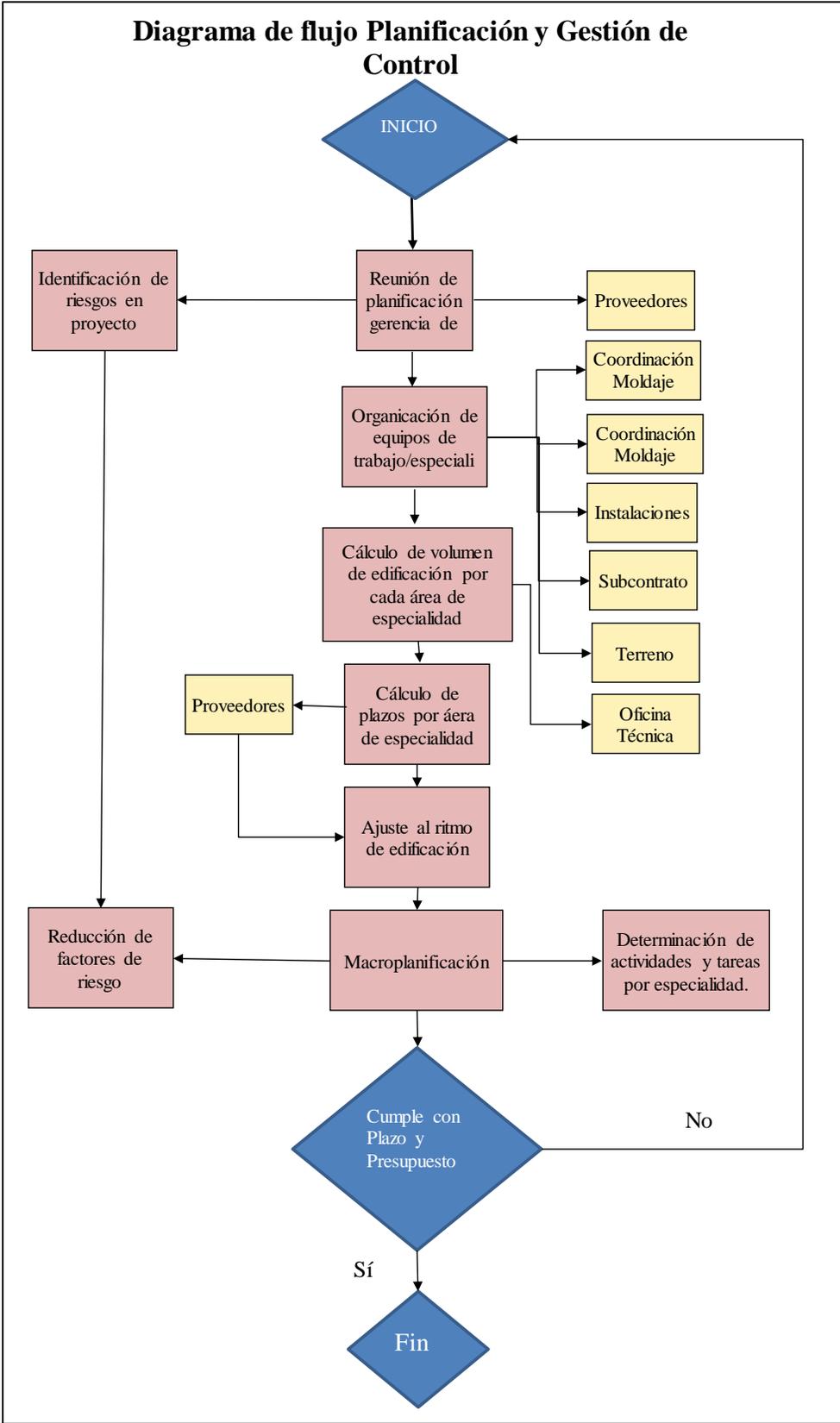


Figura 68. Diagrama de flujos para la Planificación y Gestión.
 Fuente: Elaboración propia.

Con la construcción del diagrama de flujo de la Planificación y Gestión se puede estudiar los puntos críticos donde se forman errores y los roles responsables de las decisiones relacionados a su implementación en el proyecto, para esto se plantea utilizar la información de la lluvia de idea para estructurar las causas de los errores en el diagrama de a Ishikawa.

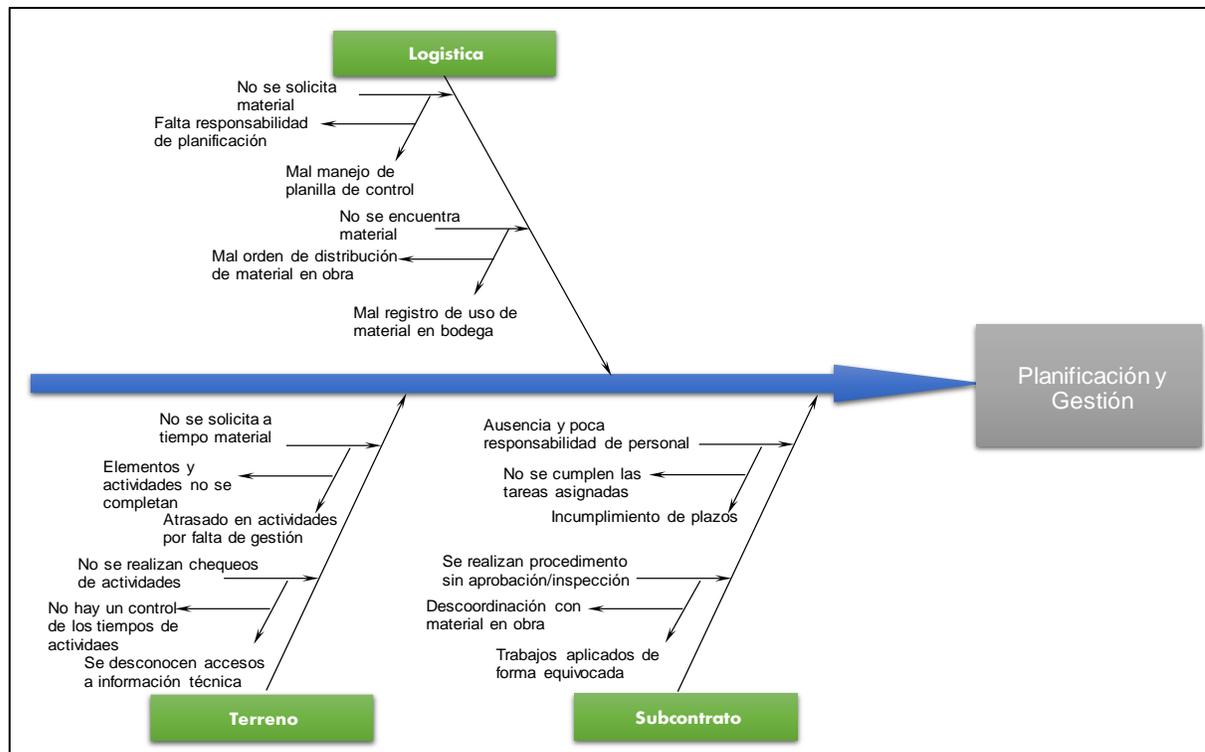


Figura 69. Diagrama de Causa efecto de Ishikawa para la Planificación y Gestión.

Fuente: Elaboración Propia.

Después de lograr determinar las causas principales y las potenciales causas raíz de los errores en la Planificación y Gestión del proyecto de edificación se establece realizar un diagrama de Pareto para identificar los errores con los datos controlables del proceso y que permite estimar el costo del presupuesto y el tiempo de variación.

Tabla 33. Clasificación de errores en Planificación y Gestión.

Errores controlables	Errores no controlables
No se solicita material a obra	Falta responsabilidad en planificación
Falta cumplimiento según planilla de control de procesos	Mal manejo de planilla de control
Mal registro, orden y administración de material en obra	No se cumplen las tareas asignadas
No se realiza chequeos digitales de actividades	Trabajos aplicados de forma equivocada
Ausencia/falta responsabilidad del personal Subcontrato	Elementos y actividades no se completan
Se realizan procedimientos sin aprobación o inspección	No hay control de los tiempos de actividades

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 34. Datos para Análisis de Pareto en Planificación y Gestión.

Causa / Problema / Fenómeno	Datos recolectados	Porcentajes de costos asociados
No se solicita material a obra	86	78%
Falta cumplimiento según planilla de Control de procesos	30	4%
Mal registro, orden y administración de material en obra	13	6%
No se realiza chequeos digitales de actividades	12	0%
Ausencia/ falta responsabilidad del personal Subcontrato	11	11%
Se realizan procedimientos sin aprobación o inspección	6	1%

Fuente: Elaboración propia.

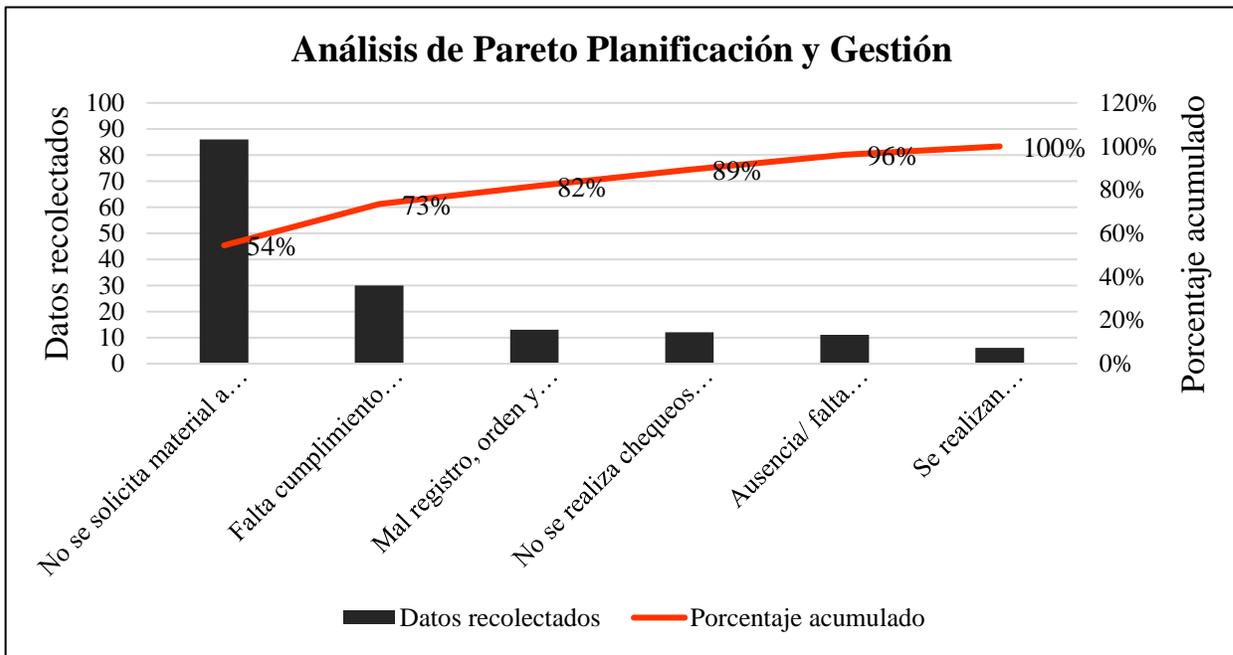


Figura 70. Gráfico de Análisis de Pareto para la Planificación y Gestión.

Fuente: Elaboración propia.

Con el análisis de Pareto de los tipos de errores que producen en la Planificación y Gestión del proyecto de edificación se considera necesario plantear mejoras en los errores: No se solicita material a obra, ausencia/falta de personal de subcontrato y también en el mal registro, orden y administración de material en obra ya que concentran el 95% de la cantidad de costos de no calidad presentado en la figura 71.

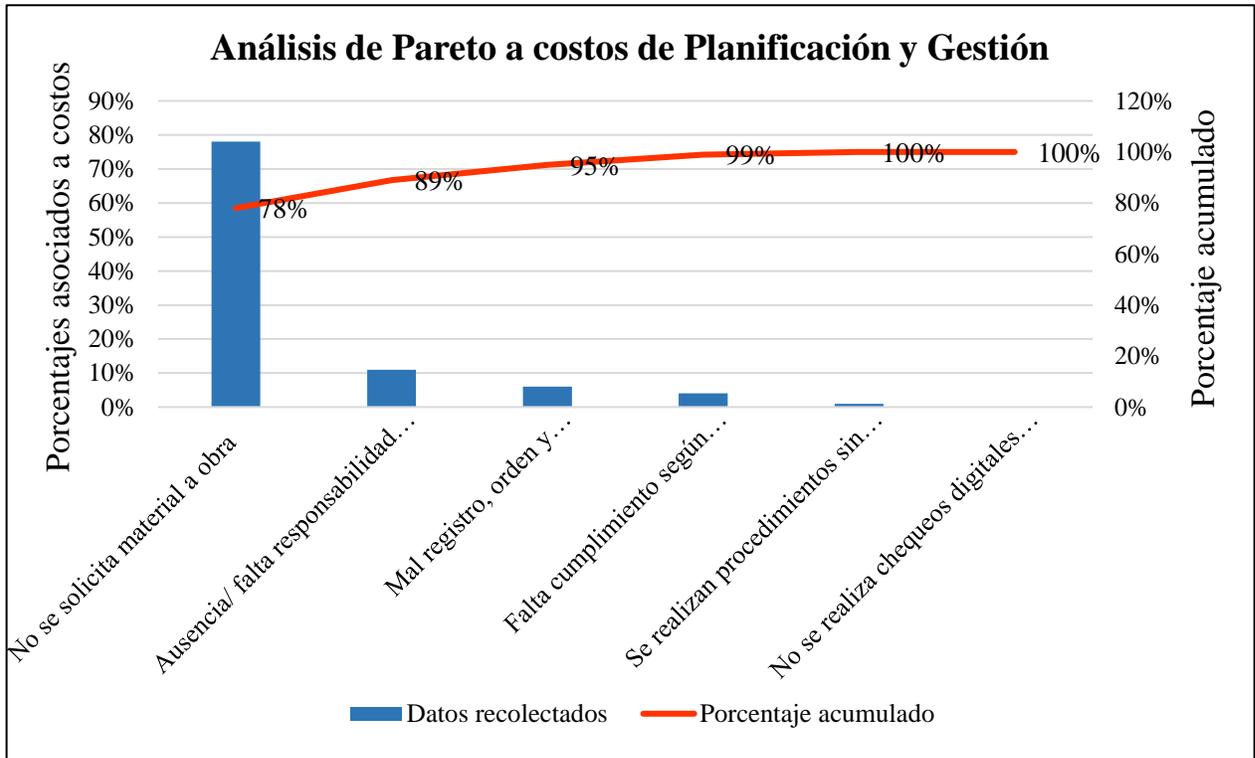


Figura 71. Distribución de Costos en los errores de Planificación y Gestión.

Fuente: Elaboración Propia.

La mayor cantidad de costos de no calidad asociados al tiempo de atraso requieren de plantear un plan de mejora en los procesos de modo de reducir los errores y defectos presentes en la planificación y gestión de la construcción.

6.2.2.4. Etapa Mejora: Planificación y Gestión de materiales en Obra.

En base a la etapa de análisis se considera que se debe plantear mejoras a la Planificación y Control de Gestión considerando mejoras en la falta de coordinación en terreno, mala ejecución de actividades de parte del personal de subcontrato y la información errónea o no actualizada en terreno. Para organizar estas propuestas se presenta un diagrama árbol con el desarrollo de estas soluciones que mejorarían el nivel sigma de los procesos y por consiguiente una reducción de los costos de no calidad al proyecto.

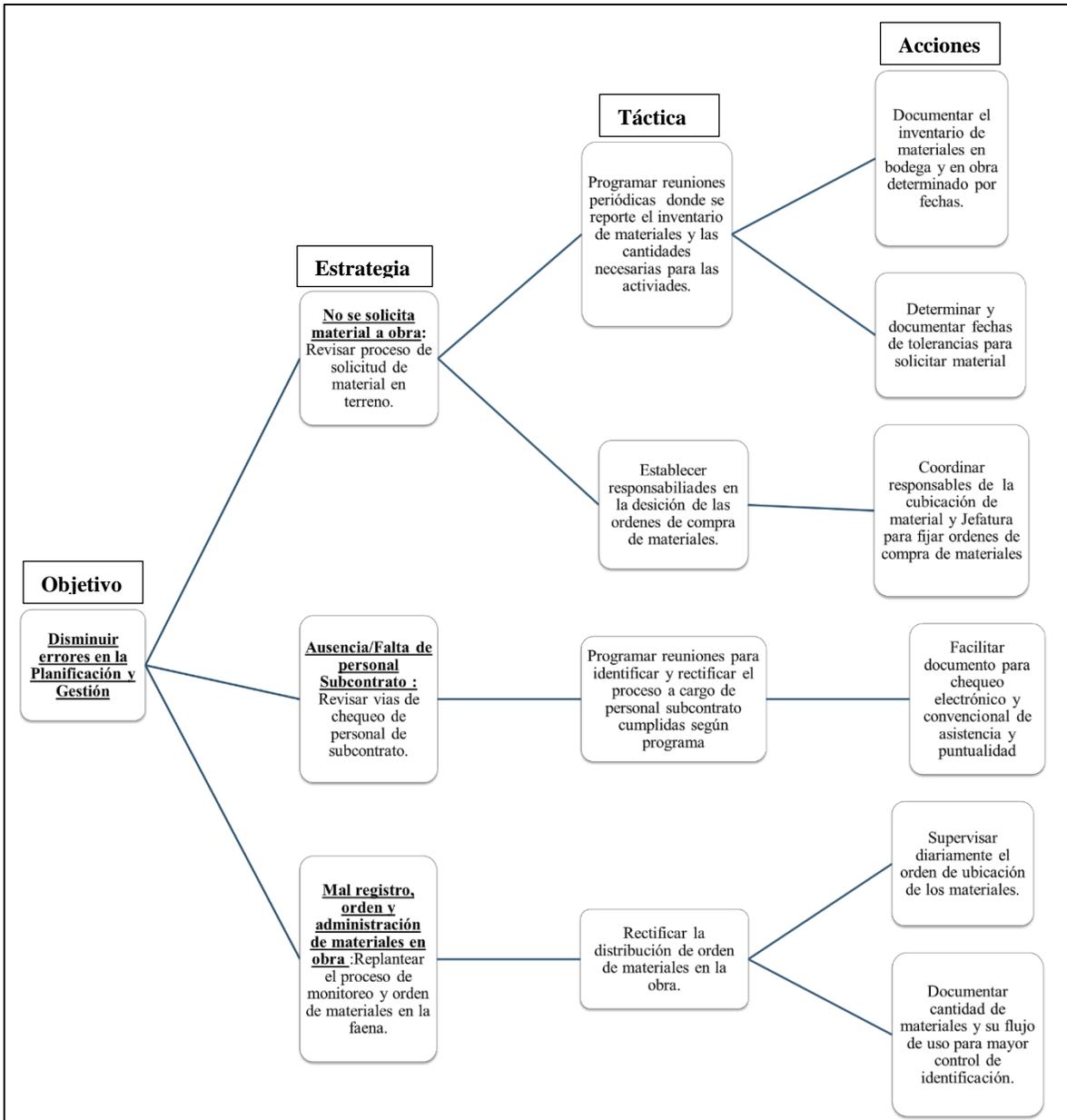


Figura 72. Diagrama de árbol de soluciones y mejoras para Planificación y Gestión.

Fuente: Elaboración propia.

Considerando las mejoras en la figura se puede estimar un nuevo escenario de los defectos para la Planificación y Gestión, el cual implica la disminución de frecuencias de errores. De los casos de errores de estudio se consideran mejoras en la reducción de casos en errores frecuentes y costos relacionados.

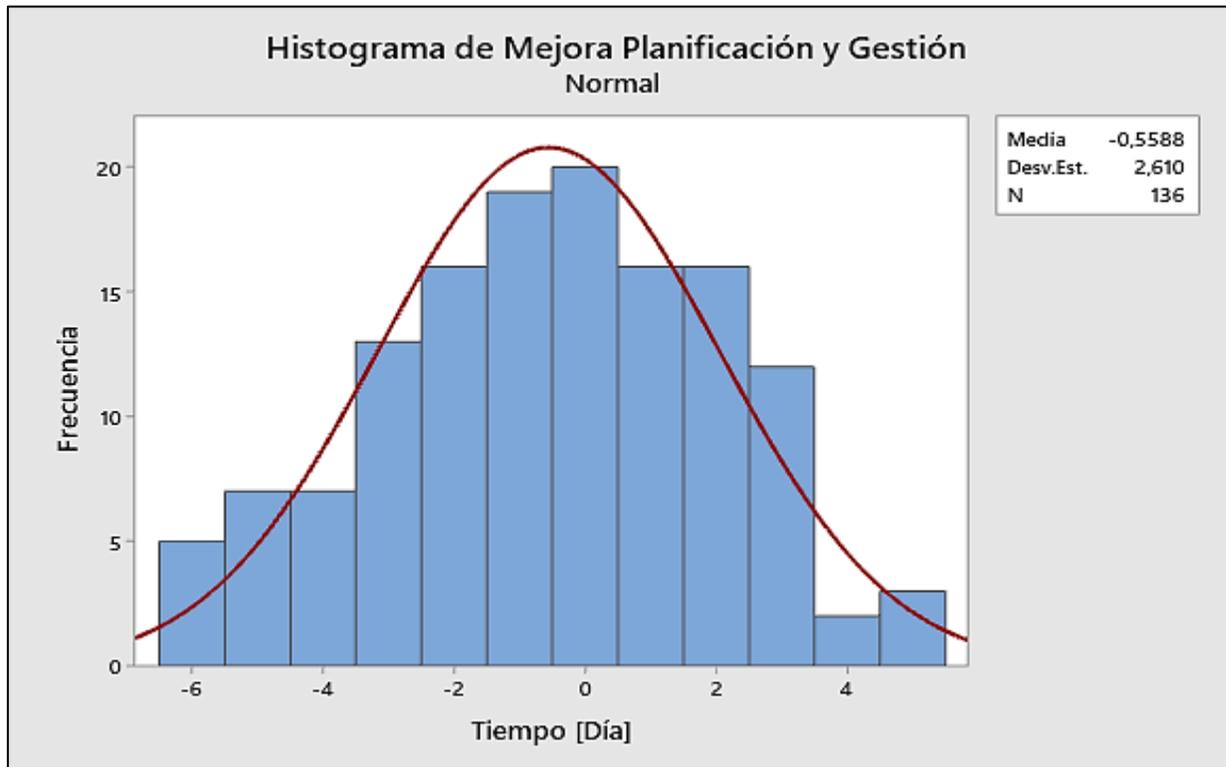


Figura 73. Histograma de datos en caso de mejora de proyecto Planificación y Gestión.
Fuente: Elaboración Minitab

La nueva distribución de errores y variaciones en la planificación indica una concentración de datos negativos los cuales implica que se adelantan a la fecha considerando el tiempo de holgura de los proveedores y además el límite interno que tiene la constructora para realizar las órdenes de compra de materiales.

En base a la distribución de los datos de mejora se supone una distribución normal de forma gráfica, se calcula el nuevo nivel sigma.

Tabla 35. Cálculo de nivel Sigma en caso de mejora de proyecto de Planificación y Gestión.

Media	-0,5588
Desv.Est.	2,610
Nº Datos	158
Límite superior	7
Límite inferior	0
Nivel Sigma	2,9

Fuente: Elaboración propia.

Considerando este nuevo nivel sigma se considera que el nivel 2,9 sigma considera un rendimiento del 91.9% de efectividad, esta nueva situación estima una reducción de los costos en un 55,2% total ya que se reajusta los plazos y efectividad de gestionar la compra de materiales.

6.2.3. Proyecto de mejora Operación y Gestión 2.

6.2.3.1. Etapa Definir: Información de Proveedores Externos.

En esta primera etapa se busca conocer, comprender, delimitar e identificar el problema objetivo que necesita de mejoras continuas en el desarrollo para cumplir con las actividades programadas. Poder establecer metas claras en servicios y productos, con una mejor eficacia y eficiencia reflejado en el nivel de calidad y reducción de costos en los plazos por la variación en la información de Proveedores Externos.

Para comprender los defectos que se han generado en la gestión con proveedores externos se describe en la figura 74 el proceso de relación sobre los factores que son parte del proceso de gestión con subcontrato. Y en esa cadena de participantes se puede definir los puntos críticos donde es vulnerable generar errores en el proceso de información a los proveedores y subcontratos.

El problema que más se genera es la regulación de los documentos para órdenes de pago a los subcontratos ya que sus contratos son fijos dentro del programa global del proyecto, esto es necesario de definir como un problema que trae atrasos en facturas y pagos tanto al personal externo como también a la edificación y procesos constructivos.

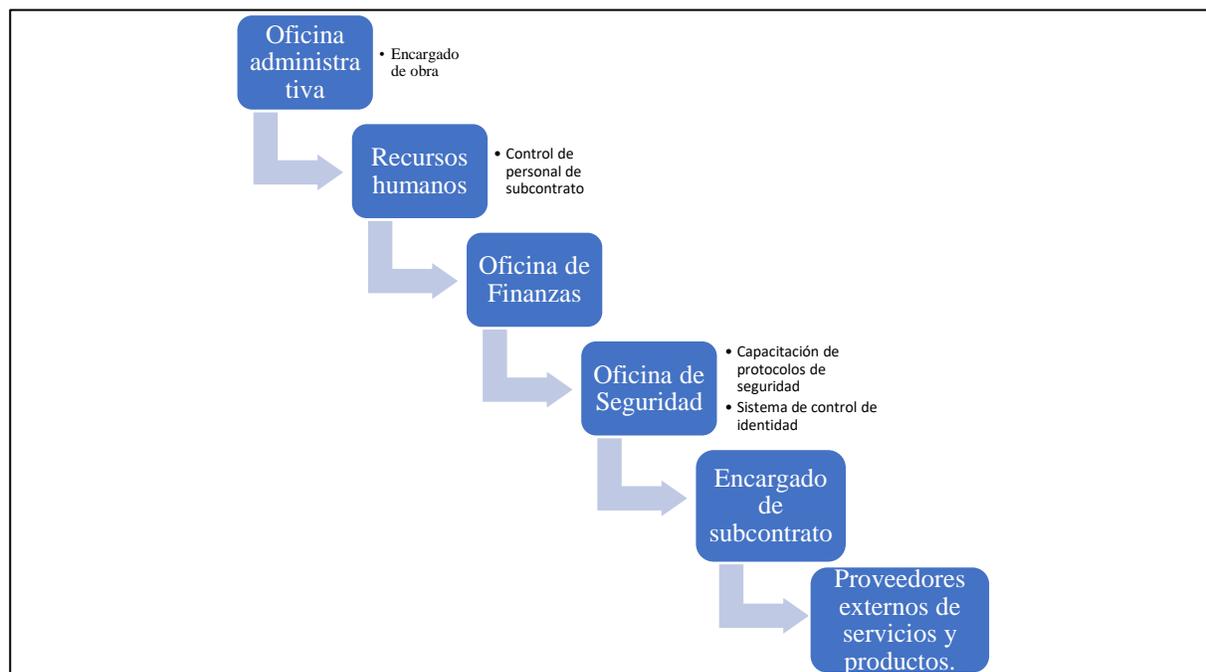


Figura 74. Esquema de jerarquía de gestión de Subcontratos y proveedores externos a la edificación.

Fuente: Elaboración propia.

El problema a definir también, es sobre las administración y control del personal externo ya que el contrato estipula cumplir las normas de convivencias, pero se pueden generar vacíos de control en la asistencia y responsabilidad de las actividades que se les entrega con fecha de inicio y termino, así también con el presupuesto estipulado en el proceso de estudio de propuestas.

Se concluye que frente a estos grandes defectos en la administración del personal externo es necesario aplicar mejoras sistemáticas y continuas para tener un cumplimiento óptimo de la relación de la constructora a cargo del proyecto con los trabajadores externos.

6.2.3.2. Etapa Medir: Información a proveedores externos.

En base a los datos obtenidos el objetivo en esta etapa es lograr medir el nivel sigma actual del proceso de información a proveedores externos, por lo que se determina la medición de errores por días de atraso en las soluciones requeridas registrándolas en un histograma y comparando con la tendencia de distribución normal de los datos para poder aplicar la metodología Seis Sigma.

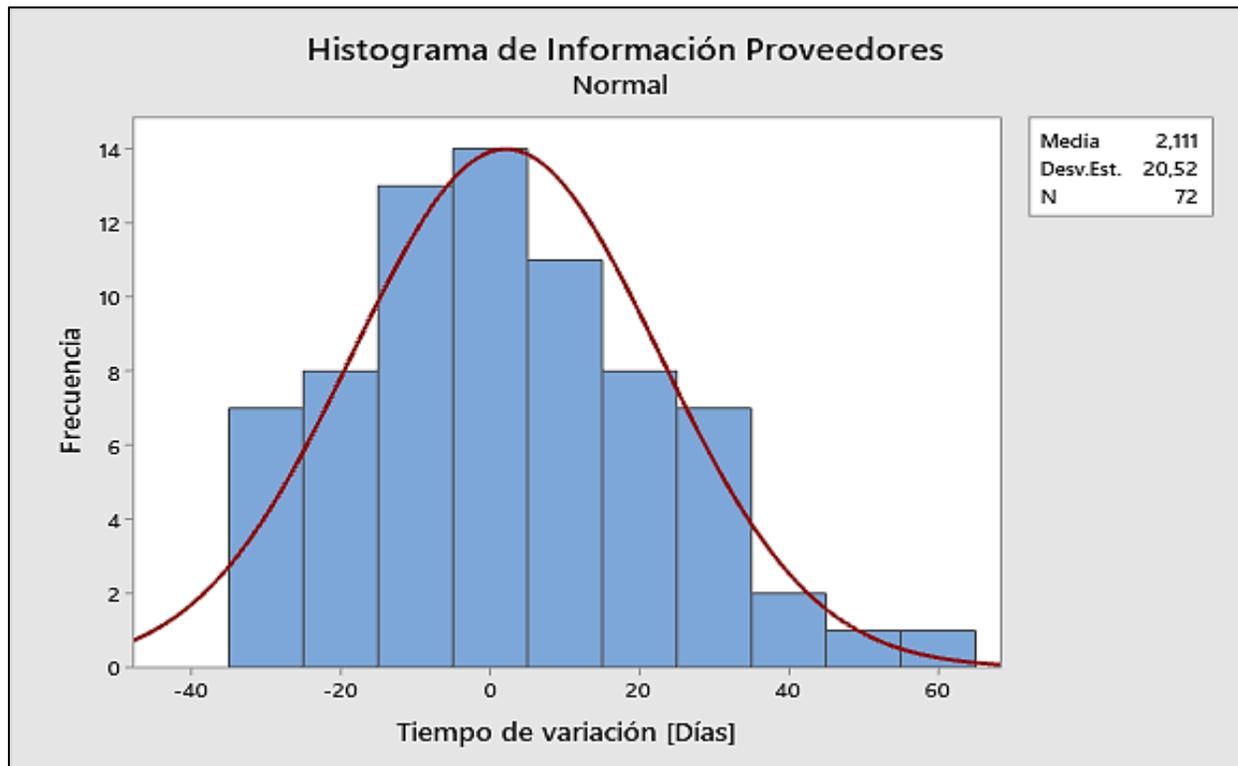


Figura 75. Histograma de errores en Información de Proveedores externos.

Fuente: Elaborado en Minitab.

Según la Figura 75 se aplicó un valor estimado como óptimo de tiempo de respuesta a lo que se determinó en los datos registrados que las cantidades de días inferiores ese tiempo óptimo se considera como un valor negativo considerando un adelanto al plazo previamente acordado en el sistema de planificación y gestión de control, este valor corresponde a 15 días.

La distribución sigue un comportamiento normal de forma gráfica ya que no se determina un test de normalidad por la naturaleza de los datos. El límite oficial aceptado es de 30 días, que es el tiempo fijado como máximo para realizar los estados de pago a los subcontrato y proveedores externos, el límite inferior corresponde al cero día de respuesta en base.

Tabla 36. Tabla de resultado de nivel sigma de medidas de errores en Información a proveedores externos.

Media	2,111
Desv.Est.	20,92
Nº Datos	72
Límite superior	30
Límite inferior	0
Nivel Sigma	1,36

Fuente: Elaboración propia.

Según el cálculo del nivel sigma del proyecto 2 de Operación y Gestión se considera que tiene un rendimiento del 45% esto quiere decir que el nivel de DPOM es de 549750. Este resultado sugiere aplicar mejoras en las actividades que componen el proceso de Información de Proveedores externos y Subcontratos.

6.2.3.3. Etapa Analizar: Información a proveedores externos.

En esta etapa se aplica las herramientas de análisis sobre los defectos que cumplen con la distribución normal en los datos de Información de Proveedores externos y Subcontratos del proyecto. En base a estas herramientas de análisis se puede generar un diagnóstico objetivo sobre los factores o áreas que requieren mejoras y elevar el nivel sigma conjunto con el rendimiento.

Se construye el diagrama de flujo sobre la planificación de actividades, recursos y costos del proyecto de edificación para poder entender las variables y responsabilidades en cada rol que interfieren como un factor que están involucrados en la toma de decisiones al respecto de los plazos y gestión del proyecto.

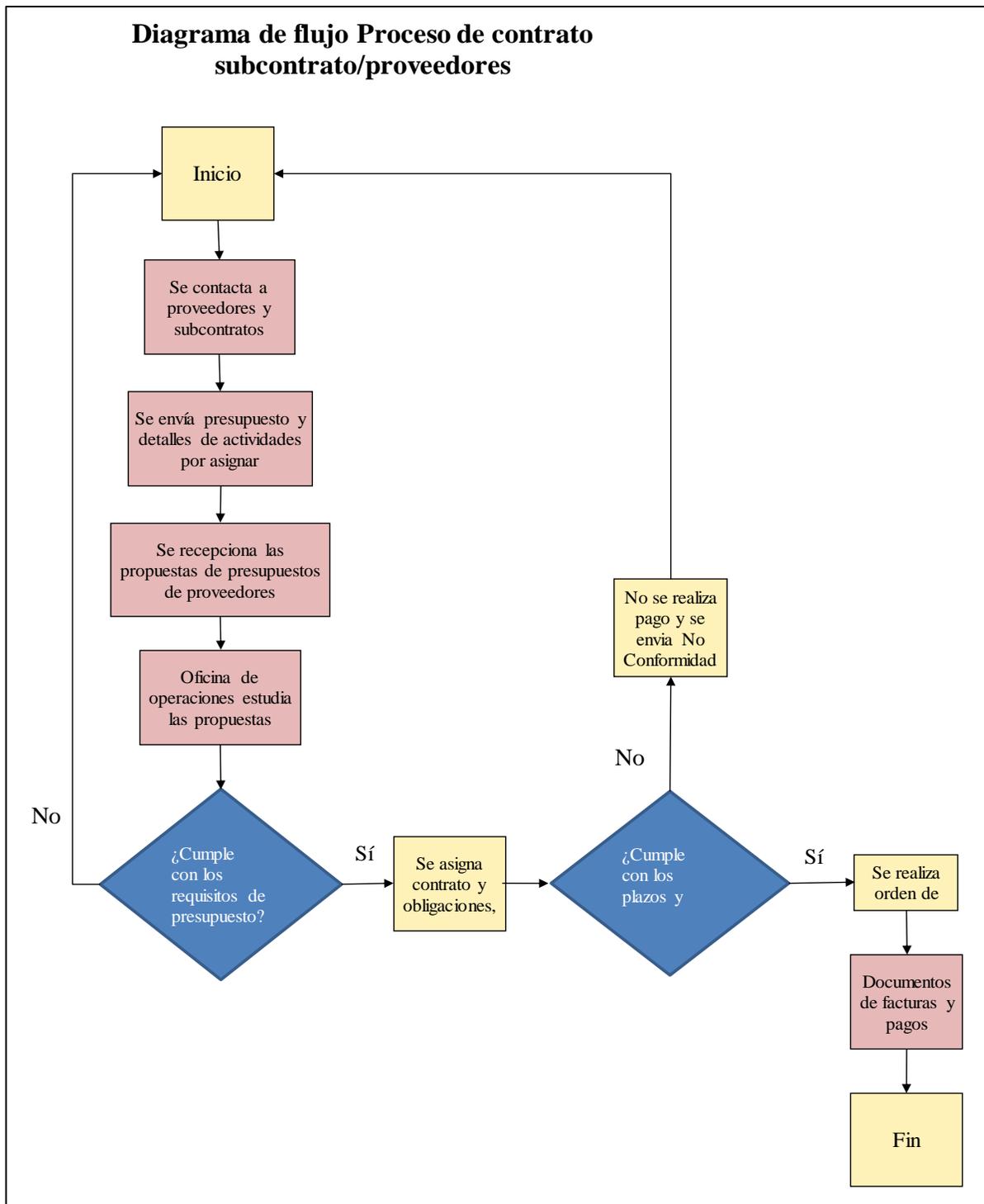


Figura 76. Diagrama de flujo para proceso de administración y control de Subcontrato y proveedores externos.

Fuente: Elaboración propia.

Con el establecimiento del diagrama de flujo de la Información a Proveedores externos y Subcontratos se puede estudiar los puntos críticos donde se forman errores, para esto se plantea utilizar la información de la lluvia de idea para estructurar las causas de los errores en el diagrama de a Ishikawa.

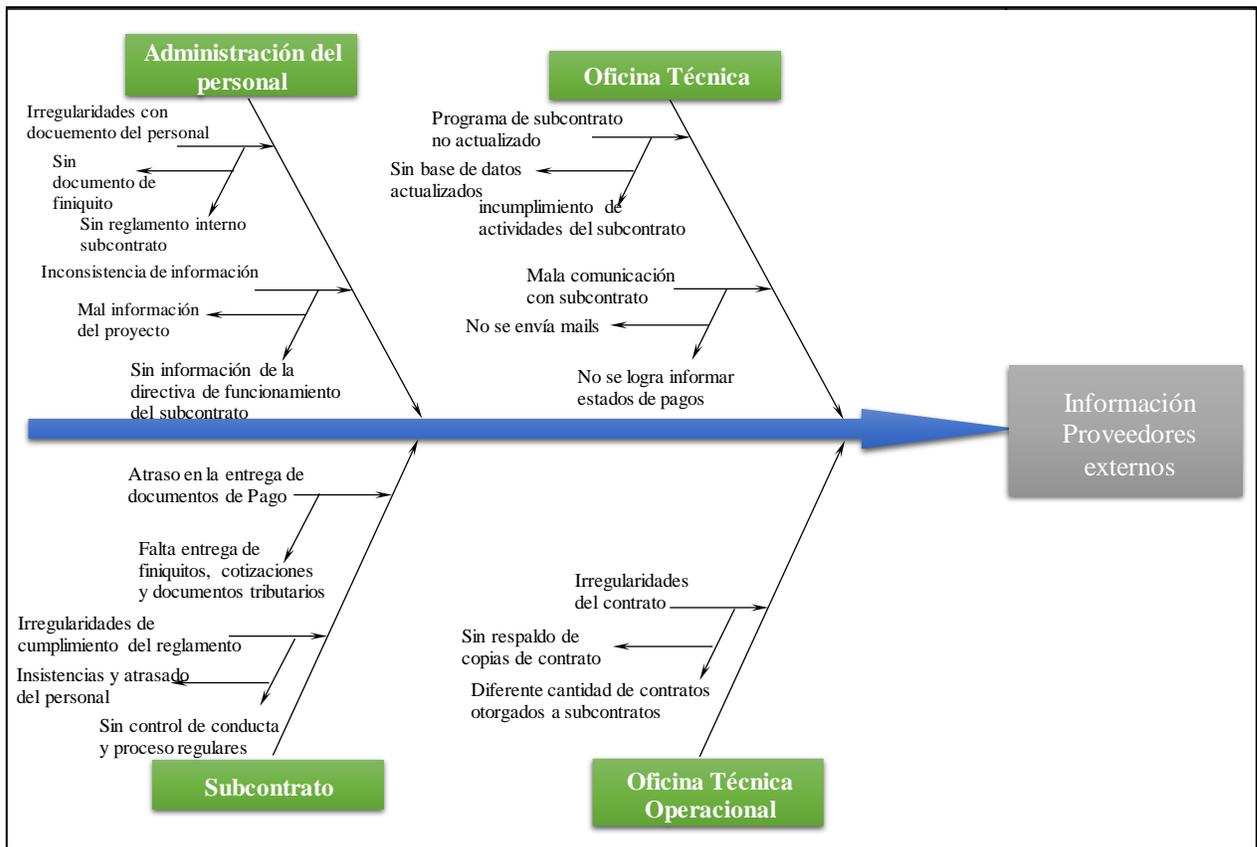


Figura 77. Diagrama de Causa- Efecto de Ishikawa para los defectos de Información a Proveedores externos.

Fuente: Elaboración Propia.

Después de lograr determinar las causas principales y las potenciales causas raíz de los errores en la Información a proveedores externos se establece realizar un diagrama de Pareto para identificar los errores que son más frecuentes y por lo tanto aplicar sobre ellos en la etapa de mejora un plan enfocado a reducir los errores mencionados en el diagrama de Ishikawa.

Tabla 37. Clasificación de errores en Proyecto de mejora Información a proveedores externos.

Errores controlables	Errores no controlables
Irregularidades con documento del personal	Sin documento de finiquito
Inconsistencia de información	Subcontrato sin reglamento interno
Programa de subcontrato no actualizada	Mal información del proyecto
Mala comunicación con subcontratos	Sin información de la directiva de funcionamiento
Irregularidades de contratos	Falta entrega de finiquitos, cotizaciones y documentos
Retrato de documentos para pago	Inasistencia y atraso del personal subcontrato
Irregularidades de cumplimiento del reglamento	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 38. Datos de errores de Análisis de Pareto en Información de Proveedores externos.

Causa / Problema / Fenómeno	Datos recolectados
Retraso de documentos para pago	39
Irregularidades de cumplimiento del reglamento	19
Mala comunicación con subcontrato	4
Programa no actualizado para subcontrato	3
Irregularidades con documentación del personal	3
Irregularidades de contratos	2
Inconsistencia de información	2

Fuente: Elaboración propia.

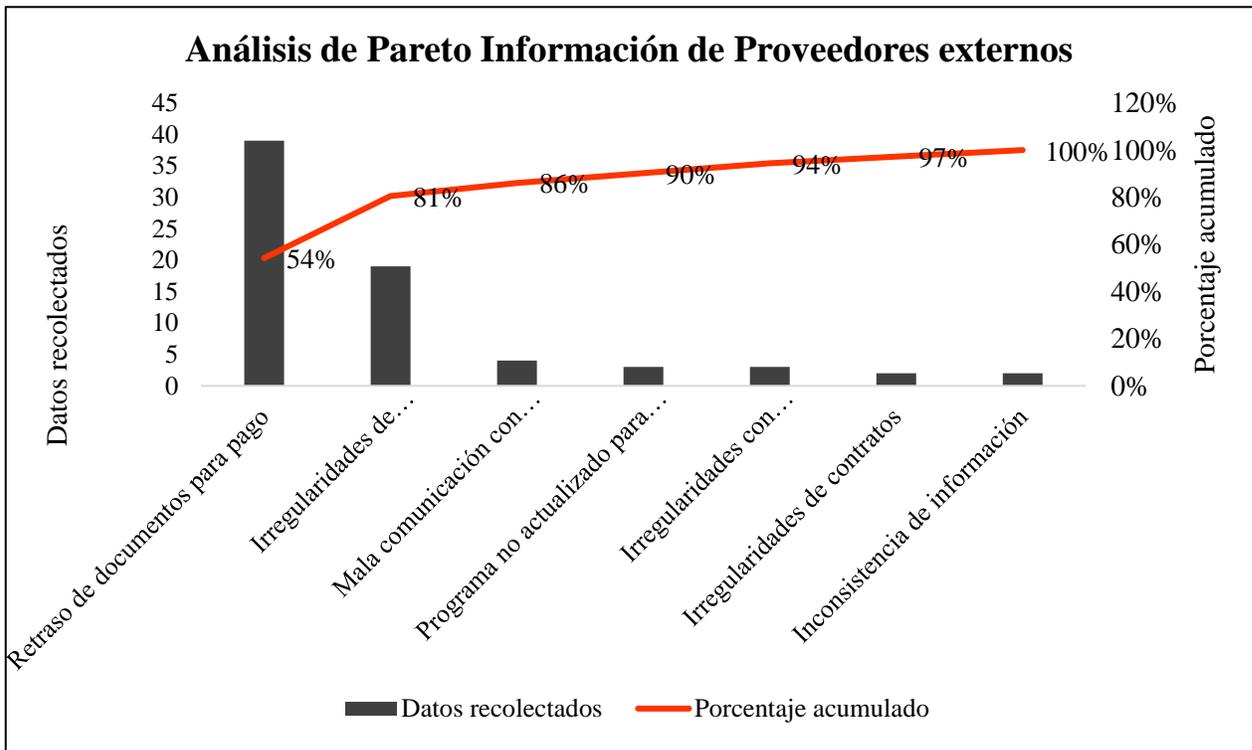


Figura 78. Análisis de Pareto a los defectos de Información a Proveedores externos.

Fuente: Elaboración propia.

Con el análisis de Pareto de los tipos de errores que producen en la Información de Proveedores externos y Subcontratos del proyecto de edificación se considera necesario plantear mejoras en los errores: Retraso de documentos para efectuar pago de facturas e Irregularidades de cumplimiento de reglamento interno al personal de subcontrato ya que concentran el 81% de la cantidad de errores. Es necesario mencionar que este proyecto no tiene asociados costos de no calidad que afecten directamente al presupuesto, sino que a los plazos de finalización de actividades.

6.2.3.4. Etapa Mejora: Información de Proveedores externos y Subcontratos.

En base a la etapa de análisis se considera que se debe plantear mejoras a la Información de Proveedores externos considerando mejoras en las entregas atrasadas de documentos para generar ordenes de pagos a tiempo según contrato a los subcontratos y también mejoras en el sistema de control y monitoria de responsabilidad y cumplimiento de las normativas en la faena para todo el personal de subcontrato.

Para organizar estas propuestas se presenta un diagrama árbol para el desarrollo de estas soluciones que mejorarían el nivel sigma de los procesos y por consiguiente una reducción de los costos por no calidad al cliente.

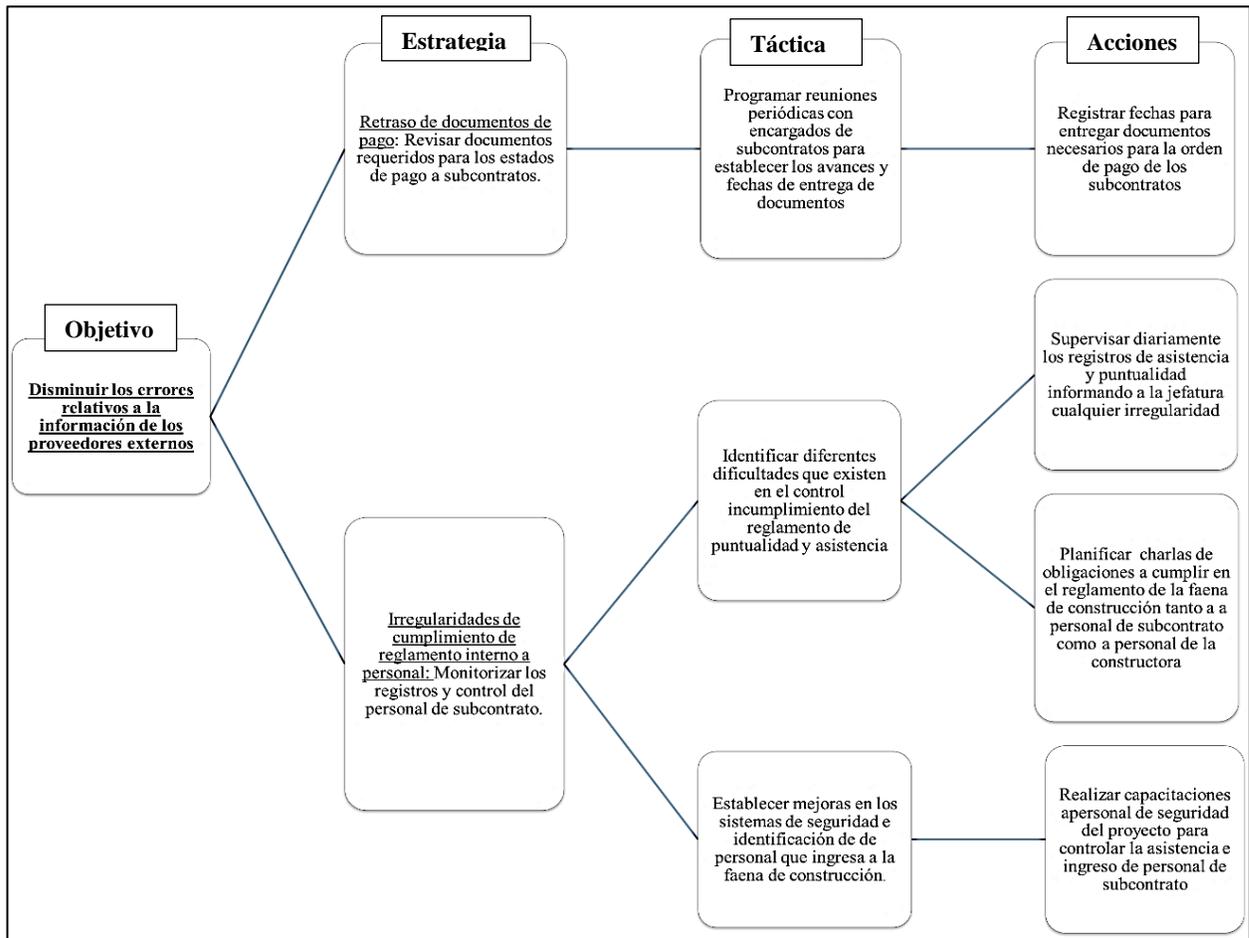


Figura 79. Diagrama de árbol de mejoras y soluciones para Información de Proveedores externos.

Fuente: Elaboración propia.

Considerando las mejoras en la figura se puede estimar un nuevo escenario de los defectos para la Información de Proveedores externos, el cual implica la disminución de frecuencias de errores.

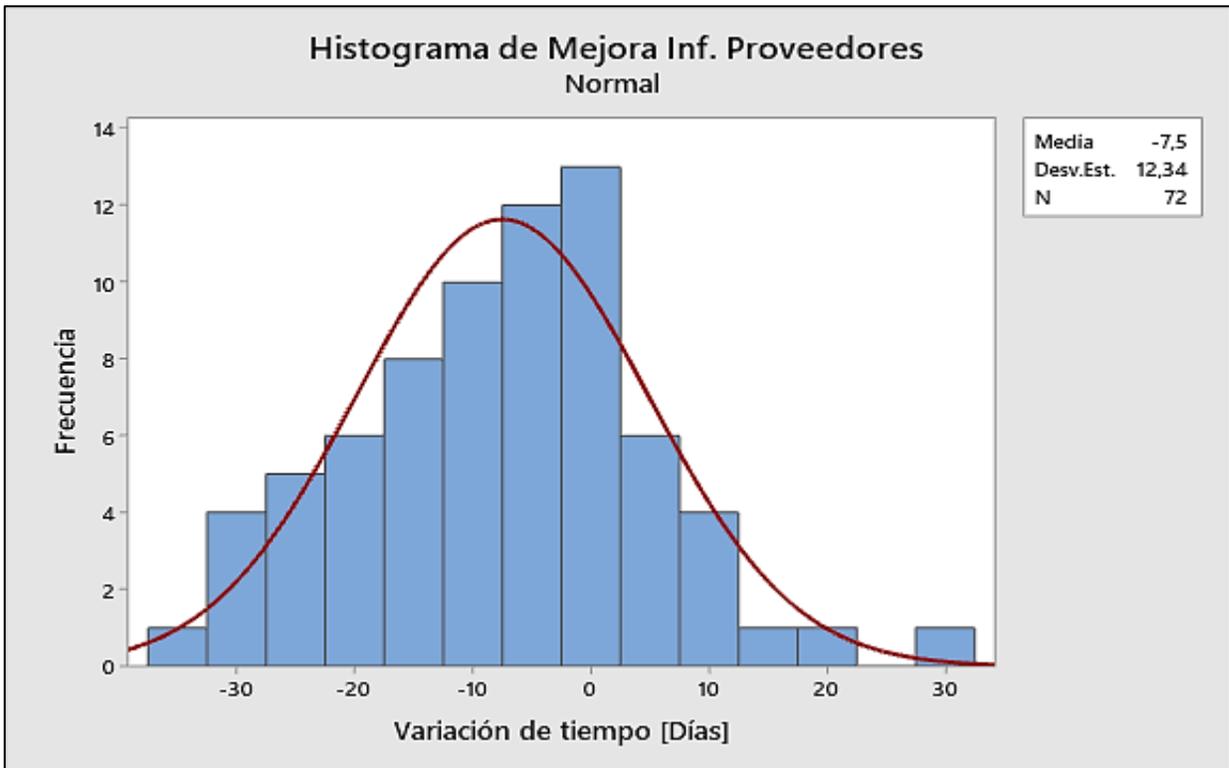


Figura 80. Histograma de datos con la aplicación de mejoras propuestas.
Fuente: Elaboración propia.

La nueva distribución de errores y variaciones en la Información de Proveedores externos indica una concentración de datos negativos los cuales implica que se adelantan a la fecha considerando el tiempo de holgura y además el límite interno que tiene la constructora para realizar las órdenes de pago a subcontrato. En base a la nueva configuración de las nuevas condiciones de errores en la planificación se calcula el nuevo nivel sigma.

Tabla 39. Cálculo de nivel Sigma en caso de mejora de proyecto de Planificación y Gestión.

Media	-7,5
Desv.Est.	12,34
Nº Datos	72
Límite superior	30
Límite inferior	0
Nivel Sigma	3,04

Fuente: Elaboración propia.

Considerando este nuevo nivel sigma se considera que el nivel 3,04 sigma considera un rendimiento del 93.3% de efectividad, esta nueva condición estima una reducción de los costos en un 44,7% total ya que se reajusta los plazos y efectividad de gestionar los documentos de pago y la asistencia y responsabilidad del personal de subcontrato a la edificación.

Capítulo 7 : Conclusiones y recomendaciones.

7.1. Conclusiones generales sobre la Metodología Seis Sigma.

La reducción de errores en los procesos que conforman la realización de un proyecto es un punto de mucha importancia para establecer normas de calidad enfocada al cliente y sus exigencias en el producto y servicio requerido. Es con este objetivo que surge la Metodología Seis Sigma y las cinco etapas correspondientes a la Definición, Medición, Análisis, Mejorar y Controlar. La metodología logra establecer un nivel sigma a los procesos y actividades para tener un diagnóstico claro sobre la eficiencia y eficacia aplicada por parte de la empresa y la organización del equipo de trabajo correspondiente, es en este sentido que nace la necesidad de llegar a un rendimiento de los recursos en las diferentes actividades flejado en un nivel sigma indicando la inexistencia de errores y defectos en etapas cíclicas.

Como primer punto a concluir es que la metodología Seis Sigma requiere de un sistema de registro de datos de los procesos donde se muestre y midan los errores, esto es imprescindible para poder aplicar las herramientas estadísticas que hay en cada una de las etapas y que permiten encontrar la causa raíz de los defectos además de plantear soluciones objetivamente para evitar volver a incurrir en el mismo error. La base de la existencia de Seis Sigma es la recopilación de datos de medidas en los procesos de producción y servicio.

Sin duda que la existencia de datos medibles son la base de la metodología DMAMC ya que cada una de las etapas se refiere a la medición estadística configurando un estado actual para poder lograr un estado óptimo de los procesos. En la etapa de definir se refiere a identificar los objetivos claros que se quiere lograr formando el concepto del problema a mejorar. Posteriormente se miden los defectos y variaciones para establecer un nivel sigma dependiendo que los datos medidos posean una distribución normal para continuar al siguiente paso de análisis, donde se identifica la causa raíz de los errores detectados con una o más herramientas estadísticas. La siguiente etapa de mejora es la formulación de ideas basadas en tácticas y acciones tanto preventivas como correctivas para disminuir la frecuencia de ocurrencia de los defectos, finalmente tales ideas se aplican y se controlan los datos con el nuevo contexto de aplicación de las mejoras propuestas.

7.2. Conclusiones de la aplicabilidad de la Metodología Seis Sigma en proyectos de edificación.

En el comienzo la formulación de la metodología Seis Sigma fue pensado para ser aplicado en proyectos industriales de manufacturas, pero es posible lograr la aplicabilidad en el área de las edificaciones ya que es aún más necesario disminuir los defectos por las características y propiedades que tiene el proyecto, ya que pueden afectar directamente a los costos y plazos de entrega. Sin duda que se puede aplicar a proyectos de edificaciones a cargo de empresas constructoras que requieran cumplir las exigencias de los clientes que necesitan estándares de Calidad correspondiente a los cero defectos.

Con esta idea se determinó que el caso de estudio de la aplicabilidad de la metodología Seis Sigma es realizable en un contexto donde exista documentación de los errores detectados. La principal característica en base al estudio del caso real que el nivel tres sigmas no es suficiente para proyectos de edificación, ya que es posible llegar a un nivel cercano al seis sigma. Esto se demuestra en los resultados del caso de estudio cuyas características reflejan que teniendo un sistema de medición y registro de los defectos con especificaciones detalladas y también una correcta forma de clasificar sus consecuencias en los costos y plazos, se puede establecer de una mejor manera la efectiva en los resultados de cada proceso de la metodología DMAMC. Este punto da un importante rol al área de Calidad de cada empresa constructora ya que son quienes pueden diagnosticar un real contexto del rendimiento de cada proceso.

Fue así que en este proyecto de edificación en particular los procesos estudiados son los que más costos aportaban al proyecto por concepto de no conformidad resultando dos casos relacionados al área de construcción y dos casos relacionados con el área de gestión y operaciones y cuyos datos registraron una tendencia normal a partir de la gráfica del histograma, lo que permite la aplicación efectiva de la metodología Seis Sigma. Finalmente, bajo la correcta aplicación de las herramientas estadísticas de cada etapa DMAMC se determina que los niveles sigmas son de un valor bastante bajos por lo cual se aplicó en un contexto supuesto las mejoras planteadas.

El resultado demuestra que el aumento del nivel sigma implica una disminución por sobre el 70% de los costos de no conformidad en los procesos constructivos y en un 40% menos de retrasos en los plazos para los procesos de gestión y operación elevando la eficacia y eficiencia de la empresa en términos generales sobre el proyecto, lo que sin embargo aporta positivamente a las exigencias del cliente por este nuevo contexto de Calidad en las edificaciones.

7.3. Recomendaciones en la Aplicabilidad de la Metodología Seis Sigma.

Seis Sigma es el significado de obtener cero defectos en los procesos, pero en los procesos de construcción y edificación existen variaciones en comparación a las especificaciones de los planos de diseño por lo tanto se considera tolerancias técnicas de construcción.

Al respecto, las encuestas y entrevistas confirman en un grado frecuente el registro de medidas tanto en los procesos de gestión como en los procesos constructivos por lo cual, se puede aplicar la metodología Seis Sigma capacitando a todas las áreas relacionadas a mejores prácticas para producir un mejor control de las variaciones y errores. Ya que se demuestra en la práctica que los defectos representan un aumento del 20 a 30% de los costos y de los plazos de entrega para finalizar el proyecto. Es por esto que Seis Sigma entrega una base de mejoras objetivas y orientadas a solucionar desde la raíz del problema hasta el producto final edificado. Es también un beneficio la existencia de mejora continua en muchas empresas constructoras pero varios profesionales desconocen la forma de su aplicación, es aquí donde hay una diferencia con la aplicación de Seis Sigma ya que es una metodología que incluye a todas las áreas y especialidades para orientarlas al objetivo de establecer hábitos de reducción de errores al nivel cero basado siempre en el trabajo en equipo y la capacitación.

Las recomendaciones para la aplicación de la metodología Seis Sigma en proyectos de edificación es principalmente establecer sistemas de registro de mediciones de errores en los cuales se considere el detalle del error, la cantidad de variación con respecto a lo que especifican los

planos y normas así también el costo estimado. También es necesario capacitar a profesionales de todas las especialidades en el proyecto respecto a la organización de un equipo Seis Sigma donde se deben dominar herramientas estadísticas y roles que favorecen a encontrar soluciones con el objetivo de alcanzar la máxima reducción de errores en base a buenas decisiones. Y finalmente controlar el rendimiento de manera de poder orientarlo a un nivel superior al tres sigma ya que en las áreas de construcción y gestión se puede alcanzar un nivel seis sigma en la medida que se puedan aplicar efectivamente el método DMAMC.

Capítulo 8 : Bibliografía

- Aplicación de la metodología DMAIC de Seis Sigma con simulación discreta y Tecnicas multicriterio. (2016). *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 18.
- Botero, Marcela; Arbeláez, Osiel. (2007). Método ANOVA utilizado para realizar el estudio de repetibilidad y reproducibilidad dentro del control de calidad de un sistema de medición. *Scientia et Technica, Universidad Tecnológica de Pereira*, 6.
- Cámara Chilena de la Construcción CCHC. (2018). *Manual de Tolerancias para Edificaciones 3ª Edición*. Santiago, Chile: Área de comunicaciones CDT.
- Estrada Carrasco, Elena. (2015). *Aplicación del Metodo Seis Sigma en un proceso de montaje de una estructura aeronáutica*. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla.
- García, Manuel. (2014). *Análisis de Aplicabilidad y Beneficio del Método de la Cadena Crítica (CCPM) en Proyectos de Ingeniería y Construcción*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Gutierrez Pulido, H., & De La Vara Salazar, R. (2013). Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma. En H. Gutierrez Pulido, & R. De La Vara Salazar, *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma* (pág. 490). México: McGraw-Hill.
- Herrera, T. F. (20 de 05 de 2011). *dialnet.unirioja.es*. Obtenido de dialnet.unirioja.es: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3874538>
- Jimenez Lara, Julian Alberto. (2005). *El Método Seis Sigma en la industria de la construcción para viviendas en serie*. México: Instituto Tecnológico de la Construcción.
- Jorge Alfredo Rojas Rondán. (23 de 12 de 2020). *academia.edu*. Obtenido de academia.edu: https://www.academia.edu/31578912/APLICACION_DE_SEIS_SIGMA_A_PROCESOS_DE_VIVIENDAS_DE_INTERES_SOCIAL
- M. Mellado. (2013). Hacia la Gestión de la Calidad en los Procesos Constructivos. *Revista Científico Tecnológico Departamento Ingeniería en Obras Civiles*, 2-8.
- Pande, P., Neuman, R., & Cavanagh, R. (2004). Las claves Prácticas de Seis Sigma. En P. Pande, R. Neuman, & R. Cavanagh, *Las claves Prácticas de Seis Sigma* (pág. 372). Madrid: McGraw-Hill.
- Pinochet, H. (2020). *Diplomado de Gestión de Operaciones Modulo Gestión de Calidad y Six Sigma*. Santiago: Escuela de Ingeniería UC.
- Polanco, Alejandro. (11 de junio de 2019). *u-cursos.cl*. Obtenido de u-cursos.cl: https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2019/1/CI5512/1/material_docente/detalle?id=2700490
- Valencia, C. M. (2000). La mejora continua en la gestión de calidad Seis Sigma, el camino para la excelencia. *Economía Industrial*, 8.
- Yepes Piqueras, Victor. (18 de Diciembre de 2014). *Universidad Politécnica de Valencia*. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/12/18/seis-sigma-gestion-construccion/>

Yepes, Victor; Pellicer, Eugenio. (18 de diciembre de 2014). *academia.edu*. Obtenido de academia .edu:
https://www.academia.edu/924523/APLICACION_DE_LA_METODOLOGIA_SEIS_SIGMA_EN_LA_MEJORA_DE_RESULTADOS_DE_LOS_PROYECTOS_DE_CONSTRUCCION