



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

T E S I S

**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA PARA REDUCIR LAS
NO CONFORMIDADES EN EL PROYECTO DE MEJORA TECNOLÓGICA
DE LA MINA CUAJONE, LICITADO POR LA EMPRESA MINERA
SOUTHERN PERÚ COPPER CORPORATION Y EJECUTADO
POR LA CONSTRUCTORA SKEx**

**PRESENTADA POR
BACHILLER DAVID VIDAL URIBE CECENARRO**

**ASESOR
MGR. ALBERTO CRISTÓBAL FLORES QUISPE**

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

MOQUEGUA – PERÚ

2019

CONTENIDO

	Pág.
PORTADA	
PÁGINA DE JURADO	i
AGRADECIMIENTOS	iii
CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xi
ÍNDICE DE APÉNDICES.....	xii
RESUMEN	xx
ABSTRACT.....	xxi
INTRODUCCIÓN	xxii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción de la realidad del problema.....	1
1.2 Definición del problema	3
1.2.1 Problema general.	3
1.2.2 Problemas específicos.....	4
1.3 Objetivos de la investigación	5
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.3.2 Objetivos específicos.	5
1.4 Justificación	6
1.5 Alcances y limitaciones	7
1.6 Variables	8

1.6.1 Operacionalización de variables	9
1.7 Hipótesis de la investigación	10
1.7.1 Hipótesis general.....	10
1.7.2 Hipótesis derivadas.....	10

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes	11
2.2 Bases teóricas.....	12
2.2.1 Concepto de calidad.....	12
2.2.2 Sistema de gestión de la calidad (SGC).....	13
2.2.3 Productividad.....	13
2.2.4. Productividad en los proyectos de ingeniería.	13
2.2.5 Mejora de la calidad, productividad y Six Sigma.....	14
2.2.6 Concepto de mejora de la calidad.....	16
2.2.7 Concepto de costo de calidad (COC).....	16
2.2.8 La organización por procesos.....	16
2.2.9 El ingeniero civil y la mejora de calidad.....	17
2.2.10 Planificación de obra y SS.....	19
2.2.11 Industria de la construcción y mejora de la calidad en el Perú.....	20
2.2.12 Concepto de SS.....	22
2.2.13 DMAIC.....	27
2.2.14 <i>Índices para medir capacidad en procesos.</i>	27
2.2.15 Gráficas de control.....	30
2.3 Definición de términos.....	37

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1 Tipo de la investigación.....	42
3.2 Diseño de la investigación	43
3.3 Población y muestra.....	44
3.4 Descripción de instrumentos para recolección de datos	44

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Presentación de resultados	47
4.1.1 La empresa contratista.	47
4.1.2 Aplicación de etapas SS.....	50
4.2 Contrastación de hipótesis	98
4.3. Discusión de resultados	101

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.....	108
5.2 Recomendaciones	111
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
APÉNDICES	119
MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	218
INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	219

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de variables	9
Tabla 2. Nivel sigma de una cola.....	26
Tabla 3. Porcentaje de calidad	26
Tabla 4. Estratificación del contratista	52
Tabla 5. Nueva estratificación	55
Tabla 6. Registro mensual de NOC y COC	57
Tabla 7. FMEA resumida mediante NOC y COC	62
Tabla 8. NOC de tipo OCONCRETO estratificadas por similitud.....	66
Tabla 9. NOC de tipo MOTIERRAS estratificadas por similitud	70
Tabla 10. NOC de tipo SUPOBRA estratificadas por similitud.....	73
Tabla 11. Métrica SS en fecha de primer corte.....	80
Tabla 12. Probables causas raíces de las NOC en el PMT	81
Tabla 13. Rho de Spearman y valor P	84
Tabla 14. IG del contratista.....	85
Tabla 15. Control de IG del contratista.....	86
Tabla 16. Métrica SS en fecha de segundo corte	89

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Productividad en proyectos de ingeniería	14
Figura 2. Mejora de la calidad según Deming	15
Figura 3. Inspección tradicional en obra.....	17
Figura 4. El ingeniero civil y mejora de calidad.....	18
Figura 5. Control de proyectos y calidad SS	19
Figura 6. Límites de control.....	23
Figura 7. Límites de especificación	24
Figura 8. Nivel SS desde el objetivo.....	24
Figura 9. Calidad 6 y 3 sigmas	25
Figura 10. Metodología DMAMC	27
Figura 11. Índices C y P.....	28
Figura 12. Índices de diseño y proceso	28
Figura 13. Variaciones de los procesos	29
Figura 14. Valores de capacidad.....	29
Figura 15. Acciones de mejora e índices de desempeño	30
Figura 16. Gráfica de valores I	31
Figura 17. Gráfica de rangos móviles.....	31
Figura 18. Gráfica PMPE.....	32
Figura 19. Gráfica C	33
Figura 20. Causa CEV01	33
Figura 21. Causa CEV02	34

Figura 22. Causa CEV03	34
Figura 23. Causa CEV04	35
Figura 24. Causa CEV05	35
Figura 25. Causa CEV06	35
Figura 26. Causa CEV07	36
Figura 27. Causa CEV08	36
Figura 28. Organización del contratista	47
Figura 29. Actividades por área	48
Figura 30. Organización documental en el PMT	49
Figura 31. PAR de primer nivel NOC	56
Figura 32. DISH del PMT	56
Figura 33. Comportamiento normal de NOC	59
Figura 34. DPAR en el COC	60
Figura 35. Comportamiento normal de COC	61
Figura 36. NOC y su relación con los clientes y procesos	63
Figura 37. Pasos realizados en la etapa medir SS	64
Figura 38. Pasos realizados en la etapa medir SS	65
Figura 39. DPAR según criterio NOC	67
Figura 40. DPAR según criterio COC	67
Figura 41. DISH para el proceso OCONCRETO	68
Figura 42. DISH para el proceso OCONCRETO	69
Figura 43. DISH para el proceso OCONCRETO	69
Figura 44. DPAR de NOC para el proceso MOTIERRAS	71
Figura 45. DPAR de COC para el proceso MOTIERRAS	71

Figura 46. DISH para el proceso MOTIERRAS	72
Figura 47. DPAR de NOC para el proceso SUPOBRA	74
Figura 48. DPAR de COC para el proceso SUPOBRA.....	74
Figura 49. DISH del proceso SUPOBRA.....	75
Figura 50. Gráfica C	76
Figura 51. Gráfica de valores individuales y rangos móviles.....	77
Figura 52. Diagrama de dispersión 01 de NOC y COC.....	78
Figura 53. Diagrama de dispersión 03 de NOC y COC.....	78
Figura 54. Coeficiente rho de Spearman	79
Figura 55. NOC y camionetas.....	82
Figura 56. NOC y coordinación.....	82
Figura 57. NOC y supervisores.....	83
Figura 58. Gráfica EWMA (PMPE)	87
Figura 59. Control de NOC mediante instructivos tipo poka yoke	91
Figura 60. Control de COC mediante indicadores.....	93
Figura 61. Control de NOC con enfoque SS	94
Figura 62. Enfoque del contratista basado en ISO 9001 y Six Sigma	96
Figura 63. Responsables de los procesos.....	97

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1 DPMO.....	23
Ecuación 2 Nivel sigma	25
Ecuación 3 PCA.....	92
Ecuación 4 Costo de calidad por mes.....	92
Ecuación 5 Costo de calidad por residente.....	92

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice A.	120
Apéndice B.	178
Apéndice C.	179
Apéndice D.	191
Apéndice E.	195
Apéndice F.	196
Apéndice G.	198
Apéndice H.	200
Apéndice I.	202
Apéndice J.	203
Apéndice K.	204
Apéndice L.	208
Apéndice M.	209
Tabla A1. COC 001SUPOBRA.....	119
Tabla A2. COC 002MOTIERRAS	120
Tabla A3. COC 003SUPOBRA.....	121
Tabla A4. COC 004SUPOBRA.....	122
Tabla A5. COC 005MOTIERRAS	123
Tabla A6. COC 006SUPOBRA.....	124
Tabla A7. COC 007MOTIERRAS	125
Tabla A8. COC 008SUPOBRA.....	126

Tabla A9. COC 009MOTIERRAS	127
Tabla A10. COC 010SUPOBRA.....	128
Tabla A11. COC 011SUPOBRA.....	129
Tabla A12. COC 012OCONCRETO.....	130
Tabla A13. COC 013SUPOBRA.....	131
Tabla A14. COC 014SUPOBRA.....	132
Tabla A15. COC 015SUPOBRA.....	133
Tabla A16. COC 016SUPOBRA.....	134
Tabla A17. COC 017SUPOBRA.....	135
Tabla A18. COC 018SUPOBRA.....	136
Tabla A19. COC 019OCONCRETO.....	137
Tabla A20. COC 020OCONCRETO.....	138
Tabla A21. COC 021MOTIERRAS	139
Tabla A22. COC 022SUPOBRA.....	140
Tabla A23. COC 023SUPOBRA.....	141
Tabla A24. COC 024MOTIERRAS	142
Tabla A25. COC 025SUPOBRA.....	143
Tabla A26. COC 026SUPOBRA.....	144
Tabla A27. COC 027SUPOBRA.....	145
Tabla A28. COC 028SUPOBRA.....	146
Tabla A29. COC 029SUPOBRA.....	147
Tabla A30. COC 030SUPOBRA.....	148
Tabla A31. COC 031SUPOBRA.....	149
Tabla A32. COC 032SUPOBRA.....	150

Tabla A33. COC 033OCONCRETO.....	151
Tabla A34. COC 034SUPOBRA.....	152
Tabla A35. COC 035OCONCRETO.....	153
Tabla A36. COC 036MOTIERRAS	154
Tabla A37. COC 037INSTACERO.....	155
Tabla A38. COC 038OCONCRETO.....	156
Tabla A39. COC 039INSTACERO.....	157
Tabla A40. COC 040INSTACERO.....	158
Tabla A41. COC 041INSTACERO.....	159
Tabla A42. COC 042DAÑOBRAS	160
Tabla A43. COC 043SUPOBRA.....	161
Tabla A44. COC 044OCONCRETO.....	162
Tabla A45. COC 045OCONCRETO.....	163
Tabla A46. COC 046INSTPANELES	164
Tabla A47. COC 047MOTIERRAS	165
Tabla A48. COC 048SUPOBRA.....	166
Tabla A49. COC 049SUPOBRA.....	167
Tabla A50. COC 050MOTIERRAS	168
Tabla A51. COC 051DAÑOBRAS	169
Tabla A52. COC 052INSTPANELES	170
Tabla A53. COC 053MOTIERRAS	171
Tabla A54. COC 054INSTPANELES	172
Tabla A55. COC 055DAÑOBRAS	173
Tabla A56. COC 056OCONCRETO.....	174

Tabla A57. COC 057DAÑOBRAS	175
Tabla A58. COC 058SUPOBRA.....	176
Tabla D1. Resumen de NOC 2015-I.....	190
Tabla D2. Resumen de NOC 2015-II	191
Tabla D3. Resumen de NOC 2016-I.....	192
Tabla D4. Resumen de NOC 2016-II	193
Tabla E1. Certificación ISO 9001 y versión de aprobación	195
Tabla F1. Años de experiencia y NOC por residente	195
Tabla G1. Datos para análisis de correlación	197
Tabla H1. Nivel sigma de obras de concreto en enero de 2016.....	199
Tabla H2. Nivel sigma de movimiento de tierras en enero de 2016.....	199
Tabla H3. Nivel sigma de obras de concreto en abril de 2016	200
Tabla I1. Pérdida de horas hombre a causa de no conformidades	201
Tabla K1. RPN del PMT.....	2004
Tabla K2. RPN del proceso OCONCRETO	2005
Tabla K3. RPN del proceso MOTIERRAS	2003
Tabla K4. RPN del proceso SUPOBRA	2007
Tabla M1. Límites de control para COC	200
Tabla M2. RPN para residentes	2004
Figura A1. NOC 001SUPOBRA	119
Figura A2. NOC 002MOTIERRAS.....	120
Figura A3. NOC 003SUPOBRA	121
Figura A4. NOC 004SUPOBRA	122

Figura A5. NOC 005MOTIERRAS.....	123
Figura A6. NOC 006SUPOBRA	124
Figura A7. NOC 007MOTIERRAS.....	125
Figura A8. NOC 008SUPOBRA	126
Figura A9. NOC 009MOTIERRAS.....	127
Figura A10. NOC 010SUPOBRA	128
Figura A11. NOC 011SUPOBRA	129
Figura A12. NOC 012OCONCRETO	130
Figura A13. NOC 013SUPOBRA	131
Figura A14. NOC 014SUPOBRA	132
Figura A15. NOC 015SUPOBRA	133
Figura A16. NOC 016SUPOBRA	134
Figura A17. NOC 017SUPOBRA	135
Figura A18. NOC 018SUPOBRA	136
Figura A19. NOC 019OCONCRETO	137
Figura A20. NOC 020OCONCRETO	138
Figura A21. NOC 021MOTIERRAS.....	139
Figura A22. NOC 022SUPOBRA	140
Figura A23. NOC 023SUPOBRA	141
Figura A24. NOC 024MOTIERRAS.....	142
Figura A25. NOC 025SUPOBRA	143
Figura A26. NOC 026SUPOBRA	144
Figura A27. NOC 027SUPOBRA	145
Figura A28. NOC 028SUPOBRA	146

Figura A29. NOC 029SUPOBRA	147
Figura A30. NOC 030SUPOBRA	148
Figura A31. NOC 031SUPOBRA	149
Figura A32. NOC 032SUPOBRA	150
Figura A33. NOC 033OCONCRETO	151
Figura A34. NOC 034SUPOBRA	152
Figura A35. NOC 035OCONCRETO	153
Figura A36. NOC 036MOTIERRAS.....	154
Figura A37. NOC 037INSTACERO	155
Figura A38. NOC 038OCONCRETO	156
Figura A39. NOC 039INSTACERO	157
Figura A40. NOC 040INSTACERO	158
Figura A41. NOC 041INSTACERO	159
Figura A42. NOC 042DAÑOBRAS.....	160
Figura A43. NOC 043SUPOBRA	161
Figura A44. NOC 044OCONCRETO	162
Figura A45. NOC 045OCONCRETO	163
Figura A46. NOC 046INSTPANELES	164
Figura A47. NOC 047MOTIERRAS.....	165
Figura A48. NOC 048SUPOBRA	166
Figura A49. NOC 049SUPOBRA	167
Figura A50. NOC 050MOTIERRAS.....	168
Figura A51. NOC 051DAÑOBRAS.....	169
Figura A52. NOC 052INSTPANELES	170

Figura A53. NOC 053MOTIERRAS.....	171
Figura A54. NOC 054INSTPANELES	172
Figura A55. NOC 055DAÑOBRAS.....	173
Figura A56. NOC 056OCONCRETO	174
Figura A57. NOC 057DAÑOBRAS.....	175
Figura A58. NOC 058SUPOBRA	176
Figura B1. Esquema general del proyecto.	177
Figura C1. Cuestionario a personal del contratista 01	178
Figura C2. Cuestionario a personal de contratista 02	179
Figura C3. Cuestionario a personal del contratista 03	180
Figura C4. Cuestionario a personal del contratista 04	181
Figura C5. Cuestionario a personal del contratista 05	182
Figura C6. Cuestionario a personal del contratista 06.....	183
Figura C7. Cuestionario a personal del contratista 07	184
Figura C8. Cuestionario a personal del contratista 08.....	185
Figura C9. Cuestionario a personal del contratista 09	186
Figura C10. Cuestionario a personal del contratista 10	187
Figura C11. Cuestionario a personal del contratista 11	188
Figura C12. Cuestionario a personal del contratista 12	189
Figura F1. Coeficiente de correlación de Spearman.....	196
Figura G1. Coeficiente de correlación de Spearman de costo y número.....	198
Figura J1. Plantilla de aplicación para la reducción de NOC	202
Figura L1. Instructivo tipo poka yoke	202
Figura M1. Diagrama de caja de costo de calidad	202

Figura M2. Gráfica I de COC con valores atípicos fuera de los límites.....	202
Figura M3. Gráfica I de estabilidad estadística de COC	202
Figura M4. Probabilidad normal de COC con datos excluidos	202
Figura M5. Gráfica de capacidad.....	202
Figura M6. NOC de residentes	202
Figura M7. COC de residentes	202
Figura M8. Gráfica individual en COC de residente 1	202
Figura M9. COC en diagrama de puntos de residente 1	202
Figura M10. Normalidad de COC de residente 1	202
Figura M11. Gráfica I en COC para residente 1	202
Figura M12. Gráfica de COC de residente 1 con especificaciones del cliente.....	202
Figura M13. Normalidad NOC de residente 1	202
Figura M14. Normalidad en COC de residente 1	202
Figura M15. Correlación de NOC y COC para residente 1	202

RESUMEN

La mejora de la calidad implica una mejora de la productividad. En ese contexto, la aplicación de la metodología *Six Sigma* (SS) mejora ambas. En consecuencia, en esta investigación SS se aplicó para analizar las no conformidades (NOC) o errores o defectos generados en el proyecto mejora tecnológica en la mina Cuajone (PMT) y para encontrar mejoras de calidad y productividad a través de la reducción de NOC. Asimismo, se utilizó la métrica SS para medir el desempeño de calidad de los procesos. En consecuencia, se realizó una comparación entre estos valores en dos periodos del proyecto. Los resultados evidenciaron importantes diferencias entre estos dos periodos. La mejora alcanzada en la métrica SS, durante el segundo período, se analizó estadísticamente para proveer de mejoras con un nivel de confianza razonable. Por otro lado, las pruebas estadísticas indicaron una muy baja correlación entre el número de NOC y el costo de la no calidad (COC) por lo que se hace necesario controlar las NOC en términos de costo. Asimismo, los índices de calidad advirtieron de una elevada variación de COC. Por último, esta investigación presenta procedimientos para la mejora y control que la empresa constructora debe implementar para administrar las NOC y alcanzar mejoras sistemáticas.

Palabras clave: procesos, no conformidad, calidad, costo de calidad, productividad.

ABSTRACT

Improvement of quality implies an improvement of productivity. In this context, the application of Six Sigma methodology (SS) improves the both of them. Then, in this research SS has been applied to analyze non-conformances (NOC) or errors and defects generated in the technological improvement project in Cuajone's mine (PMT) and to find quality and productivity improvements through reduction of NOC. Moreover, SS metric has been used to measure the quality performance of the process. Then, a comparison was performed between these values in two periods of the project. The outcomes evinced important differences between these two periods. The improvement reached in SS metric, during the second period, was analyzed statistically to provide improvements with a reasonable confidence level. On the other side, statistical analysis indicates a very low correlation between the number of NOC and the cost of quality (COC), therefore it is necessary to control NOC in terms of cost. Besides, the quality indexes showed a high variation of COC. Finally, this research presents procedures of improvement and control that the building company must include to manage NOC and to achieve systematic improvements.

Keywords: process, non-conformance, quality, cost of quality, productivity.

INTRODUCCIÓN

Esta investigación tiene como objetivo mejorar la calidad en la etapa de construcción del PMT, pues un excesivo número y costo de errores constructivos ha impactado negativamente a la empresa contratista.

En esta perspectiva, según Gryna, Chua y Defeo (2007), el incremento de la calidad está íntimamente relacionado a un incremento de productividad, en consecuencia, debe inferirse a una mejora de la competitividad. En esta línea de análisis, se puede mejorar la calidad mediante la disminución del número de NOC, en este contexto, el doctor Deming explica que la mejora de calidad genera “disminución en los costos, menos errores, reducción del número de retrasos” (Summers, 2006, p. 18). En consecuencia, resulta importante impulsar mejoras de calidad en las empresas, pues el resultado será un incremento en su competitividad, por ende, un mejor desempeño que secunde su permanencia en el mercado.

La historia da cuenta que fue en oriente durante los años cincuenta, después de la segunda guerra mundial, Japón, uno de los países perdedores y con una economía deteriorada, requería reinventarse y lo hizo a partir de una política sostenida de mejora de su competitividad a partir de una mejora de la calidad. Los resultados fueron ostensibles décadas más tarde cuando sus productos ingresaban al mercado occidental y se posicionaban como productos con altos estándares de calidad a precios competitivos. Los Estados Unidos de América sintieron el impacto y reaccionaron hacia fines de los años ochenta mediante la implementación de programas de calidad. Desde entonces, muchos otros países, han asumido la responsabilidad de promover la competitividad mediante políticas de calidad.

A nivel nacional, empresas privadas e instituciones públicas no han desarrollado enfoques de mejora de la calidad fundados en productividad, los cuales generan mayor competitividad como Six Sigma, Lean o Malcolm Baldrige. Por el contrario, en la industria de la construcción como en muchas otras, no se diferencia entre los términos calidad y mejora de la calidad y certificación ISO 9001. Y, se cree erróneamente que esta última, la certificación, es el máximo logro a nivel de calidad. Sin embargo, como lo explican Hope y Player (2016) es un paso inicial, pues como se explicará durante la investigación, ISO 9001, no están enfocada a la mejora de calidad que genera productividad y competitividad, sino, es una organización documental que genera mejoras de calidad en torno a este ordenamiento y este es su límite en la actualidad.

En este contexto, en lo concerniente al presente trabajo, el contratista basó su aseguramiento de calidad en las normas ISO 9001, no ha podido evadir una importante presencia de NOC durante la ejecución del PMT. Asimismo, no indaga en el COC generado. Es decir, no existe un entendimiento claro de la importancia de mejorar su competitividad a través de un enfoque de calidad sustentado en productividad.

De ese modo, la alternativa de aplicación de la metodología SS, planteado en este estudio, se orienta a mejorar la calidad mediante la disminución de errores y se enfoca en los resultados para cliente externo e interno, hechos favorables para la salud financiera de una empresa de servicios de construcción como la presentada en esta investigación.

Finalmente, en este estudio se aplican las herramientas SS para mejorar la calidad en el PMT y en modo general la calidad de la empresa contratista. Con este objeto, se indagó en NOC y COC del PMT mediante pruebas de normalidad, estadísticos de correlación, diagramas de dispersión, gráficas de control, índices de

capacidad y niveles de desempeño DPMO entre otros, de modo que se pudo determinar los elementos estadísticamente significativos de mejora para la reducción de NOC; y en esa perspectiva mejorar la calidad desde el punto de vista de la productividad que conduce a una mejora de competitividad a la empresa contratista en la industria de la construcción.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción de la realidad del problema

En 2015, se desarrolló el PMT para mejorar la productividad de la mina Cuajone, y consiste en la construcción e instalación de una faja transportadora mediante el cual los productos minerales serán trasladados desde el tajo hasta la chancadora primaria.

Para llevar a cabo el proyecto, Southern Copper Corporation (SCC) contrató los servicios de M3, empresa encargada de la supervisión de la construcción del PMT y de SKEx, en adelante denominado como: el contratista, empresa especializada en diversos rubros de construcción minera, mediante licitación que especifica actividades de movimiento de tierras y obras civiles en el PMT para el sistema de transporte de mineral hacia la concentradora ubicada en las instalaciones de la mina de Cuajone

El contrato firmado entre SCC (el cliente) y el contratista tiene la modalidad de suma alzada para los gastos generales o costo indirecto y precios unitarios para el costo directo. Este modo de contratación resulta poco atractivo para el contratista, pues el incremento de metrado en consecuencia extensión del plazo de ejecución

provocará un aumento en el costo indirecto, el cual correrá por cuenta del contratista. Por otro lado, el plazo de ejecución es de nueve meses y para el control de proyectos el cliente solicitó la implementación del programa computacional Primavera P6. Asimismo, un plan de calidad que señale el modo de gestión de NOC hasta su cierre acordado con M3.

Por su parte, el contratista desarrolló lo solicitado, sin embargo, presentó deficiencias en su funcionamiento. Por ejemplo, la administración de NOC que tiene tres etapas, la de control, en la que se clasifica, registra y aplica la medida correctiva, la segunda, de seguimiento, en la se supervisa la ejecución de la medida correctiva, y la tercera, de cierre, en la que se registra y se da por concluido la NOC; pues, en este punto, un porcentaje significativo de medidas correctivas, así como de registros de cierre tenían más de 30 días de retraso.

Por otra parte, la cantidad de NOC se incrementó significativamente del mismo modo el COC, por lo que, en la empresa los primeros meses de 2016 se realizaron cambios de diversa índole para superar las deficiencias que estaban perjudicando financieramente al contratista. Es preciso recordar que el costo indirecto del proyecto se realizó a suma alzada, de modo que, los retrasos generados a partir de estos retrasos también los asumiría el contratista. En este contexto, resulta evidente que los plazos contractuales de construcción del PMT no fueron cumplidos por el contratista.

En suma, el estudio de esta experiencia resulta enriquecedora para observar y cuestionar los hechos alrededor de la administración de las NOC y los COC, de modo que se obtengan conclusiones que permitan mejorar el desempeño en la construcción del PMT y obras similares del contratista.

1.2 Definición del problema

1.2.1 Problema general.

En la etapa de construcción del PMT el contratista implementó de acuerdo a lo requerido contractualmente sistema de gestión de calidad desarrollado a partir de un plan de calidad en el que se especificaba entre otras actividades, la administración de NOC desde su registro hasta su cierre.

En ese contexto, el contratista registró un número significativo de NOC, el cual presenta también un significativo COC que afectó económicamente al contratista. Por otro lado, entendiendo que las reparaciones, demoliciones o reconstrucciones generan retrasos y debido al contrato de tipo suma alzada para el costo indirecto, se añade el sobrecosto de gastos generales asumidos por el contratista; y, finalmente, los sobrecostos que el contratista tenga que asumir por incumplimiento de los plazos contractuales.

En consecuencia, se requiere disminuir las NOC y, de ese modo, reducir el COC, el costo de gastos generales adicionales y el costo de incumplimiento de los plazos contractuales no justificados debidamente.

Por lo cual, SS, como un modelo validado y metodología de mejora de calidad, enfocada a la reducción de NOC desde una postura de productividad y competitividad, a través del uso de herramientas de análisis estadístico y cinco etapas de estudio, se plantea como cuestión fundamental de investigación, la siguiente:

“Reducir las NOC durante la ejecución del PMT de la mina Cuajone a través de la metodología SS”.

1.2.2 Problemas específicos.

La aplicación de la metodología SS para la mejora de la calidad, que debe impulsar la reducción de NOC a través de una menor variación en los procesos, mayor eficiencia en el tiempo de ciclo del proceso, en un marco de las prioridades del cliente, en el sector construcción resulta poco generalizado por la poca difusión de sus herramientas o metodología, por otro lado, puede tener cierta resistencia debido a que en América Latina aún se entiende erróneamente que las normas ISO 9001 son el eje principal de la calidad.

En consecuencia, este trabajo de investigación presenta una modalidad de aplicación durante los proyectos de construcción, dentro de un sistema de gestión de calidad, de ese modo, SS como metodología validada presenta cinco etapas de desarrollo según las cuales se deben plantear las preguntas derivadas. En consecuencia, a raíz del problema general se genera los siguientes problemas derivados:

¿Cómo definir los procesos durante la ejecución del PMT a través de SS para reducir las NOC?

¿Cómo mensurar los procesos durante la ejecución del PMT a través de SS con un enfoque de reducción de NOC?

¿Cómo analizar los procesos durante la ejecución del PMT mediante el enfoque SS de reducción de NOC?

¿Qué mejoras se debe implementar en el PMT para reducir las NOC según el análisis SS?

¿Qué medios de control se deben implementar para sostener la mejora de reducción de NOC según el análisis SS?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general.

Aplicar la metodología Six Sigma para reducir las no conformidades en el PMT ubicado en la mina de Cuajone.

1.3.2 Objetivos específicos.

Deben fundarse en las cinco etapas de investigación comprendidas en SS como patrón validado. Que según Gutiérrez (2005) consiste en: la definición de los principales procesos a investigarse, mensurarlos mediante las herramientas del método, del mismo modo analizarlos y, según el alcance de este estudio, formular mejoras de calidad y control. De ese modo, se presentan los siguientes:

Definir los principales procesos durante la ejecución del PMT mediante SS.

Mensurar los procesos durante la ejecución del PMT a través de SS.

Analizar los procesos durante la ejecución del PMT a través de SS.

Formular mejoras de calidad en la construcción del PMT para reducir NOC a través de SS.

Formular mecanismos de control en la construcción del PMT para mantener las mejoras formuladas a través de la metodología SS.

1.4 Justificación

Según el índice de competitividad global del World Economic Forum (2017) que evalúa los principales factores de productividad y desarrollo económico de un país, ubica al Perú en el puesto 72 de un total de 137 países en el mundo. Entre los detalles de este reporte se reconoce que la innovación y sofisticación en los negocios están entre las principales debilidades del país, del mismo modo, los servicios de infraestructura.

El gobierno peruano, consciente de este problema está impulsando una serie de políticas que mejoren la productividad y competitividad del país. De ese modo, en primera instancia, tiene como parte de su visión “alta productividad en el trabajo” (Centro Nacional de Planeamiento Estratégico [CEPLAN], 2011, p. 10). En este contexto, el CEPLAN (2011) indica que tiene como uno de sus principales factores motores que la empresa privada, universidad y Estado encuentren un punto de convergencia para impulsar la productividad y competitividad.

Asimismo, el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (2016) considera que uno de los principales desafíos está en la competitividad para producir mejores productos y servicios.

Desde esta perspectiva, el presente estudio pretende aportar a la competitividad y productividad de las empresas del sector construcción mediante la mejora de la calidad.

En consecuencia, la presente investigación se justifica, en primera instancia, por el aporte metodológico de SS, para mejorar la calidad durante la ejecución del PMT, por lo cual, el contratista podrá implementar las mejoras formuladas en el estudio para reducir sus NOC en obra.

En segundo lugar, quedará registro de la utilización de la metodología para nuevos proyectos que la empresa emprenda en un rubro similar. Por otro lado, la presente investigación es importante por la aplicación de la metodología SS al rubro de la construcción nacional. Pues, comúnmente, en el país las empresas constructoras no implementan programas de mejora de calidad como SS, enfocadas en la productividad y competitividad, sino, sistemas de gestión de calidad basados ISO 9001, cuyas mejoras se despliegan alrededor de una estructura documental. Y, como lo confirman Evans y Lindsay (2008), las normas ISO configuran un marco adecuado y oportuno de inicio hacia la calidad, a diferencia de SS, enfocada en disminuir defectos.

Finalmente, existe una motivación de responsabilidad social del autor de este estudio hacia la sociedad para dilucidar la confusión que existe en torno a los conceptos y la praxis de la mejora de la calidad relacionada intrínsecamente con la productividad y la competitividad. Asimismo, se pretende dar a conocer a las organizaciones nacionales de la industria de la construcción, las múltiples ventajas que pueden obtenerse al impulsar la mejora de la calidad con SS.

1.5 Alcances y limitaciones

En términos generales, por un lado, la investigación es tipo descriptiva y explicativa a causa de las limitaciones de aplicación en el PMT, primero, presupuestales, pues la implementación de mejoras de calidad requiere de recursos humanos específicos, materiales y equipamiento; segundo, organizacionales, debido a que los cambios requieren permisos de los socios accionistas cuyo interés principal está en obtener rentabilidad de corto plazo con sus medios tradicionales de ejecución de obras.

En consecuencia, la aplicación SS en el PMT, para las tres primeras etapas de definición, medición y análisis se orienta a una aplicación a posteriori, de modo que se indaga en fuentes documentales de NOC, junto a visitas y entrevistas al personal de obra, coordinaciones de trabajo con la jefatura de calidad para reconstruir y corroborar los escenarios cuantitativa y cualitativamente, y a partir de estos datos corroborados estructurar los procesos, medirlos y analizarlos.

A diferencia de las tres etapas anteriores, en los que es posible aplicar SS como se explicó en el párrafo anterior, las siguientes dos, se desarrollan de nivel de formulación, por un lado, la mejora de los procesos y, por otro, el control. Sin embargo, el nivel de formulación es perfectamente válido dado que el nivel de análisis de las tres etapas anteriores tiene un rigor estadísticamente metodológico que reduce significativamente el nivel de incertidumbre de las causas raíces de las NOC de modo que las formulaciones sin duda generarán efectos positivos. En este mismo aspecto, como lo explican Hope y Player (2016) la aplicación de estas dos etapas, o en general SS, en muchos casos ofrece resultados a mediano y largo plazo y es un proceso de mejora en los que varias soluciones formuladas son perfectibles. Además, mediante la aplicación de SS en el PMT, también se pretende mostrar las herramientas y perspectivas de mejora con que debe iniciar un programa de más largo plazo, de mejora continua de la calidad basada en un enfoque SS que brinde como beneficio intrínseco un incremento en la productividad y competitividad.

1.6 Variables

En el diseño de la investigación de tipo no experimental, según Hernández, Fernández y Baptista (2014), las variables no se manipulan con deliberación del

Investigador, se dilucida el modo de operar las variables de esta investigación, cuyo alcance es de carácter descriptivo y explicativo. En este aspecto, las variables de investigación no siguen el orden tradicional de variables independientes y dependientes, pues los hechos ya se desarrollaron, y se trata de describirlos y explicarlos, este contexto de análisis las variables de esta investigación son dos, Six Sigma y la no conformidad, las cuales, en el siguiente ítem se proceden a detallar.

1.6.1 Operacionalización de variables

Consecutivamente, a la descripción de las variables, desde la perspectiva no experimental, descriptiva y explicativa, las variables del presente estudio se operarán del siguiente modo:

Tabla 1

Operacionalización de variables

Abreviatura	Variables de estudio	Definición operacional	Indicadores del estudio
NOC	No conformidad	Incumplimiento de un requisito predefinido por el cliente que se agrupa y cuantifica mediante distintos criterios de clasificación.	Estratificación Análisis de Pareto 80 - 20 Costo de calidad (COC) Número posibilidad de riesgo (RPN)
SS	Six Sigma	Nivel de desempeño de los procesos que mediante cinco etapas de mejora de calidad reduce las no conformidades.	Cálculo DPMO en procesos Cálculo nivel sigma en procesos

Fuente: Elaboración propia

Nota: En el marco teórico se presentan definiciones conceptuales de estas variables.

1.7 Hipótesis de la investigación

1.7.1 Hipótesis general.

El estándar de calidad en la construcción del PMT de la mina Cuajone no satisface los criterios de calidad Six Sigma para la reducción de NOC.

1.7.2 Hipótesis derivadas.

La definición de NOC durante la ejecución del PMT no satisface los estándares de calidad SS.

El número de NOC durante la ejecución del PMT no satisface los estándares de calidad SS.

La reducción de NOC durante la ejecución del PMT no satisface los estándares de calidad SS.

Los mecanismos de mejora de la calidad durante la ejecución del PMT para reducir NOC no cumplen en el estándar de calidad SS.

Los mecanismos de control existentes durante la ejecución del PMT para la reducción de NOC no cumplen los estándares de calidad SS.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

El estudio de la Universidad Politécnica de Valencia “*Implementación de la filosofía Six Sigma en la construcción*” realizado por Almudéver (2014), a nivel de maestría, presenta lineamientos teóricos de una eventual aplicación de esta metodología al sector construcción. De ese modo, su análisis se restringe a la validez y utilidad teóricas de esta metodología.

Del mismo modo, una investigación de la misma universidad “*Aplicación de la metodología Six Sigma en la mejora de resultados de los proyectos de construcción*” realizada por Yepes y Pellicer (2005), también propone el uso de esta metodología al sector construcción con el objetivo de disminuir errores y costo de calidad.

No obstante, su nivel no experimental, estos estudios constituyen un precedente de la validez teórica de esta metodología en el sector construcción. El presente trabajo explora la aplicación de la metodología SS en el PMT, para extraer conclusiones que aporten a la comprensión y mejora de calidad mediante esta metodología. De modo que, se logren avances y mejoras significativas en el ámbito de la calidad en la construcción del país.

2.2 Bases teóricas

El presente trabajo a continuación presenta las bases teóricas que subyacen y fundamentan las variables del presente estudio: NOC y SS. Por un lado, la primera representa el incumplimiento de un requisito. Por otro, SS que mide el desempeño de los procesos y permite formular mejoras sistemáticas. Debe advertirse que, aunque la naturaleza de la investigación es descriptiva y explicativa el análisis de los datos reproduce la aplicación de la metodología SS a posteriori. Además, permite explicar las causas y a partir de estos hallazgos establecer mejoras sistemáticas.

Por otro lado, ambas variables se encuentran en el ámbito de la calidad. Por lo tanto, es necesario partir teóricamente de este fundamento.

Sin embargo, aunque SS está inmerso en el campo de la calidad, su enfoque y filosofía se arraigan principalmente en la mejora de la calidad que es una etapa más proactiva y ulterior, cuyo foco se orienta a reducir los errores, que en el presente estudio se denominan NOC.

De modo que, se parte de las bases teóricas generales hasta las más específicas, es decir, aquellas relacionadas a la industria de la construcción. Así, se inicia una la revisión de la bibliográfica más reciente del tema con el objeto de establecer una base conceptual.

2.2.1 Concepto de calidad.

En el presente estudio se entiende como el “grado en el que un conjunto de características inherentes de un objeto cumple con los requisitos” (ISO, 2015, p. 25), acepción enfocada al cumplimiento de especificaciones previamente establecidas. Por otro lado, debe diferenciarse entre calidad y mejora de la calidad.

2.2.2 Sistema de gestión de la calidad (SGC).

Es el “conjunto de elementos de una organización interrelacionados o que interactúan para establecer políticas, objetivos y procesos para lograr estos objetivos” (ISO, 2015) relacionados a la calidad.

2.2.3 Productividad.

El concepto general de productividad se origina en la economía y “mide la proporción entre la producción total y el promedio ponderado de los insumos” (Samuelson y Nordhaus, 2010, p. 113). La variante referida a los factores (mano de obra, insumos y maquinaria o equipo), es aquella que mide “la cantidad de producción creada por unidad de insumo empleada” (Daniels, Radebaugh, y Sullivan, 2010, p. 160).

2.2.4. Productividad en los proyectos de ingeniería.

El concepto de productividad en la industria de la construcción según Serpell (2002), con base en el cumplimiento de dos elementos preestablecidos, el plazo de ejecución y un estándar de calidad, se debe entender como la medida de la eficiencia con que se administran recursos con el objeto de culminar un proyecto.

Este concepto conduce a inferir que fuera del cumplimiento de un estándar de calidad y plazo de ejecución, la medida de la eficiencia sería deficiente. En consecuencia, se debe asegurar el cumplimiento de estos dos elementos. De ese modo, este estudio parte de la premisa que el estándar de calidad ofrecido por el contratista no genera las condiciones adecuadas para completar eficientemente el proyecto. Asimismo, en un sentido más amplio, las normas ISO, se malentienden

como una base para cumplir el estándar de calidad en los proyectos de construcción.

Por otro lado, la productividad en el ámbito de calidad podría la podríamos subdividir desde tres perspectivas como se precisa en la figura 1.

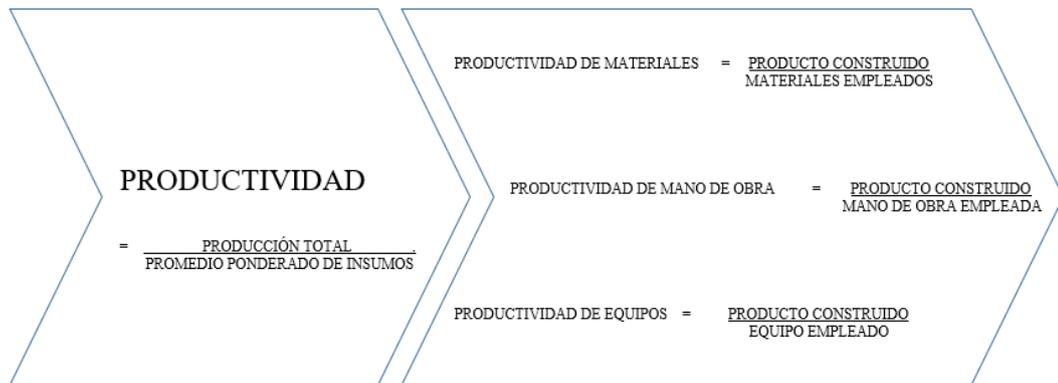


Figura 1. Productividad en proyectos de ingeniería

Fuente: Elaboración propia

2.2.5 Mejora de la calidad, productividad y Six Sigma.

Calidad y la productividad son indicadores de un hecho en un momento específico. Por consiguiente, desde el punto de vista ISO 9001, instalar un SGC en una organización no representa sino la capacidad documental y organizacional de medir estos indicadores. Ahora, desde la perspectiva de este estudio, esta capacidad de medir tiene elementos de mejora que se concentran en dos aspectos, medidas correctivas y preventivas (elementos aproximados a SS), sin embargo, ambos concluyen en el cierre. Es decir, si bien el estándar de calidad lo define el cliente, los estándares de calidad de NOC en los contratistas consiste en dar por superado el incidente de no calidad, es decir su cierre.

Un contexto diferente, es el brindado por SS que, se arraiga en la mejora de la calidad que implica una mejora de la productividad y cuya mejora no culmina en

el cierre de NOC, sino en el esfuerzo organizacional continuo para mantener una desviación de los procesos de producción aceptable de 3,4 NOC por millón de oportunidades o 6σ , como se precisará más adelante.

Así, la mejora de la calidad, entendida en este estudio, se distancia del término calidad, o calidad ISO 9001, pues requiere un esfuerzo organizacional para mejorar y no para dar por superado las NOC. Por consiguiente, este esfuerzo y búsqueda por mejorar la calidad desencadena en múltiples beneficios empresariales entre los cuales se cuenta a la productividad, ver figura 2.

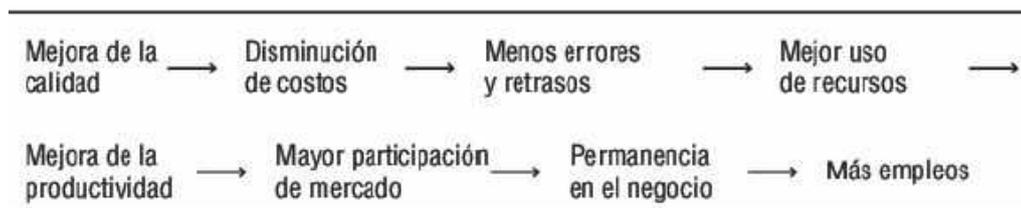


Figura 2. Mejora de la calidad según Deming

Fuente: Summers, 2006

Por lo expuesto, este estudio plantea que las organizaciones de la industria de la construcción implementen un sistema de calidad (basado en SS), cuyo fundamento está en la productividad. La certificación ISO 9001 marca el inicio de la implementación de un sistema de gestión de la calidad. Pero, este inicio debe complementarse con enfoques de mejora de calidad que conduzcan a un incremento de la productividad como Lean, SS u otros con enfoque similar.

En suma, un sistema de gestión de calidad de un proyecto debe producir mejoras significativas y continuas en la productividad, lo que a su vez directamente eleva la competitividad.

2.2.6 Concepto de mejora de la calidad.

En vista que, la literatura existente consultada durante el período de investigación utiliza el término mejora de la calidad, como un accidente, mas no la conceptualiza. O, por otro lado, la trata como mejora continua cuya acepción no es pertinente ni apropiada. En esta investigación se considera de suma importancia cubrir este vacío con el que se espera dilucidar la diferencia entre calidad, calidad ISO 9001, y mejora de la calidad, pues este vacío ha desencadena múltiples problemas de aplicación, por consiguiente, a continuación, se conceptualiza la mejora de calidad de modo general y específico, de la siguiente manera:

a. Concepto de mejora de la calidad

Es aquella que produce una mejora en la productividad.

b. Concepto de mejora de la calidad en la construcción

Es el tipo de mejora que produce una mejora en la productividad durante la ejecución de un proyecto de construcción.

2.2.7 Concepto de costo de calidad (COC).

Según Summers (2006), también, se le conoce como costo de la no calidad y consiste en los costos generados a partir del incumplimiento de un requisito requerido por el cliente, sea producto o servicio. Asimismo, en este estudio, se considera como COC aquellos de naturaleza directa e indirecta.

2.2.8 La organización por procesos.

Muchas organizaciones, o las más de ellas, están estructuradas por funciones, de modo que, esta estructura organizacional “reúne, en un departamento, a todos los

que se dedican a una actividad o varias relacionadas, que se llaman funciones”, además, presentan un funcionamiento vertical y cumplen objetivos departamentales.

Por otro lado, las organizaciones estructuradas por procesos tienen una perspectiva más horizontal, según Gryna et al. (2007). Es decir, en este tipo de organización según Summers (2006) aquellas barreras que se generan entre departamentos de en una estructura funcional desaparecen, y se privilegia el proceso. De modo que, el tiempo de ciclo se reduce, configurando un sistema más eficiente. Los objetivos y metas departamentales se diluyen y en su lugar se erigen los objetivos y metas que privilegian la producción.

2.2.9 El ingeniero civil y la mejora de calidad.

Tradicionalmente en el sector construcción el control de calidad se ha realizado mediante la inspección final, como se observa en la figura 3.

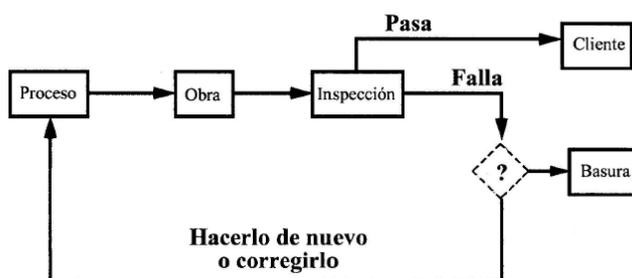


Figura 3. Inspección tradicional en obra

Fuente: Serpell, 2002

En este circuito, el ingeniero civil ocupa el rol de residente o supervisor de calidad, también, es posible ubicar ingenieros civiles en la dirección de empresas de construcción, configurándose en cada caso, en responsables de los procesos.

Así, actualmente, el ingeniero civil en el rol de residente de obra, se desempeña como un gerente de operaciones, pues, es el “responsable de la producción de los bienes o servicios de una organización” (Serpell, 2002, p. 23). En consecuencia, no tiene la responsabilidad únicamente de cumplir las metas del proyecto en el plazo establecido y cerrar las no conformidades de acuerdo al estándar requerido por el cliente. Sino, además, en la práctica, es el responsable de incrementar la productividad y, en última instancia, en la competitividad de la organización como se aprecia en la figura 4.

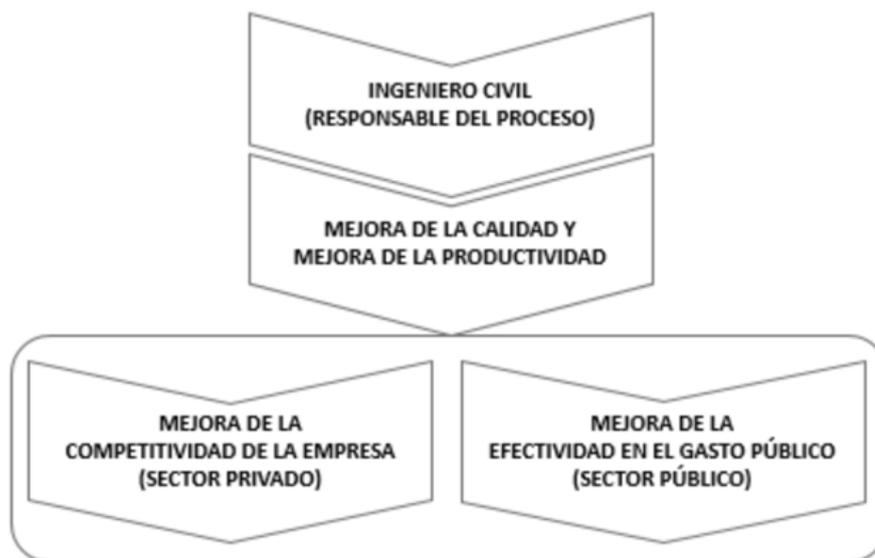


Figura 4. El ingeniero civil y mejora de calidad

Fuente: Elaboración propia

Consecuentemente, debe entenderse que el rol actual del ingeniero civil tiene injerencia en la mejora de la calidad y productividad que desencadenan en la competitividad de las empresas constructoras para el sector privado, y en la efectividad en el gasto público para el sector estatal, ver figura 5.

2.2.10 Planificación de obra y SS.

“Es el conjunto de decisiones que toma la dirección del proyecto para elegir la mejor manera de realizar el proyecto” (Huerta, 2017, p. 32) cuyas herramientas clásicas a PERT, GANTT, CPM, diagrama de redes y programas computacionales como Ms Project o Primavera pierden vigencia en un contexto de baja calidad pues los errores o NOC generan reparaciones, demoliciones, reconstrucciones entre otros. En suma, el control de proyectos así como sus herramientas tienen como criterios de validez: la calidad y la productividad, son directamente proporcionales. Y, en tanto no se genere un ambiente de mejora de calidad como SS que conduce a la reducción de NOC y a la mejora de la productividad, el control de proyectos perderá funcionalidad. Por tanto, debe inferirse que dos de los pilares para el control de proyectos son los observados en la figura 5.

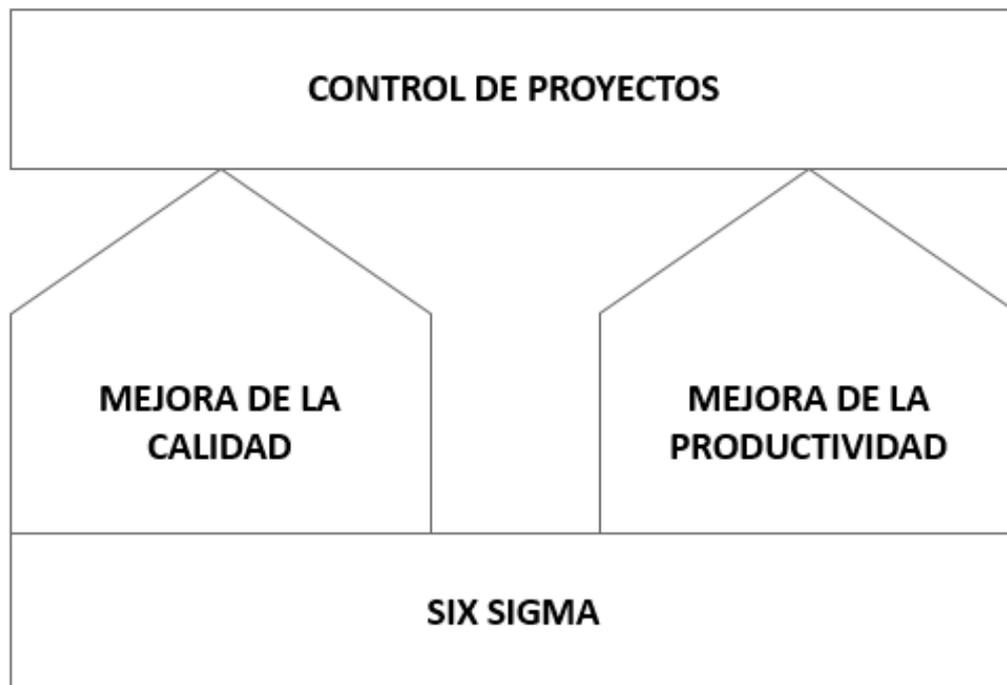


Figura 5. Control de proyectos y calidad SS

Fuente: Elaboración propia

2.2.11 Industria de la construcción y mejora de la calidad en el Perú.

2.2.11.1 Mejora de la calidad en el sector privado

En el Perú, empresas constructoras más importantes han logrado la certificación ISO 9001. Sin embargo, de lo tratado en este estudio se infiere que la certificación no asegura un alto estándar de calidad, pues estas normas brindan una base documental y organizacional que describe el nivel de calidad alcanzado en un momento específico. Pero, no se orienta a elevar la productividad o competitividad.

En consecuencia, debe advertirse el riesgo al que estas empresas están expuestas, en el mediano o largo plazo, si no migran de sus enfoques de calidad documentales a otros basados en productividad y competitividad. O en su defecto, evolucionen con retraso frente a otras empresas y tengan pérdidas por esta causa y finalmente sean reemplazadas por otras más competitivas. En el apéndice E se muestra una relación de las principales constructoras del país con certificación ISO 9001 y su versión de aprobación.

2.2.11.2 Mejora de la calidad en el sector público.

La norma GE.030, denominada calidad en la construcción está contenida en el reglamento rector del ámbito de la construcción del país: RNE. Asimismo, se han formulado las normas NTP ISO 9001-2000, cuyo precedente y fundamento son las normas ISO. Este hecho evidencia el arribo de los SGC al sector público. Por otra parte, entre los entes gubernamentales, a nivel nacional o local, son pocos los organismos que han elaborado un SGC y optado por una certificación, aunque cada vez son más. Por otro lado, esta perspectiva de la calidad es un marco documentario inicial en torno a la calidad, sobre el que debe implementarse la mejora de calidad, fundada en la productividad.

2.2.11.3 Mejora documental y mejora de calidad en el país.

Como se vio en los ítems anteriores, en el país, tanto el escenario público como el privado están gobernados por las normas ISO 9000. Y, estas normas según Krajewski et al. (2008), son instrucciones para conformar un sistema específicamente documental cuya certificación de calidad brinda información de los procesos de una organización pero no garantiza el cumplimiento de los requisitos del cliente interno o externo.

La mejora documental que surge de las normas ISO se produce a raíz del ordenamiento documentario. Que, a la vez, incrementa la productividad por una mejor disposición y control documental. Es decir, este tipo de mejora documental, mejora la calidad tangencialmente. Pero, la mejora documental según Evans y Lindsay (2008) resulta útil como base para iniciar mejoras de calidad.

Por otro lado, la mejora de calidad *per se*, es directamente proporcional a la productividad, en este sentido, SS, como modelo de mejora del desempeño de procesos, que fija como estándar de calidad 3,4 NOC por millón de oportunidades se dirige directamente a mejorar la calidad y la productividad.

Finalmente, el sector público y privado de la construcción, se orienta a un modelo de mejora documental, pero debe advertirse que este tipo de mejora tiene como límite de calidad, un mejor ordenamiento documentario. Por consiguiente, las normas ISO deben entenderse en su contexto real de calidad y las organizaciones deben implementarlas en la medida que es un el primer paso que sentarán para ordenarse documentalmente. Y, a partir de esta base, iniciar proyectos reales de mejora de la calidad enfocados en el perfeccionamiento continuo del desempeño de los procesos que desencadena directamente en la mejora de la productividad.

2.2.12 Concepto de SS.

La empresa estadounidense, Motorola, introdujo esta metodología a fines de los años ochenta y se puede conceptualizar como: un enfoque de mejora de la calidad que según Evans y Lindsay (2008) busca, reducir o eliminar las causas raíces de las NOC en procesos, concentrándose en la satisfacción del cliente y la productividad de la organización.

Por otro lado, la filosofía SS, según Gutiérrez (2005) se consolidó en una metodología con etapas preestablecidas como: definir, medir, analizar, mejorar y controlar. Las cuales, tienen tres áreas subyacentes, por un lado, la satisfacción del cliente externo e interno, por otro la reducción del tiempo de ciclo y finalmente, la disminución de NOC.

2.2.12.1 Métrica en la metodología SS.

La métrica SS que mide el desempeño de los procesos en términos de defectos errores o NOC como se denomina en el presente estudio. En este contexto, la métrica se DPU, se define como el número de NOC por unidad producida. Por otro lado, DPO, como el número de NOC por oportunidad de error. Y, DPMO, son las NOC por millón de oportunidades; en este estudio se utilizará este último:

a. DPMO.

En palabras de Evans y Lindsay (2008) esta métrica revolucionó la definición desempeño en el ámbito de la calidad. Pues, entre otros elementos positivos, esta métrica permite comparar desempeños entre procesos de distinta naturaleza, y se calcula mediante la ecuación 1, adaptada a la nomenclatura de este estudio:

$$\text{DPMO} = \frac{\text{NOC}}{\text{UND} \cdot \text{OPOR}} (1\ 000\ 000,00) \dots\dots\dots [\text{Ecuación 1}]$$

Donde:

NOC = no conformidades en número.

UND = total de unidades producidas en número

OPOR = número de oportunidades (para este estudio: actividades) en los que se puede generar una NOC, dentro de un proceso de producción.

2.2.12.2 Estadística y SS.

En la estadística de procesos se considera como variación natural de datos a 3 desviaciones estándar del promedio. A esta distancia se ubican los límites de control LIC (límite inferior de control, en inglés LCL) y LSC (límite superior de control, en inglés UCL), y dentro de ellos se ubicarían el 99.73 % de datos como se aprecia en la figura 6.

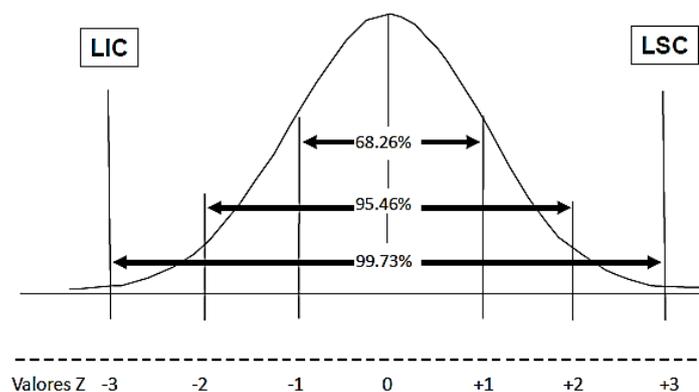


Figura 6. Límites de control

Fuente: Mariño, 2016

Complemento de los límites de control son los límites de especificación LSL (límite de especificación inferior) y USL (límite de especificación superior), estos

pueden o no generarse a partir de datos estadísticos, pero su determinación suele ser una especificación del cliente interno o externo, véase la figura 7.

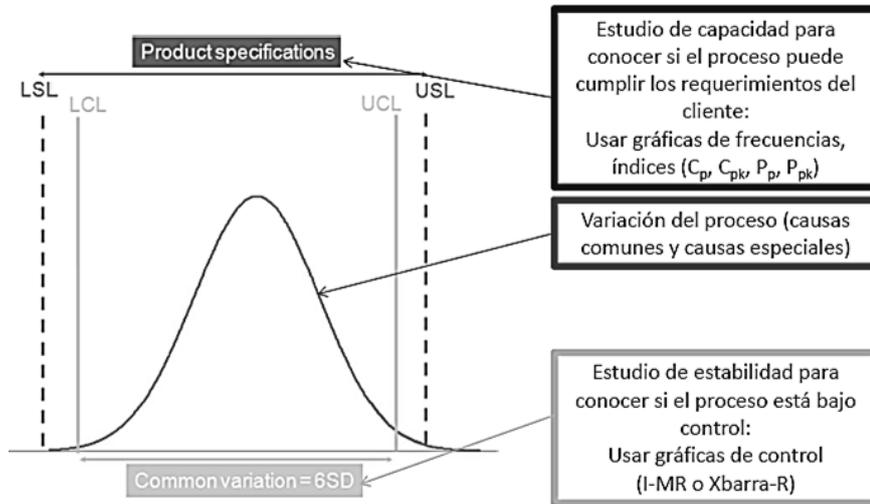


Figura 7. Límites de especificación

Fuente: Mariño, 2016

Por otro lado, SS, tiene como meta 3,4 DPMO, que en términos estadísticos significa 6 desde el límite de especificación, con una desviación de largo plazo de 1.5 desviaciones desde el objetivo como se observa en la figura 8.

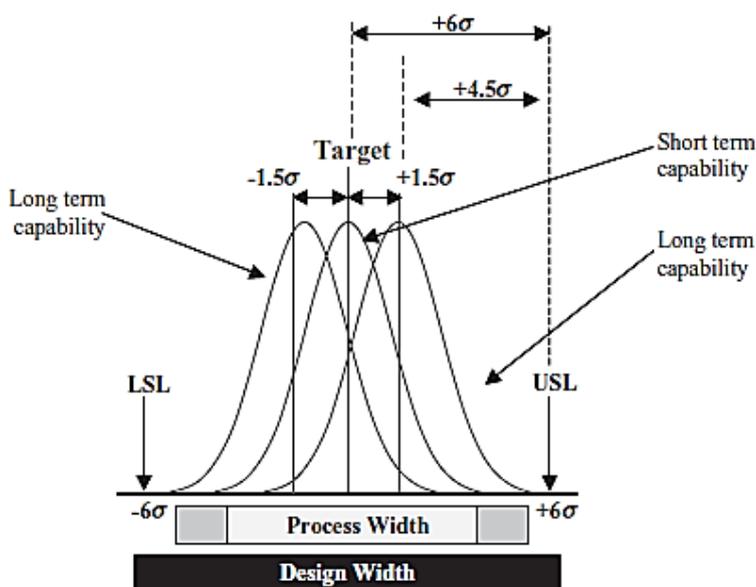


Figura 8. Nivel SS desde el objetivo

Fuente: Taghizadegan, 2006

Asimismo, gráficamente la diferencia entre un nivel 6 σ y 3 σ se puede apreciar en la figura 10, considerando una especificación inferior (EI) y superior (ES), véase la figura 9.

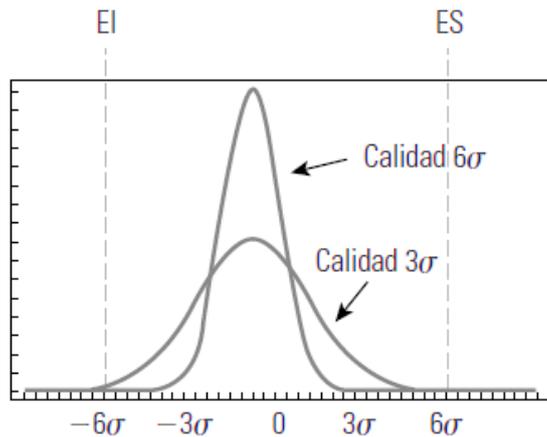


Figura 9. Calidad 6 y 3 sigmas

Fuente: Gutiérrez, 2005

El nivel sigma, según Evans y Lindsay (2008) se puede hallar en una hoja de cálculo de Ms. Excel, mediante la ecuación 2, también se puede sustituir la expresión $(1 - \text{NOC} / \text{UND} \cdot \text{OPOR})$ por $(1 - \text{DPMO} / 1\,000\,000,00)$ que también es equivalente a $(1 - \text{DPO})$.

$$\text{Nivel sigma} = \text{DISTR.NORM.ESTAND.INV.} \left(1 - \frac{\text{NOC}}{\text{UND} \cdot \text{OPOR}} \right) + 1,5 \quad \dots\dots\dots [\text{Ecuación 2}]$$

Donde:

NOC = no conformidades en número.

UND = total de unidades producidas en número

OPOR = número de oportunidades (actividades) en los que se puede generar una NOC, dentro de un proceso de producción.

Asimismo, tabulando la ecuación 2 para varias distancias desde el objetivo se obtiene los datos de la tabla 2.

Tabla 2

Nivel sigma de una cola

Distancia al centro	Nivel sigma						
	3 σ	3,5 σ	4 σ	4,5 σ	5 σ	5,5 σ	6 σ
0,00	1 350	233	32	3,4	0,29	0,019	0,001
0,25	2 980	577	88	11	1,02	0,076	0,004
0,50	6 210	1 350	233	32	3,4	0,29	0,019
0,75	12 224	2 980	577	88	11	1,02	0,076
1,00	22 750	6 210	1 350	233	32	3,4	0,29
1,25	40 059	12 224	2 980	577	88	11	1,02
1,50	66 807	22 750	6 210	1 350	233	32	3,4
1,75	105 650	40 059	12 224	2 980	577	88	11
2,00	158 655	66 807	22 750	6 210	1 350	233	32
0,00	3 σ	3,5 σ	4 σ	4,5 σ	5 σ	5,5 σ	6 σ

Fuente: Evans y Lindsay, 2008

Por otro lado, un resumen de equivalencia entre el nivel sigma, el indicador DPMO y el porcentaje de calidad alcanzado se muestra en la tabla 3.

Tabla 3

Porcentaje de calidad

Porcentaje (%)	DPMO	σ
93	66 807,0	3,0
98	22 750,0	3,5
99	6 210,0	4,0
99,87	1 350,0	4,5
99,977	233,0	5,0
99,9997	3,4	6,0

Fuente: Mariño, 2016

ambos son insumos para calcular los índices de calcular los índices con sufijo k. A continuación se muestra en la figura 11.

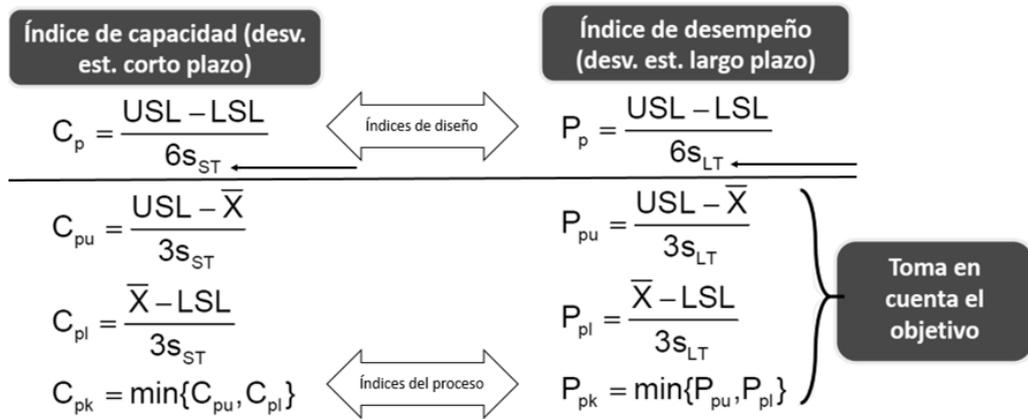


Figura 11. Índices C y P

Fuente: Mariño, 2016

Asimismo, en la figura 12 se muestra gráficamente los índices de diseño y del proceso.

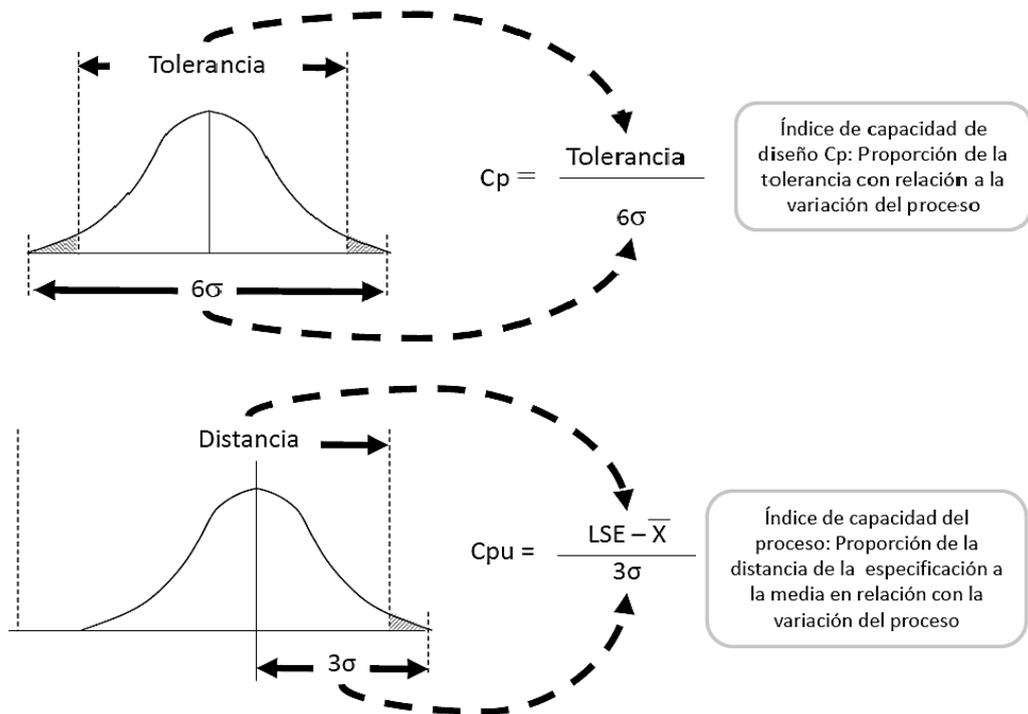


Figura 12. Índices de diseño y proceso

Fuente: Mariño, 2016

Por otro lado, las variaciones de corto plazo se miden de un ciclo a otro, dentro de un proceso; las de largo plazo, a través de varios ciclos y generalmente a largo plazo se observan mayores variaciones como se muestra en la figura 13.

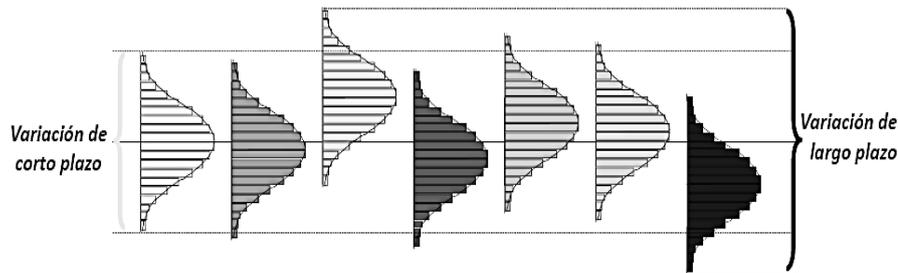


Figura 13. Variaciones de los procesos

Fuente: Mariño, 2016

El criterio de validez de un proceso capaz se determina cuando sus valores se encuentran entre 1,33 y 2,00, valores inferiores indican riesgo (aceptable) o incapacidad, como se observa en la figura 14.

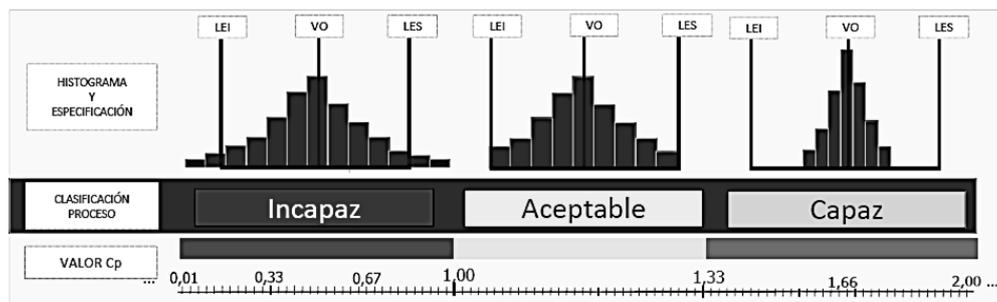


Figura 14. Valores de capacidad

Fuente: Mariño, 2016

Por otro lado, los índices de corto plazo, de diseño o de proceso, nos brindan resultados importantes en cuanto a las características de los procesos para la toma de decisiones para mejorar el desempeño como se muestra en la figura 15.

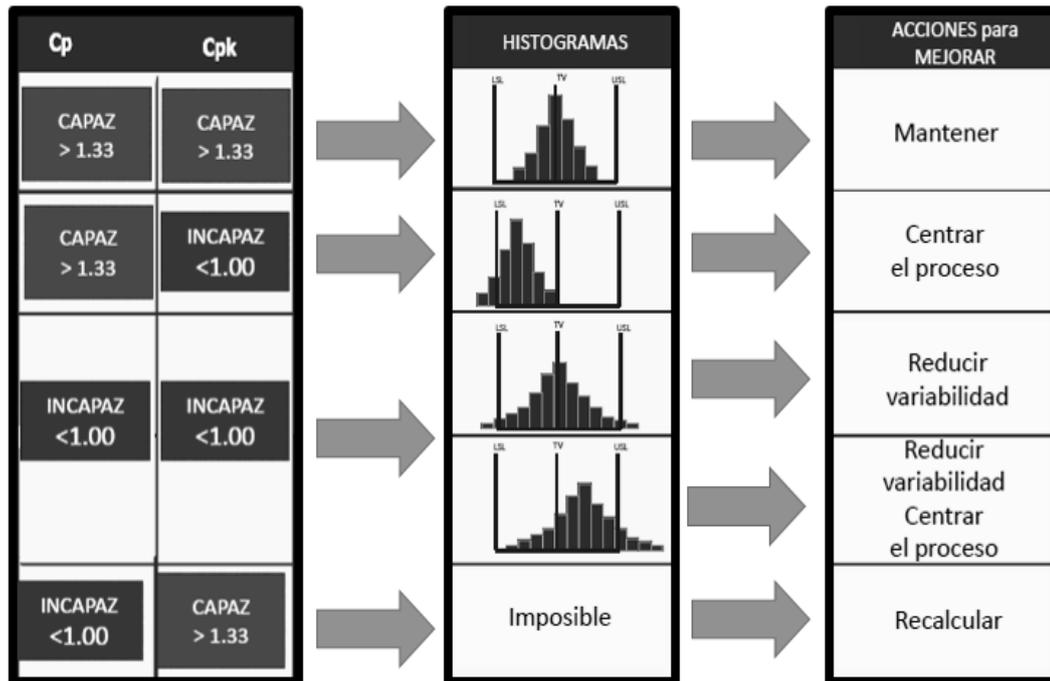


Figura 15. Acciones de mejora e índices de desempeño

Fuente: Mariño, 2016

2.2.15. Gráficas de control.

Las cartas de control se utilizan para el control de procesos consisten en gráficas con una línea horizontal y central que generalmente es el promedio o la media. Además, dos líneas horizontales que representan los límites de control superior (LSC) e inferior (LIC), los cuales se determinan estadísticamente de modo que si el proceso es estable el 99,73 % de datos estarán dentro de ellos.

2.2.16 Gráfica I para valores individuales.

Es una gráfica para datos continuos que se ordenan en función del tiempo como se observa en la figura 16, tiene dos líneas horizontales, son los límites de control superior (LSC) y de control inferior (LIC).

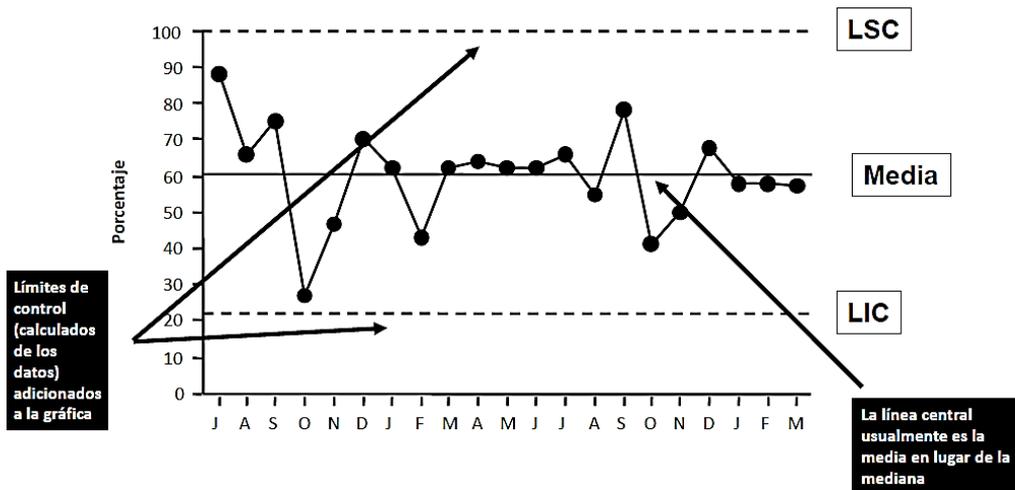


Figura 16. Gráfica de valores I

Fuente: Mariño, 2016

2.2.17 Gráfica I-MR.

Es una gráfica para datos continuos que se genera usualmente a partir de la acumulación de dos observaciones consecutivas (ver figura 17), es decir, la suma de dos puntos en la gráfica para valores individuales genera un en la gráfica de rangos móviles. Debido a esta secuencia, el primer punto, que no tiene antecedente, no se grafica.

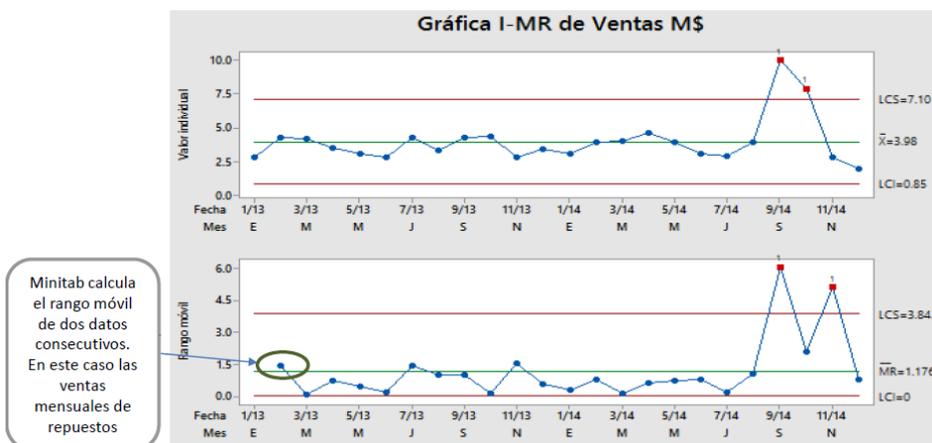


Figura 17. Gráfica de rangos móviles

Fuente: Mariño, 2016

2.2.18 Gráfica PMPE o EWMA.

Conocida como el promedio móvil ponderado exponencialmente (PMPE) ver figura 18, se utiliza cuando se requiere analizar y observar desplazamientos significativamente imperceptibles (inferiores a $1,5 \sigma$) que en gráficas de representación común, como las de valores individuales entre otras, no se podría.

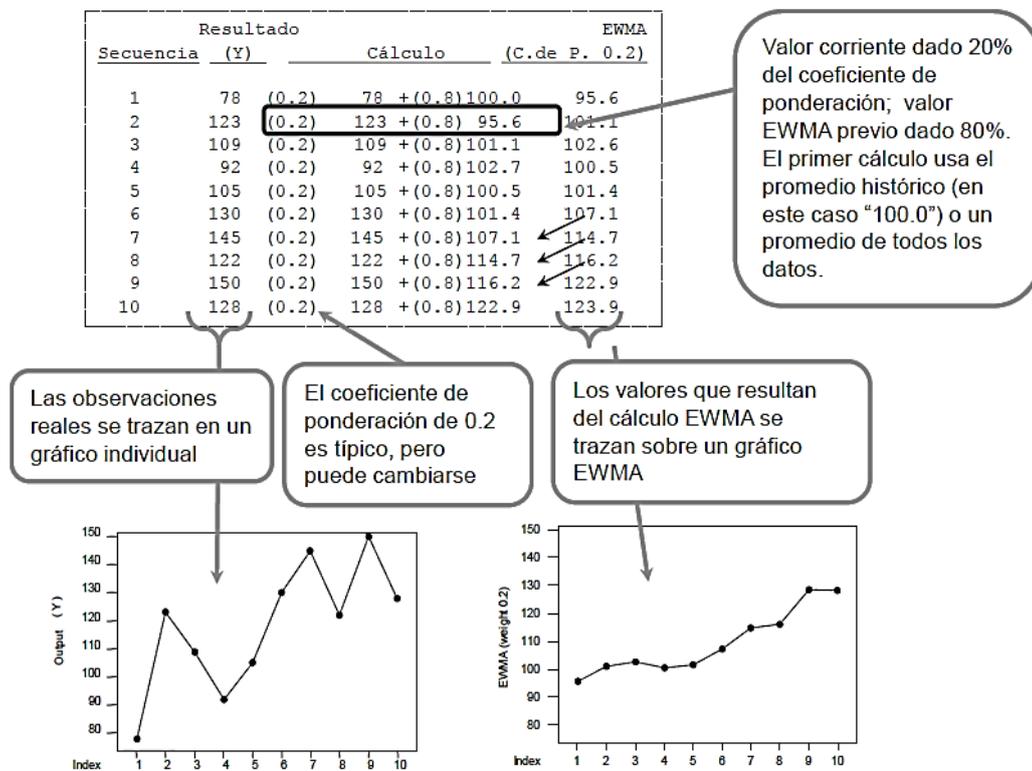


Figura 18. Gráfica PMPE

Fuente: Mariño, 2016

2.2.19 Gráfica C para datos tipo atributo.

Mediante esta gráfica (ver figura 19) se quiere analizar la “variabilidad del número de defectos por subgrupo” (Gutiérrez, 2005, p. 247) el promedio c se halla mediante total de defectos entre total de subgrupos.

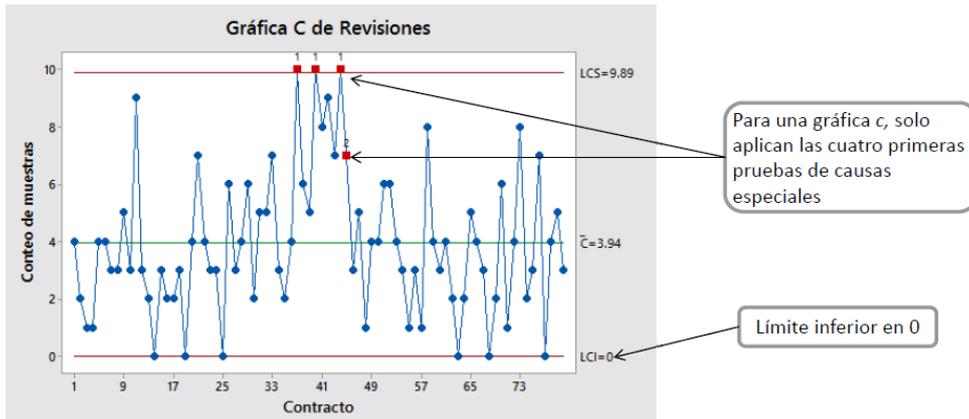


Figura 19. Gráfica C

Fuente: Silva, 2016

2.2.20 Causas especiales de variación (CEV).

CEV son patrones estadísticos poco usuales en el comportamiento de datos que pueden atribuirse a un error, sesgo o distorsión de los datos. Considerando que la zona A equivale a 3 desviaciones estándar (99 % de datos), la zona B a 2 desviaciones estándar (95 % de datos) y la zona C 1 desviación estándar (68 % de datos), se presentan los siguientes datos:

a. CEV 01 para gráficas de control

“Prueba 1: un punto de fuera de control” (Silva, 2016, p. 10), ver figura 20.

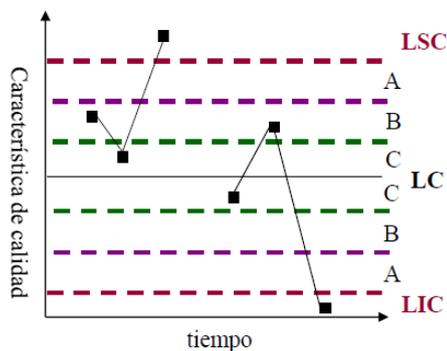


Figura 20. Causa CEV01

Fuente: Silva, 2016

b. *CEV 02 para gráficas de control*

“Prueba 2: ocho puntos en forma consecutiva por arriba o por debajo del promedio”

(Silva, 2016, p. 10), ver figura 21.

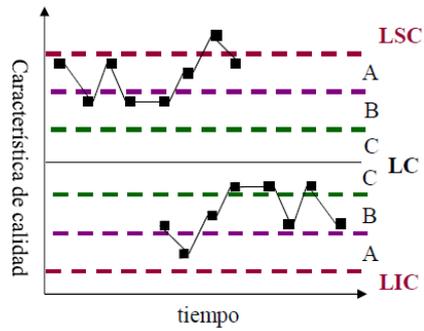


Figura 21. Causa CEV02

Fuente: Silva, 2016

c. *CEV 03 para gráficas de control*

“Prueba 3: cinco puntos consecutivos en forma ascendente o descendente” (Silva,

2016, p. 11), ver figura 22.

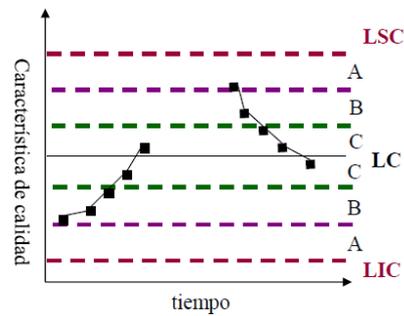


Figura 22. Causa CEV03

Fuente: Silva, 2016

d. *CEV 04 para gráficas de control*

“Prueba 4: catorce puntos alternándose en forma consecutiva arriba y abajo” (Silva,

2016, p. 11), ver figura 23.

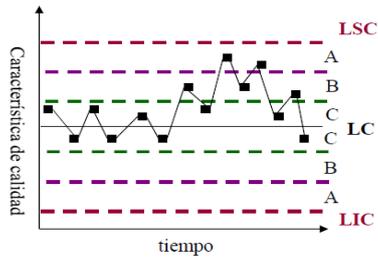


Figura 23. Causa CEV04

Fuente: Silva, 2016

e. CEV 05 para gráficas de control

“Prueba 5: dos o tres puntos en la zona A o más allá” (Silva, 2016, p. 12), ver figura

24.

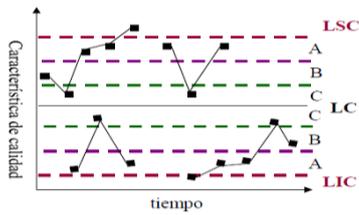


Figura 24. Causa CEV05

Fuente: Silva, 2016

f. CEV 06 para gráficas de control

“Prueba 6: cuatro o cinco puntos consecutivos en la zona B o más allá” (Silva, 2016, p. 12), ver figura 25.

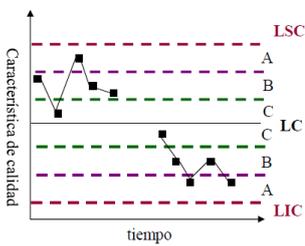


Figura 25. Causa CEV06

Fuente: Silva, 2016

g. CEV 07 para gráficas de control

“Prueba 7: quince puntos consecutivos en la zona C” (Silva, 2016, p. 13), ver figura 26.

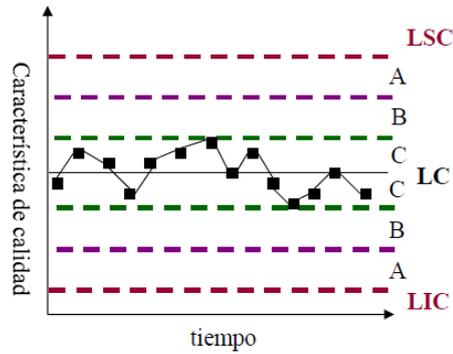


Figura 26. Causa CEV07

Fuente: Silva, 2016

h. CEV 08 para gráficas de control

“Prueba 8: ocho puntos consecutivos que no caigan en la zona C” (Silva, 2016, p. 13), ver figura 27.

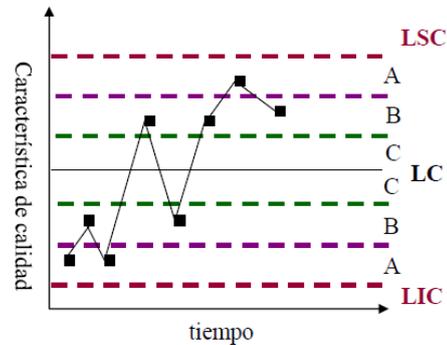


Figura 27. Causa CEV08

Fuente: Silva, 2016

2.2.21 Diagrama de diagnóstico Pareto.

Este diagrama ordena la información por grado de incidencia, genera porcentajes para cada proceso o elemento, también porcentajes acumulados, y los presenta

mediante barras. La información se muestra de modo que los de mayor incidencia se ubican al lado izquierdo y los de menor al lado contrario.

Este ordenamiento y los porcentajes acumulados se intersecan con la regla de Pareto 80 – 20, de los pocos vitales. Es decir, el 20 % de NOC afectan el 80 % de procesos. Por lo cual, se infiere que generando solución al 20 % ordenado mediante el criterio de Pareto se cubre una gama de procesos de mayor alcance.

Asimismo, se le denomina Pareto de segundo nivel, al que se realiza por segunda vez o aquel que se aplica al interior de un proceso y que se enfoca en la búsqueda de las causas de mayor relevancia.

2.3 Definición de términos

2.3.1 No conformidad.

“Incumplimiento de un requisito” (ISO, 2015, p. 26).

2.3.2 Límites de control.

Como se observó anteriormente, hay uno inferior y otro superior, ambos se grafican horizontalmente, a 3σ y dependiendo de tipo de carta o gráfica se le adiciona una corrección.

2.3.3 Límites de control para las cartas C.

Los límites control para las cartas C, su cálculo para LCS y LCI se realiza mediante la suma del promedio \bar{C} sumado o restado a tres veces la raíz cuadrada de \bar{C} .

2.3.4 Proceso bajo control estadístico.

Un proceso se encuentra bajo control estadístico cuando no presenta causas especiales de variación. O dicho de otro modo sólo presenta causas comunes de variación.

2.3.5 Causas comunes de variación.

Son variaciones instaladas intrínsecamente en el proceso “definen la variación natural del proceso porque son el efecto acumulado de muchas pequeñas causas esenciales para su variación” (Mariño, 2016, p. 56).

2.3.6 Coeficiente de correlación.

Es la “medida la fuerza de la relación lineal entre dos variables” (Lind, Marchal y Wathen, 2008, p. 462) que es cero cuando no hay relación; uno cuando existe correlación positiva perfecta, o uno, negativo, cuando existe correlación negativa perfecta. También, si es 0,5 es una correlación positiva moderada; - 0,5 correlación negativa moderada. Por otro lado, entre 0 y 0,5 correlación positiva débil; entre 0 y - 0,5 correlación negativa débil, y finalmente, entre 0,5 y 1 correlación positiva fuerte; y, entre -0,5 y - 1 correlación negativa fuerte.

Para los casos que presenten normalidad, se utiliza el coeficiente de Pearson, para los datos que no presenten normalidad, el coeficiente de Spearman.

2.3.7 Curva normal.

Se le conoce también como distribución normal y “es una distribución de probabilidad en donde el valor que ocurre con más frecuencia está en el medio y las otras probabilidades disminuyen simétricamente en ambas direcciones” (Mariño, 2016, p. 9).

2.3.8 Gráfica de probabilidad normal.

Según Mariño (2016) es la gráfica utilizada para verificar la normalidad, presenta dos bandas entre las cuales se encuentra el 95 % de confianza. Para, su cálculo propone el uso del coeficiente Anderson Darling cuyo coeficiente igual o cercano a

cero indica comportamiento normal. Asimismo, mediante una prueba de hipótesis se corrobora con el valor P.

2.3.9 Media aritmética.

La media aritmética, es el valor en “una distribución que corresponde a la suma de todos los puntajes y dividido entre el número total de sujetos” (Roque, 2012, p. 109).

2.3.10 Desviación estándar.

También conocido como desviación típica, “es el promedio de las distancias de cada número de un conjunto de datos con respecto a su promedio” (Roque, 2012, p. 46).

2.3.11 Valor P.

Representa “la probabilidad para los valores de interés” (Mariño, 2016, p. 24). En este estudio se utilizaron para validar la probabilidad de comportamiento normal y correlación entre variables.

2.3.12 Estratificación.

Este método que consiste en recabar datos de modo que se agrupen por criterios diversos criterios de análisis, como el de similitud u otros.

2.3.13 Histograma.

Es un gráfico que muestra las recurrencias de modo que permite analizar visualmente el comportamiento de los datos, respecto a su “tendencia central y u dispersión” (Gutiérrez, 2010, p. 154).

2.3.14 Diagrama de Ishikawa (ESPES)

También conocido como diagrama de espina de pescado. Esta herramienta permite establecer vínculos de tipo causa y efecto. Metodológicamente, se parte de un efecto principal del cual se desprenden varias posibles causas que a la vez pueden

desencadenar en sub-causas. De modo que, se desarrolla una ramificación en las que las causas más alejadas del efecto deben interpretarse como los orígenes más significativos del efecto.

Por otro lado, el diagrama ESPES como estándar general suele tener seis ramas principales materia prima, que representan los insumos, mano de obra, que representa los recursos humanos, medio ambiente, el espacio en que se desarrollan el problema, maquinaria, que también pueden ser equipos, medición y finalmente métodos. Sin embargo, estas ramas también pueden ajustarse a ramas principales de diversa naturaleza.

2.3.15 Diagrama de dispersión (DIAGDISP).

Este diagrama permite observar el vínculo entre dos variables. Para muchos estudios junto al coeficiente de correlación, es la herramienta que relaciona dos variables directrices y formales de una investigación, que no es el caso de esta investigación. Por otro lado, también este diagrama ayuda a la “búsqueda de las causas de un problema en un proceso” (Gutiérrez, 2005, p. 205) que es el enfoque que tiene en este trabajo.

2.3.16 VCC o CPC.

Variables críticas para la calidad también conocido como críticos para la calidad, son el conjunto de requisitos cuyo cumplimiento es importante para el cliente interno o externo.

2.3.17 Poka-Yoke.

Es un sistema que comprende la creación y aplicación de mecanismos orientados a eliminar los errores o NOC. Estos mecanismos pueden ser sencillos o complejos,

una función bastante difundida es la de evitar olvidos o distracciones durante la ejecución de procesos.

2.3.18 Diagrama de Proceso.

Mediante este diagrama se describe gráficamente un proceso, por lo que es posible apreciar la secuencia de actividades en el interior, así como las entradas y las salidas.

2.3.19 Modo de falla y análisis de defectos (FMEA).

Según Chase, Robert y Aquilano (2009), este método está dispuesto de modo que permite identificar, calcular, analizar y ponderar el riesgo de las fallas en un proceso. En el presente trabajo, este análisis, se inicia mediante la identificación de una NOC, luego se enlistan y ponderan las posibles causas, que se obtienen del análisis de Ishikawa. Resultado de la ponderación se obtiene un factor RPN (Risk Priority Number).

2.3.20 Número de prioridad de riesgo (RPN).

Número de prioridad de riesgo (o Risk Priority Number), según Chase et al. (2009), es el índice utilizado para mensurar la importancia de los datos de FMEA.

2.3.21 Acción preventiva.

“Acción tomada para eliminar la causa de una no conformidad potencial u otra situación potencial no deseable” (ISO, 2015, p. 34).

2.3.22 Acción correctiva.

“Acción para eliminar la causa de una no conformidad y evitar que vuelva a ocurrir” (ISO, 2015, p. 35).

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1 Tipo de la investigación

Por una parte, por su diseño, es una investigación no experimental que más adelante se detalla, por otra parte, por su alcance, en términos de Hernández, Fernández y Baptista (2014) es descriptivo y explicativo.

Entendiéndose como estudios descriptivos aquellos que: “Buscan especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 92). Asimismo, los explicativos: “Pretenden establecer las causas de los sucesos o fenómenos que se estudian” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 95).

De ese modo, esta investigación es descriptiva pues, en una primera etapa: especifica y caracteriza las NOC y los procesos mediante herramientas SS, como estratificación, histogramas, diagramas de Pareto. Por otro lado, es explicativa pues, en una etapa posterior se indaga y busca la causa raíz de los problemas de los procesos mediante herramientas como el diagrama de Ishikawa, NPR, diagrama de dispersión y estadísticos de correlación que se enfocan a establecer el origen de las NOC. En este aspecto, es preciso aclarar que las investigaciones explicativas por su

naturaleza compleja “son más estructuradas que los estudios con los demás alcances y, de hecho, implican los propósitos de éstos (exploración, descripción y correlación o asociación)”, por lo cual, aunque se realizan estudios estadísticos de correlación esta investigación no podría en modo alguno ser correlacional. Asimismo, las variables de investigación del presente estudio no se plantearon desde la lógica de correlación tal como se observa en el objetivo general de este estudio.

3.2 Diseño de la investigación

La investigación presenta un diseño no experimental de tipo longitudinal tipo tendencia, a continuación, se explicarán ambos:

3.2.1 No experimental.

El diseño presenta un diseño no experimental pues los diseños de este tipo “se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 152). En este contexto, durante la investigación, se registró y analizó el comportamiento espontáneo de NOC.

3.2.2 Investigación longitudinal de tipo tendencia.

Por otro lado, esta investigación es de tipo longitudinal pues los diseños de esta clasificación “recaban datos en diferentes puntos del tiempo, para realizar inferencias acerca de la evolución del problema de investigación o fenómeno, sus causas y efectos” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 159). Asimismo, es de tipo tendencia pues se “analizan cambios al paso del tiempo en categorías, conceptos, variables” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 160).

Consecuentemente, el estudio considera el estudio de NOC medidas a través del tiempo mediante SS, en los que los procesos de origen de las NOC pueden o no ser los mismos, sin embargo, siempre abarcará la misma población.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población.

La conforma el número de NOC del PMT. Recopilado desde el inicio de obra en agosto (2015) hasta el último mes posible de medición y análisis según el plazo contractual, abril del siguiente año.

3.3.2 Muestra.

Se trabajó con la población, por lo tanto, no se tomaron muestras.

3.4 Descripción de instrumentos para recolección de datos

a. Fichas de fuentes documentales

Los datos de tipo NOC fueron registrados en fichas elaboradas una hoja de cálculo, en las que se consignó el código, tipo, descripción breve, descripción precisa de la circunstancia de la no conformidad, fotografías del suceso, responsable, área de ejecución, los resúmenes de estas fichas se presentan en los apéndices A y D.

b. Cuestionario estructurado no disfrazado

Se elaboró un cuestionario estructurado no disfrazado pues “cierto orden lógico en las preguntas además de que el entrevistado puede darse cuenta de los fines que persigue el investigador” (Benassini, 2009, p. 100), y a través de este se inquirió

sobre las deficiencias en su área de trabajo, asimismo, que enlistaran las causas y las posibles soluciones, como se observa en el apéndice C.

c. Entrevista elaboración de diagramas causa y efecto

Se realizaron entrevistas de corroboración de datos, con la jefatura de calidad, los cuales tienen como registro los diagramas de Ishikawa presentados en los resultados de investigación.

3.4.1 Análisis de datos.

En cuanto al análisis de carácter descriptivo, se realizó mediante instrumentos SS que caracterizan las NOC. Desde la perspectiva explicativa, se recurrió a instrumentos estadísticos.

Asimismo, por una parte, la herramienta para registro y cálculo general de datos se realizó con Ms Excel. Por otra parte, los datos fueron procesados estadísticamente mediante el programa diseñado ad hoc para el control estadístico de procesos: Minitab, que cuenta con instrumentos para pruebas estadísticas, así como cartas de control y otros, utilizados en el ámbito del control de calidad. En segundo plano, como corroboración de cálculos se utilizó SPSS, sin embargo, la presentación formal de datos se realizó con el anterior.

3.4.2 Selección de pruebas estadísticas.

Desde el punto de vista del tipo de estudio explicativo, la investigación requirió realizar pruebas estadísticas para encontrar las causas raíz del problema, como análisis de correlación y pruebas de comportamiento normal. Asimismo, se utilizaron tres cartas de control estadístico de procesos y los índices de capacidad

de un proceso. Por otro lado, debe entender que estas operaciones se realizan al interior de la investigación, por la naturaleza de la investigación y el método que tiene SS, y no como la utilización de herramientas estadísticas entre las variables formales de la investigación.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Presentación de resultados

4.1.1 La empresa contratista.

El contratista, se especializa en movimiento de tierras y obras en general de carácter civil en el rubro de la minería y fue creada con capitales de las empresas SSK, especializada en montajes electromecánicos, y EXCON, en movimiento de tierras y obras de diversa índole en el rubro civil. De ese modo, se esperaba que el contratista contara con la experiencia y conocimiento de los patrocinadores.

4.1.1.1 Organización del contratista.

El contratista tiene una organización funcional como se muestra a continuación en la figura 28.

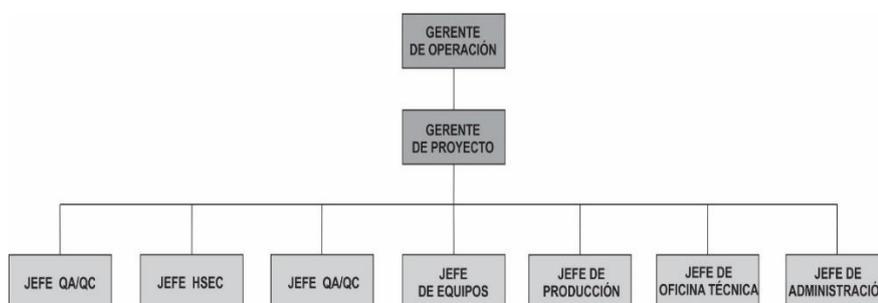


Figura 28. Organización del contratista

Fuente: Elaboración propia

El contratista está organizado por diversas jefaturas divididas por especialidad, asimismo, cada una tiene un orden jerárquico vertical y cuenta con un jefe, responsabilidades y metas por función.

4.1.1.2 PMT.

Es el proyecto consiste en instalar una faja transportadora de mineral. Para lograr este objetivo el PMT se dividió en tres entregables generales movimiento de tierras (cortes, excavaciones y rellenos), obras civiles (elementos de concreto simple y armado) y montaje electromecánico. El contratista ganó la licitación de los dos primeros entregables. Asimismo, las áreas y actividades para el proyecto en general son las mostradas en la Figura 29.

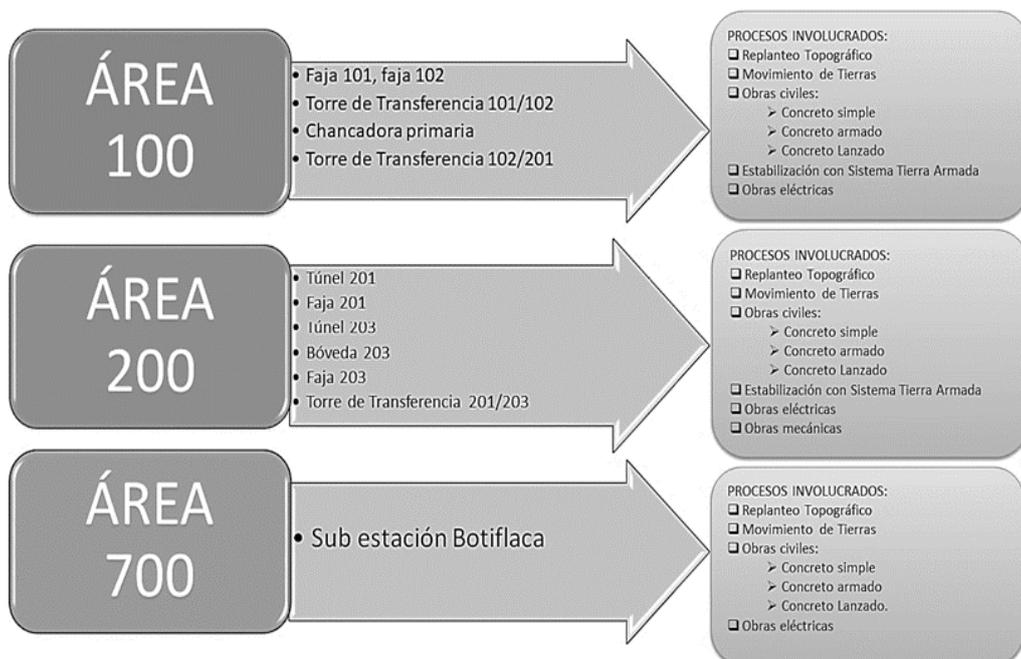


Figura 29. Actividades por área

Fuente: SKEx Construcciones S.A.C., 2016

4.1.1.3 Certificación ISO 9001.

El contratista no tiene certificación de calidad ISO 9001, sin embargo, su plan de calidad establece y configura un SGC basado en las normas ISO 9000:2005 e ISO 9001:2008.

4.1.1.4 Organización documental del SGC.

El contratista presenta la siguiente organización documental el cual se ve reflejado en la organización funcional. Por otro lado, la estructura documental tuvo como base aquella existente en la empresa SSK. Seguidamente, se muestra la organización documental en la figura 30.

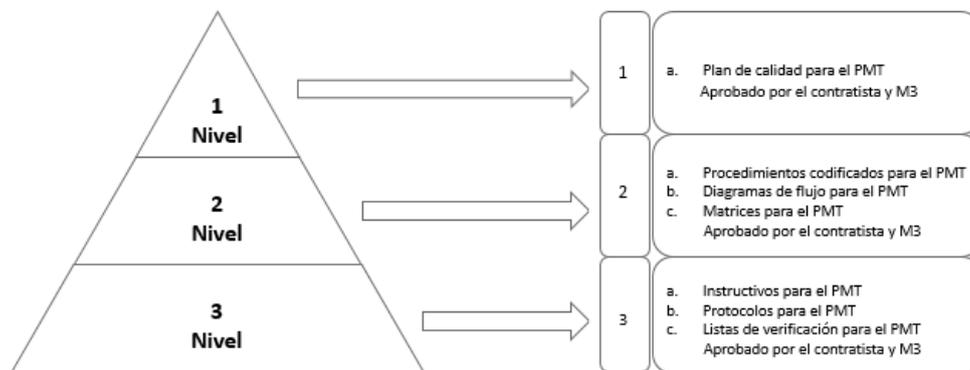


Figura 30. Organización documental en el PMT

Fuente: SKEx Construcciones S.A.C., 2016

4.1.1.7 Producción y organización documental

La estructura organizacional y documental existente en el plan de calidad de SKEx Construcciones S.A.C. (2016) y fue ejecutado durante la ejecución del proyecto. Sin embargo, debido a diversos problemas hubo retrasos en el flujo de documentos que formalizaban la entrega de los productos.

4.1.1.8 Criterios de mejora de calidad del contratista.

El contratista ejecutó parcial o extemporáneamente las acciones preventivas y correctivas establecidas en el plan de calidad del PMT. Asimismo, se desarrollaron dos auditorías que permitieron observar deficiencias y realizar mejoras al interior de la organización.

4.1.2 Aplicación de etapas SS.

4.1.2.1 Primera etapa SS definición.

Según Chase, Robert y Aquilano (2009) esta etapa consiste en identificar las prioridades del cliente externo (SCC) como interno (contratista) y luego definir los elementos cruciales críticos para la calidad.

4.1.2.1.1 Prioridades del cliente externo e interno.

a. Prioridades del cliente externo.

El cliente externo es SCC, sus prioridades se obtuvieron mediante fuentes documentales. El escenario perfecto hubiera sido realizar encuestas de satisfacción realizadas por el contratista, las cuales se encontraban en el manual de calidad. Sin embargo no se llevaron a cabo por los diversos problemas administrativos, entre ellos, déficit de personal y recursos.

De ese modo, las fuentes documentales indican textualmente dos elementos valorados por SCC y son:

- *Reducir el tiempo de ejecución.*

El cliente dejó sentado que el contratista a través del control de proyectos desarrolle reprogramaciones que permita la culminación del proyecto en el plazo fijado o antes del mismo.

- *Cumplir las especificaciones técnicas.*

El cliente también dejó sentado que los entregables deben cumplir las especificaciones técnicas del proyecto.

Estos dos elementos son validados como críticos para la calidad (CPC) o variables críticas para la calidad (VCC).

b. Prioridades del cliente interno.

Por otro lado, el cliente interno conformado por el personal del contratista fue evaluado, a través de un cuestionario estructurado no disfrazado para indagar en aquellos elementos críticos que obstaculizaban el desempeño de sus funciones, estos cuestionarios se muestran en el apéndice C. La evaluación de estos cuestionarios permite observar que el personal de la oficina de calidad indicaba déficit de camionetas, reuniones de coordinación y liderazgo.

4.1.2.1.2 Análisis de NOC.

A continuación, se realiza el análisis de NOC mediante instrumentos SS.

4.1.2.1.2.1 NOC estratificadas por el contratista.

Consiste en el análisis de NOC que se clasifican de acuerdo a similitud de características o impacto. Inicialmente, se evaluó la estratificación realizada por el contratista, posteriormente se presenta una versión revisada y corregida según parámetros de mejora de calidad en la construcción durante la ejecución del PMT.

Respecto a la estratificación realizada por la empresa contratista, esta se muestra en la Tabla 4.1, con datos tomados de la empresa contratista.

Tabla 4*Estratificación del contratista*

Clasificación	Descripción	NOC (unidad)	Cumplimiento (%)
CL001	NOC durante el proceso constructivo	17	29,31
CL002	NOC de tipo alineación de ejes o elevaciones	3	5,17
CL003	NOC de tipo grietas o fisuras	1	1,72
CL004	NOC de tipo daño o suministro	9	15,52
CL005	NOC de tipo incumplimiento de EETT	13	22,41
CL006	NOC en la elaboración de formatos o protocolos	13	22,41
CL007	NOC de tipo otros	2	3,45
Total NOC		58	100,00

Fuente: SKEx Construcciones S.A.C., 2016

a. Análisis de NOC del contratista.

De la estratificación de NOC realizada durante el PMT se observa lo siguiente:

- *Generalización.*

Se observa que el 29,31 % de NOC se estratificaron como errores constructivos, hecho que no permite conocer el proceso específico. Del mismo modo, 22,41 % se estratificaron como NOC de tipo incumplimiento de EE.TT. En suma, esta clasificación no permite identificar el proceso. De modo que, encontrándose registradas en los protocolos con el nombre genérico, no facilita encontrar su causa raíz y desarrollar acciones correctivas y preventivas.

- *Clasificación parcial.*

La etiqueta de estratificación otros puede incluir NOC de diversa naturaleza, esta característica a primera vista permite incluir actividades no consideradas dentro del esquema existente, constituye en realidad una de las principales evidencias del carácter documental y registral de la NOC. Es decir, se antepone el criterio de clasificación respecto al patrón o naturaleza de la NOC, en caso de no existir posibilidad se agrupa en el campo otros. Este hecho, permite observar poco interés inicial para encontrar su origen. En otras palabras, si una no conformidad tuviera un alto impacto económico y cuya importancia de cierre está por sobre otras pero no encontrada en la relación, se clasificaría como otros. Este primer acercamiento a las NOC, su importancia e impacto financiero, es parcial.

En suma, la actual clasificación del contratista, en primer lugar, no identifica procesos constructivos, en el sentido de una secuencia de actividades que conducen producir un bien, por el contrario, identifica actividades con un nivel de generalización significativo. En segundo lugar, en tanto estas clasificaciones no cubren toda la gama de actividades del proyecto por lo cual se permita la etiqueta otros, la estratificación será parcial o incompleta. Es decir, la estratificación realizada por el contratista se constituye en registro de cumplimiento administrativo, no en una mejora de la calidad en la construcción mediante la reducción de no conformidades.

En consecuencia, se realizó un análisis detallado e individual del total de no NOC, los resultados de este estudio se presentan en los apéndices A y D.

En el apéndice A se muestra la nueva estratificación individual de las no conformidades, archivo fotográfico de cada una, asimismo, el cálculo de los

sobrecostos o costo de calidad en que incurrió la empresa contratista para la absolución de las no conformidades.

En el apéndice D se muestran cuadros detallados de las no conformidades en los que se precisa el número de no conformidad, su código, la descripción, la fecha de emisión de la no conformidad, el área de trabajo en el que se produjo, el costo de calidad, el proceso al que pertenece, el responsable de la no conformidad y una breve descripción.

b. NOC reclasificadas con criterios SS.

Luego de realizar un análisis detallado de las no conformidades presentados en los apéndices A y D, se muestran los criterios del rediseño de la estratificación realizada en este estudio, cuyo criterio fundamental es el de mejorar la calidad en la construcción mediante los criterios SS para reducir las no conformidades.

- *NOC relacionada a procesos.*

Este tipo de estratificación de NOC facilita la identificación del proceso.

- *Vaguedad léxica.*

No utiliza palabras baúl, aquellas que “admiten muchos significados al no tener uno definido” (Carneiro, 2009, p. 87), palabras como otros y varios.

- *Creación de nuevas clasificaciones.*

La clasificación debe ajustarse al tipo del proyecto y proceso, de modo que se generarán nuevos procesos por ende nuevas clasificaciones.

- *Considera un proceso a la vez.*

Facilita su identificación y discriminación.

- *Estratificación por número.*

La estratificación de NOC debe jerarquizarse por el número de ocurrencias.

En suma, con los criterios antes mencionados se elaboró una nueva estratificación que se puede observar en la tabla.

Tabla 5

Nueva estratificación

Código	Nomenclatura	Reseña	NOC (número)	COC (USD)
NC01	SUPOBRA	Supervisión de obra	28	2 798,31
NC02	MOTIERRAS	Movimiento de tierras	10	37 473,60
NC03	OCONCRETO	Obras de concreto	9	38 529,40
NC04	DAÑOBRAS	Daños en actividades concluidas	4	7 067,61
NC05	INSTACERO	Instalación de elementos de acero embebidos	4	1 190,83
NC06	INSTPANELES	Instalación de paneles prefabricados	3	588,74
Total			58	87 648,49

Fuente: SKEx Construcciones S.A.C., 2016

4.1.2.1.2.2 Diagrama de Pareto (DPAR).

a. Primer nivel del DPAR.

Según el principio de Pareto 80 - 20, se puede concluir que los procesos denominados los pocos vitales son: SUPOBRA (NC01), MOTIERRAS (NC02) y OCONCRETO (NC03), cuyos porcentajes suman el 81,0 %, como se muestra en la figura 31. Asimismo, de acuerdo este principio mediante la solución de los tres

procesos se daría solución al 80 % de las NOC. Sin embargo, esta es una inferencia parcial, pues metodológicamente SS requiere se adicione nuevos criterios de análisis como el DISH que se presenta en el siguiente ítem.

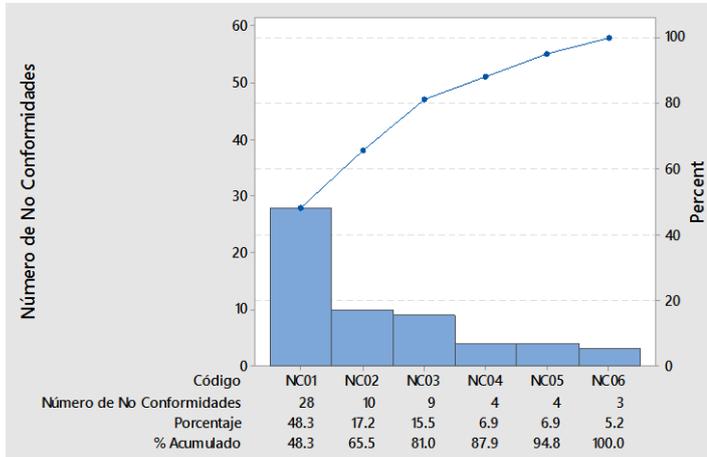


Figura 31. PAR de primer nivel NOC

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.1.2.3 Diagrama de Ishikawa (DISH).

Las posibles causas de NOC son evaluadas en 6 aspectos, véase la figura 32.

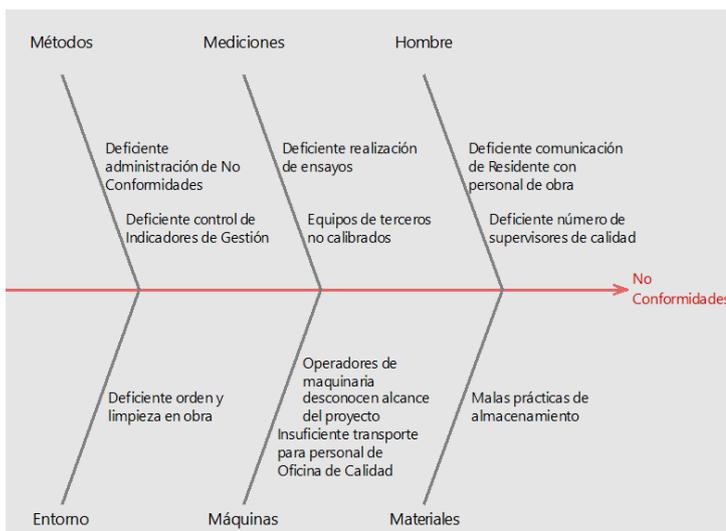


Figura 32. DISH del PMT

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, el resultado del análisis FMEA mediante el índice RPN se muestra en el apéndice K.

4.1.2.1.2.4 Histograma y prueba de normalidad.

a. Histograma de NOC.

Para su elaboración se realizó un reordenamiento de datos, NOC y COC por mes. De ese modo se obtuvieron nueve puntos de análisis, que es la población total de datos, véase la tabla 6, asimismo, el histograma en la figura 33.

Tabla 6

Registro mensual de NOC y COC

Período mensual del PMT	Período anual del PMT	NOC (UND)	COC (USD)
Agosto	2015	4,00	1 986,78
Setiembre	2015	4,00	806,62
Octubre	2015	8,00	1 370,70
Noviembre	2015	9,00	35 533,79
Diciembre	2015	7,00	485,21
Enero	2016	9,00	35 840,49
Febrero	2016	6,00	1 307,91
Marzo	2016	6,00	419,36
Abril	2016	5,00	9 897,63
Total		58,00	87 648,49

Fuente: Elaboración propia

Nota: Elaborado en función al apéndice A.

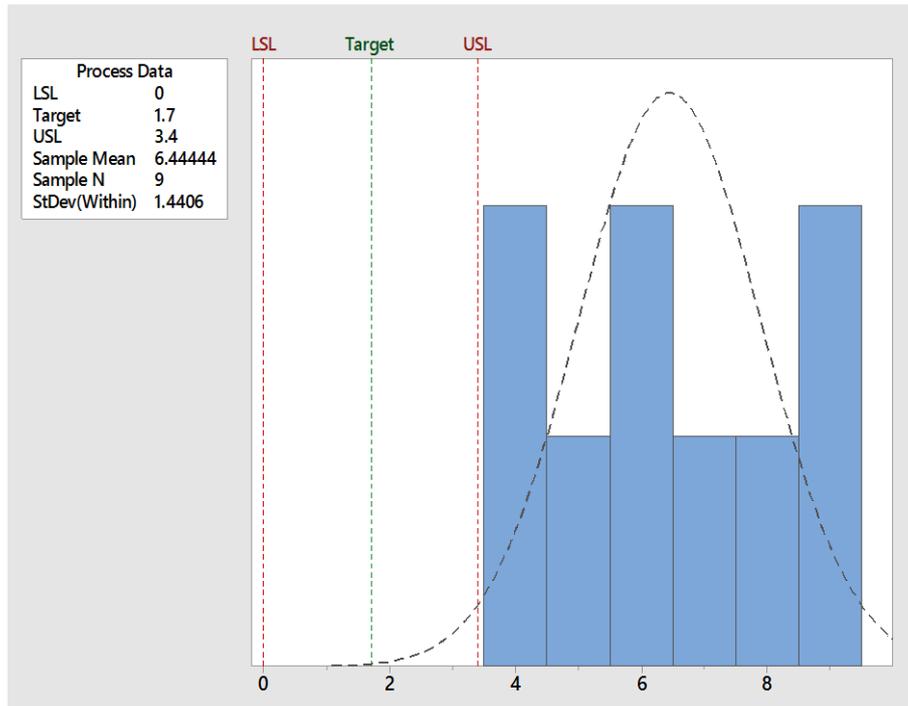


Figura 33. NOC en histograma

Fuente: Elaboración propia

b. Prueba de normalidad de NOC.

Consiste en una prueba de comportamiento normal de datos mediante el estadístico Anderson Darling (AD) y una prueba de hipótesis con el valor P. De ese modo, las hipótesis formuladas para la prueba de normalidad son las siguientes:

- Ho: NOC tienen un comportamiento normal.
- Ha: NOC no tienen un comportamiento normal.

De acuerdo a lo previsto para el procesamiento se utilizó el *software* Minitab, herramienta más utilizada para el control estadístico de procesos, (ver figura 34) y se consideró un nivel de significancia de 5 %.

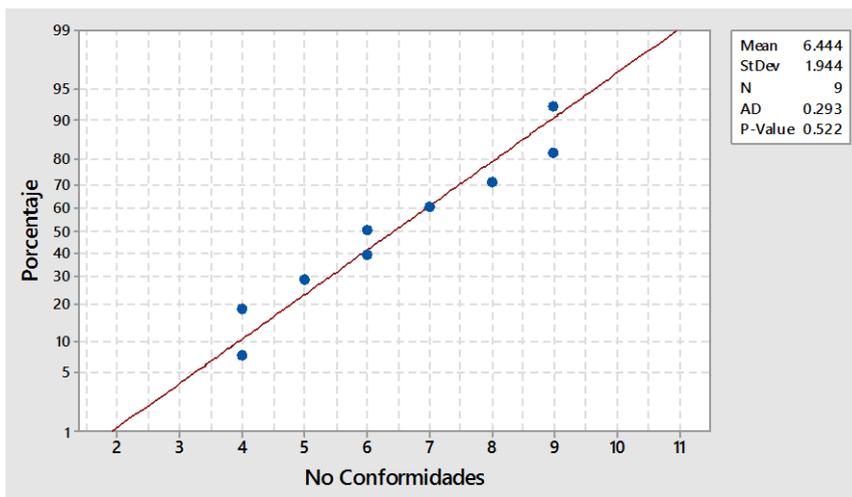


Figura 33. Comportamiento normal de NOC

Fuente: Elaboración propia

En la figura 34, se observa que el coeficiente AD cercano a cero y el valor P mayor a 5 % corroboran un comportamiento normal de datos. En consecuencia, se acepta la hipótesis nula.

4.1.2.1.2.5 COC.

El COC se muestra con mayor detalle en los apéndices A y D. En el primero, se muestran fotografías, además, detalles de insumos de mano de obra, materiales, herramientas y equipo utilizados para reparar errores, reemplazar elementos mal elaborados y demás soluciones que requirió el levantamiento de observaciones de cada NOC. En el segundo, se muestra el COC resumido y asociado a la fecha y el responsable. Y, en el apéndice B, se muestra un esquema del área de trabajo.

a. COC en el diagrama de Pareto.

Por otro lado, los resultados de introducir los datos en el DPAR se muestran en la figura 35.

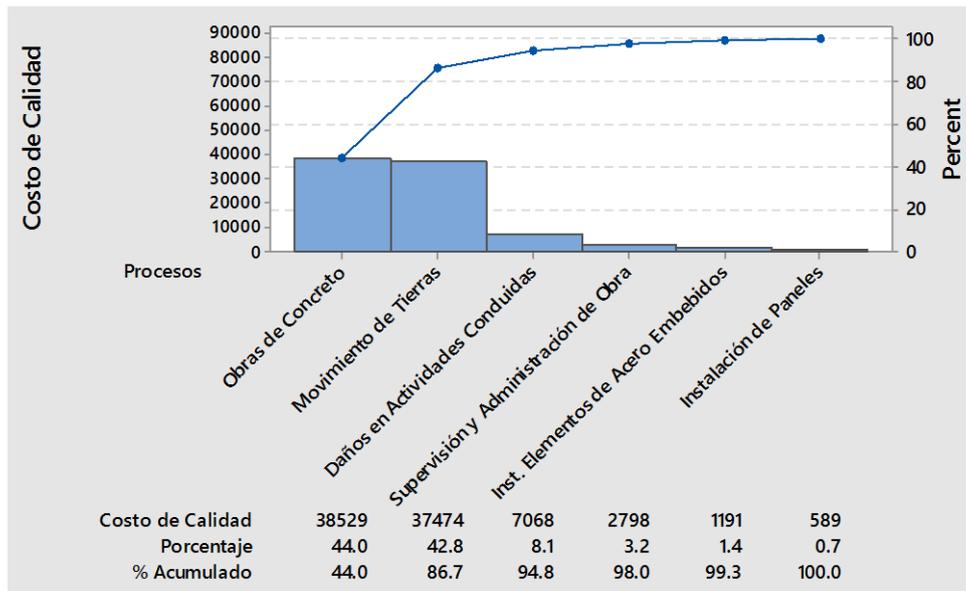


Figura 34. DPAR en el COC

Fuente: Elaboración propia

El diagrama de costo de calidad mostrado en la figura 35, muestra resultados divergentes al DPAR de número de NOC pues en este caso los pocos triviales del principio de Pareto son: OCONCRETO y MOTIERRAS, que sumados representan 86,7 % del total de costo de calidad.

b. COC en la prueba de normalidad.

Debido a que se requiere realizar correlaciones estadísticas, es preciso determinar con la prueba de normalidad si se utilizarán estadísticos paramétricos o no.

Ho: COC tiene un comportamiento normal.

Ha: COC no tiene un comportamiento normal.

Para el procesamiento se utilizó el *software* Minitab, (ver figura 34) y se consideró un nivel de significancia de 5 %.

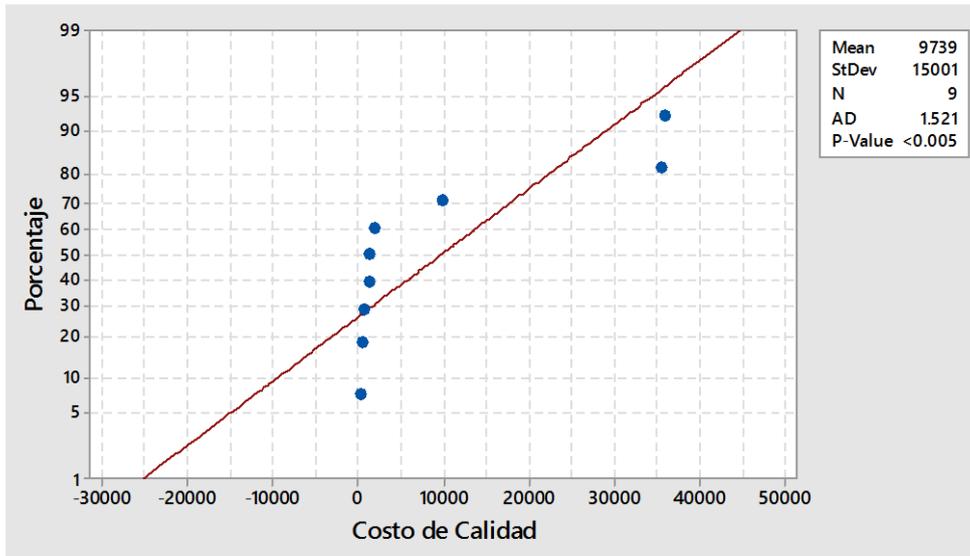


Figura 35. Comportamiento normal de COC

Fuente: Elaboración propia

En la figura 36, el coeficiente AD de 1,52, presenta un valor significativamente distante de cero que indica un comportamiento no normal de datos. Hecho que se confirma mediante el valor P, inferior a la significancia planteada, por lo cual se rechaza H_0 y se acepta H_a .

4.1.2.1.2.6 Contrastación de NOC y COC.

a. FMEA resumida para costo y número de NOC.

La matriz FMEA se realizó para ponderar las VCC o CPC que son los elementos críticos para la calidad, del cliente interno y externo, entorno a los cuales deben girar los esfuerzos para mejorar la calidad.

Para su ponderación se utilizó un rango de valoración de 0 a 10, con dos criterios, número (NOC) y costo (NOC).

Los resultados evidencian que los procesos OCONCRETO y MOTIERRAS tienen un RPN significativamente alto respecto a los demás procesos. Por lo cual,

la investigación a partir de este parte girará en torno a estos dos procesos. Pues, mediante la solución de estos problemas se solucionará representativamente los problemas de NOC y COC. Adicionalmente, aunque el RPN de SUPOBRA es inferior, se indagará al interior de este proceso.

Tabla 7

FMEA resumida mediante NOC y COC

Clasificación	Proceso	Recurrencia de NOC	Impacto de COC	RPN
NC03	OCONCRETO	7	10	70
NC02	MOTIERRAS	7	10	70
NC01	SUPOBRA	10	2	20
NC04	DAÑOBRAS	4	3	12
NC05	INSTPANELES	3	1	3
NC06	INSTACERO	3	2	6

Fuente: Elaboración propia

b. Resumen de la fase de definición.

Los resultados obtenidos en el estudio requieren ser entendidos y valorados desde el punto de vista de la importancia del cliente interno y externo. De otro modo, los beneficios de los esfuerzos realizados no tendrían el impacto necesario para

llevarlos a cabo, este es uno de los pilares de la metodología Six Sigma. De modo que, en la figura 37 se muestra un resumen de esta fase.

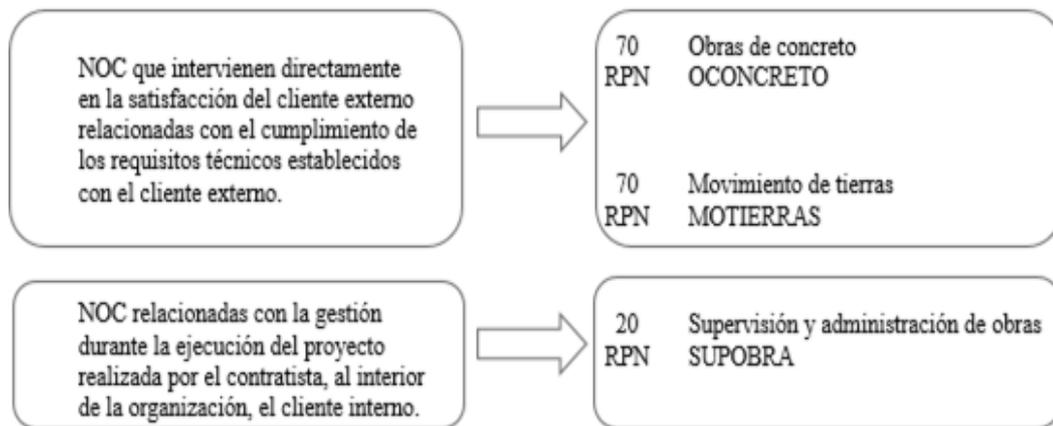


Figura 36. NOC y su relación con los clientes y procesos

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, debe advertirse que OCONCRETO y MOTIERRAS tienen un RPN de 70, significativamente sobre el promedio, en primera instancia, debido a los altos costos y, en segunda, debido al número relativamente importante de NOC. El tercer proceso crítico en el PMT es SUPOBRA que tiene el más elevado número de NOC, sin embargo, el costo asociado no es representativo del costo total, por lo cual, aunque su RPN es el tercero, representa menos de la tercera parte de OCONCRETO o MOTIERRAS.

En consecuencia, en la siguiente etapa, medir, se indagará al interior de estos procesos, principalmente, OCONCRETO y MOTIERRAS los procesos más representativos. Y, aunque su número de ponderación RPN no es alto debido a la baja correlación respecto a su costo, su importancia de número NOC es importante

por lo cual se incluyó tentativamente el tercer proceso más representativo: SUPOBRA.

Finalmente, los beneficios que se esperan obtener son: una mejora en la satisfacción del cliente externo, mediante una mejora en los productos entregados sumado a una mejora de la productividad que beneficiará al cliente interno de modo que se utilicen más eficientemente los recursos y cumplan con los plazos contractuales a fin de evitar penalidades.

4.1.2.2 Segunda etapa SS medición.

En esta etapa corresponde evaluar los CPC o VCC (OCONCRETO, MOTIERRAS y adicionalmente SUPOBRA) de modo que se pueda determinar su funcionamiento interno y establecer los principales defectos y ponderarlos, con este fin se siguieron una secuencia de pasos, para graficar esta secuencia se elaboró la figura 38, mostrada a continuación.

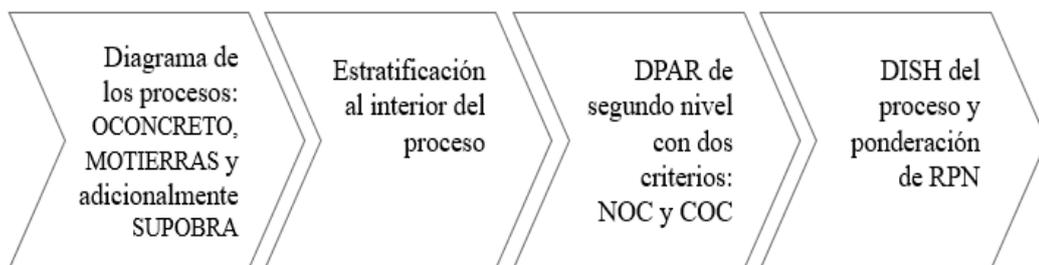


Figura 37. Pasos realizados en la etapa medir SS

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2.1 VCC de tipo OCONCRETO.

Comprende la variable crítica para la calidad enmarcadas en las obras de concreto realizadas durante el PMT, las cuales serán analizadas mediante los pasos enumerados en la figura 38.

4.1.2.2.1.1 Diagrama y descripción del proceso OCONCRETO.

El proceso OCONCRETO tiene cuatro actividades que cubren las actividades desde ingreso de insumos, denominado suministro, hasta la salida de los productos realizados, denominado curado. Asimismo, en la próxima imagen se observa un resumen de las actividades de este proceso, véase figura 39.

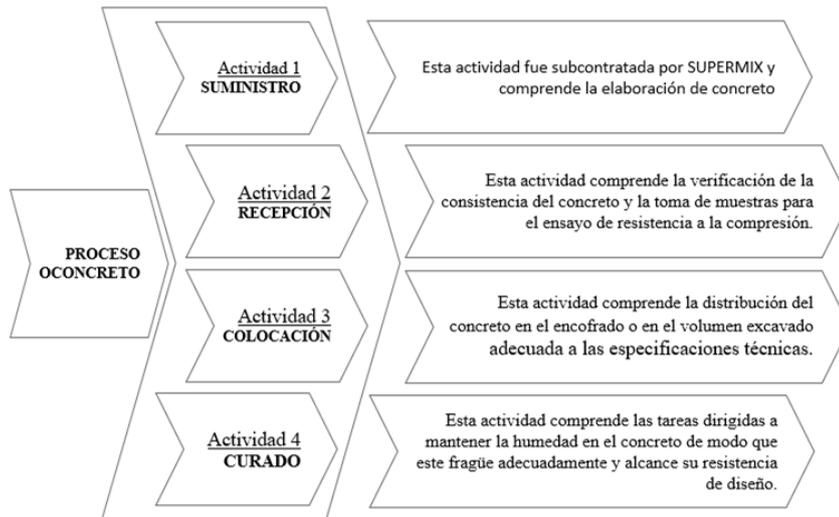


Figura 38. Pasos realizados en la etapa medir SS

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2.1.2 Estratificación del proceso OCONCRETO.

Las NOC del apéndice A fueron estratificadas por similitud de modo que se encontraron cinco agrupaciones o tipos los cuales se denominaron OCON001IMPUREZAS, OCON002FISURAS, OCON003GRIETAS, OCON004CONSTRUCCIÓN y OCON005CANGREJERAS, asimismo, sus NOC y COC se muestran en la tabla 8.

4.1.2.2.1.3 DPAR en el proceso OCONCRETO.

Los procesos estratificados en cinco tipos se examinan con los criterios de NOC y COC de modo que se pueda determinar mediante una ponderación porcentual la

naturaleza y características más importantes y a través de este análisis poder encontrar las causas raíz. Los resultados en ambos casos tienen diferencias.

Tabla 8

NOC de tipo OCONCRETO estratificadas por similitud

Tipo y código	Especificación	NOC (número)	COC (USD)
Impurezas en el concreto OCON001IMPUREZAS	Concreto con sustancias o elementos extraños que modifican la dosificación del concreto y generan decremento en la resistencia de diseño.	1	119,13
Fisuras en elementos de concreto OCON002FISURAS	Elementos de concreto con aberturas alargadas menores a 0.5 milímetros.	1	233,36
Grietas en elementos de concreto OCON003GRIETAS	Elementos de concreto con aberturas alargadas mayores a 0.5 milímetros.	1	34 419,04
Proceso constructivo deficiente OCON004CONSTRUCCIÓN	Aplicación inapropiada o errónea de procedimientos constructivos que generan productos que no cumplen con las especificaciones técnicas.	5	3 688,08
Cangrejeras en elementos de concreto OCON005CANGREJERAS	Vacios en los elementos de concreto debido a una mala praxis en la colocación del concreto.	1	69,79
Total		9	38 529,40

Fuente: Elaboración propia

En número de NOC tienen como principal proceso 55.6 % a OCON004CONSTRUCCIÓN. Por otro lado, mediante el criterio COC se

determina que OCON003GRIETAS representa en el 89.3 % del total, véase figuras 40 y 41.

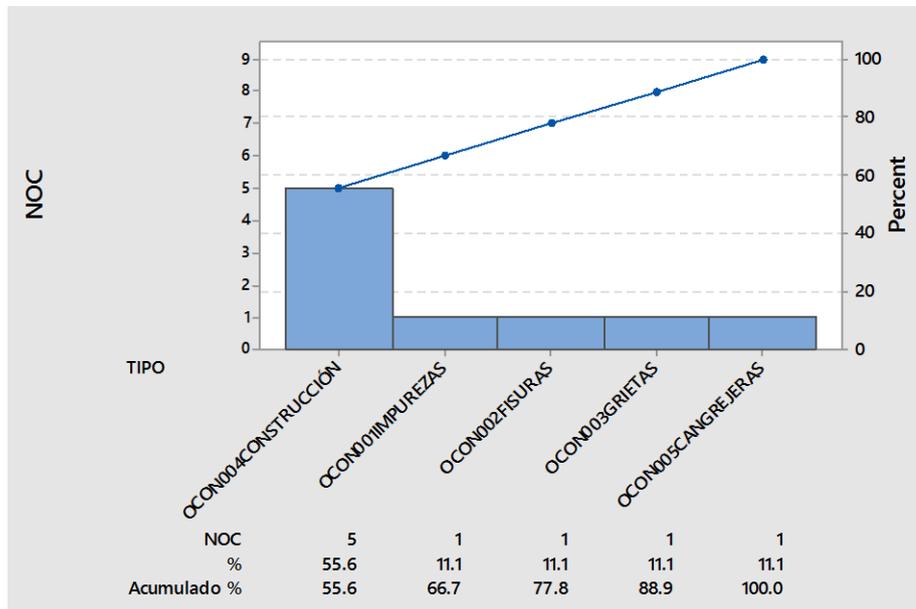


Figura 39. DPAR según criterio NOC

Fuente: Elaboración propia

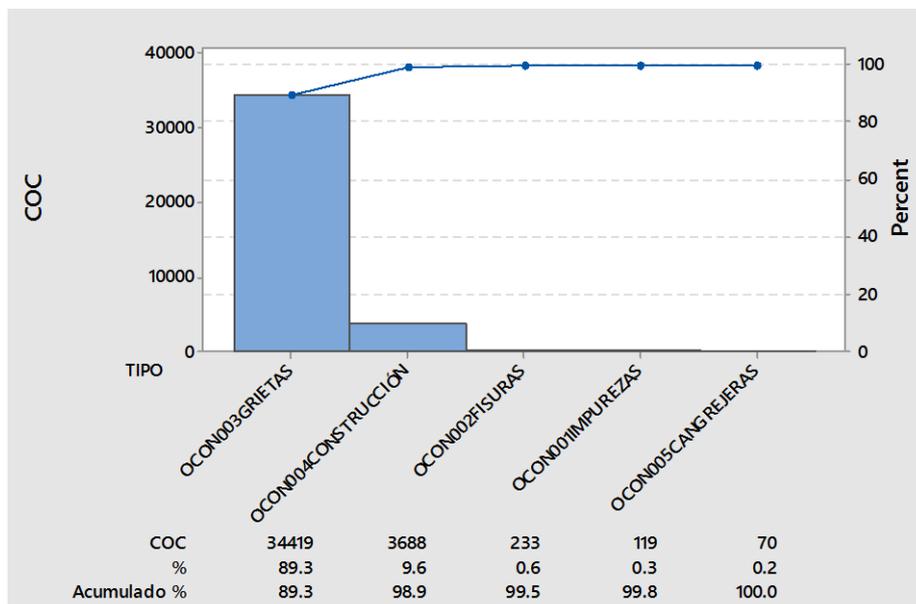


Figura 40. DPAR según criterio COC

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2.1.4 DISH y determinación del RPN del proceso OCONCRETO.

La elaboración del DISH tiene como principales ejes de análisis los tipos de NOC dentro del proceso OCONCRETO, véase figura 41.

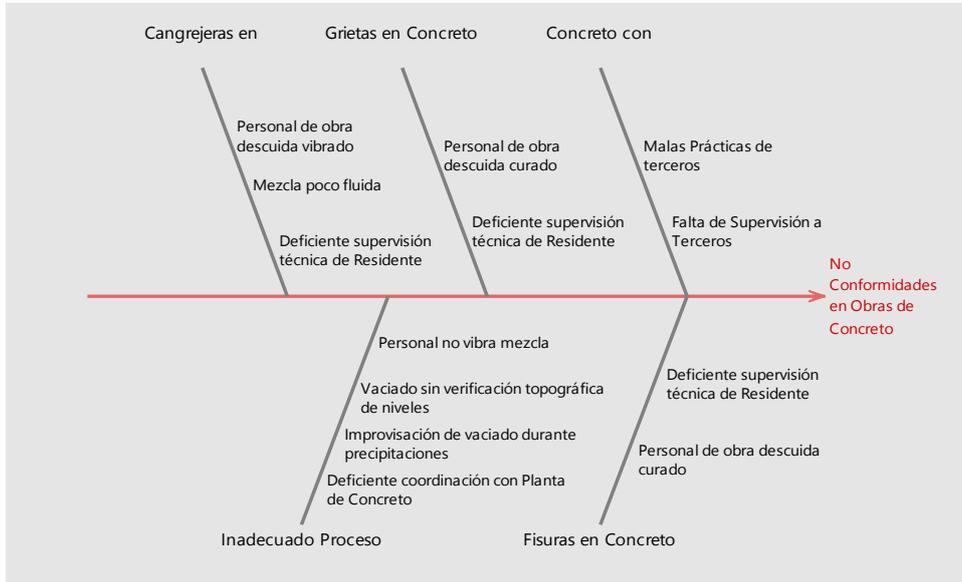


Figura 41. DISH para el proceso OCONCRETO

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la determinación del RPN se presenta en la tabla K2 del apéndice K.

4.1.2.2.2 VCC de tipo MOTIERRAS.

Comprende las VCC clasificadas como movimiento de tierras

4.1.2.2.2.1 Diagrama y descripción del proceso MOTIERRAS.

El proceso MOTIERRAS enmarca dos subprocesos corte y relleno, de modo que, se desagregaron las partes para su mejor comprensión, a continuación, se detalla cada una por separado.

a. Diagrama de corte y eliminación de material excedente.

Véase el diagrama en la figura 43.

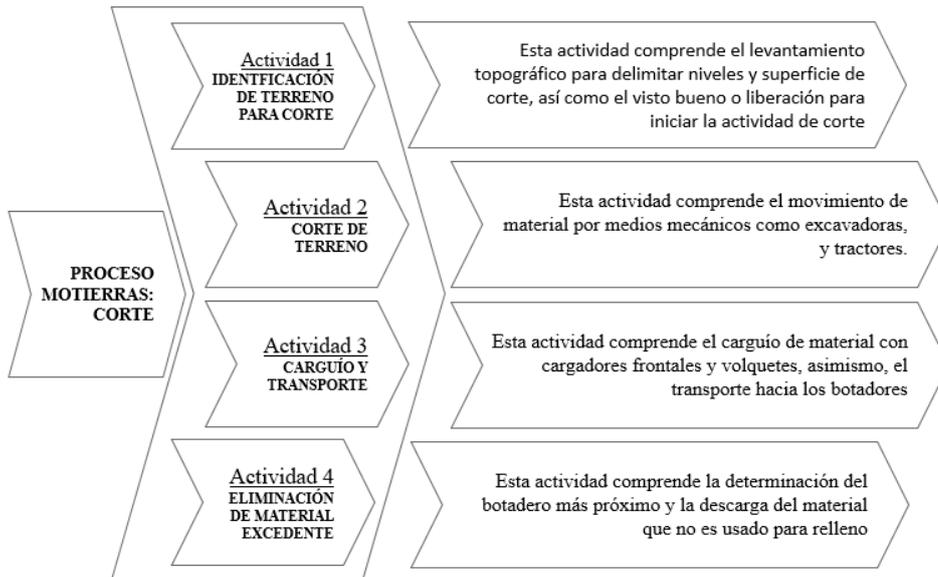


Figura 42. DISH para el proceso OCONCRETO

Fuente: Elaboración propia

b. Diagrama de relleno y compactación.

Véase el diagrama en la figura 44.

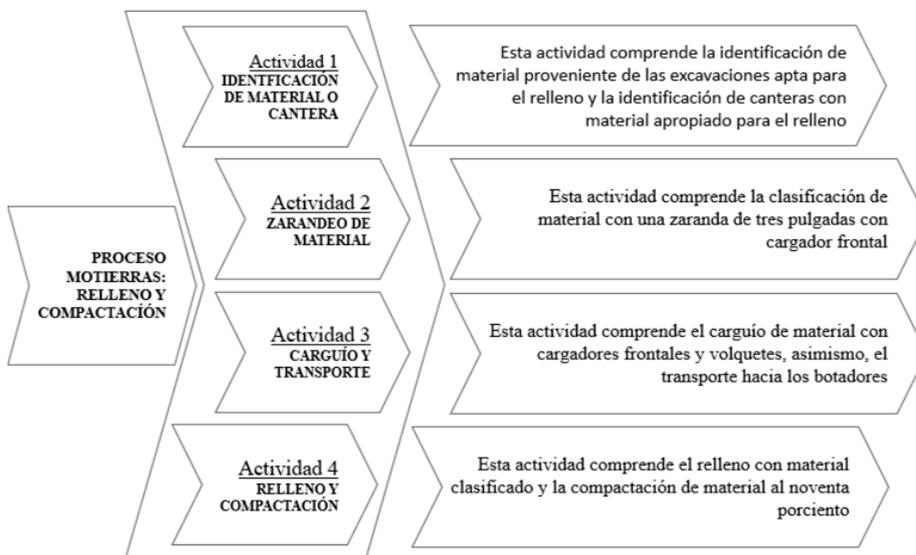


Figura 43. DISH para el proceso OCONCRETO

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2.2 Estratificación en MOTIERRAS.

Los resultados de la estratificación de este proceso se observan en la tabla 9 en la que se detalla el tipo, la especificación, además de los criterios NOC y COC asociados a cada tipo, véase la tabla 9.

Tabla 9

NOC de tipo MOTIERRAS estratificadas por similitud

Tipo y código	Especificación	NOC (número)	COC (USD)
Compactación no cumple especificaciones técnicas MOTIERR001COMPEETT	La compactación realizada no cumple las especificaciones de compactación	2	1 479,15
Sobre excavación MOTIERR002SOBREXC	Comprende las excavaciones adicionales que exceden los especificados en los planos	3	34 747,67
Errores en el corte de talud MOTIERR003CORTE	Cortes en taludes que no cumplen las EETT	1	250,05
Deficiente eliminación de material excedente MOTIERR004ELIMINA	Material excedente que permanece en obra y no fue eliminado oportunamente	1	459,29
Omisión de obras de protección pluvial MOTIERR005PLUVIAL	Omisión de obras provisionales dirigidos a brindar protección pluvial a los trabajos realizados en campo	2	78,15
Omisión de escarificado MOTIERR006ESCARIFI	Omisión de trabajos de escarificado para mejora de adherencia entre capas	1	459,29
Total		10	37 473,60

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2.2.3 DPAR en el proceso MOTIERRAS.

El DPAR con los criterios de NOC y COC ofrece resultados disímiles pero útiles para ponderar cada uno en el análisis de FMEA para obtener un RPN significativamente más confiable, véase figuras 45 y 46.

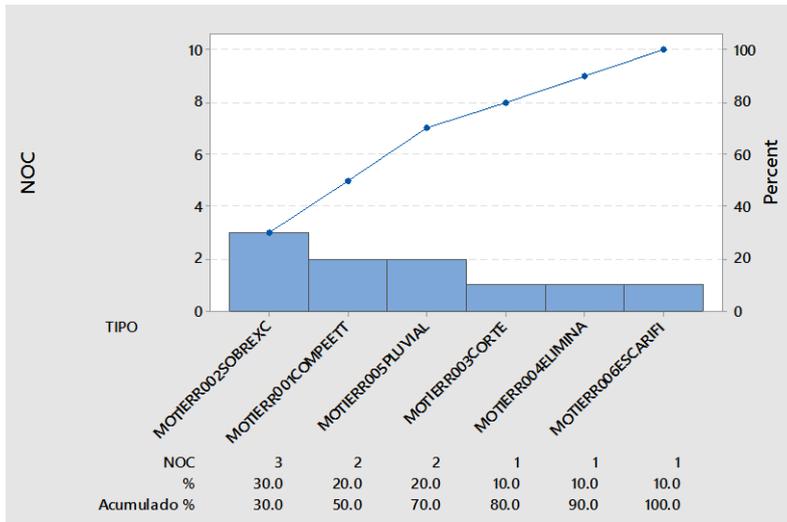


Figura 44. DPAR de NOC para el proceso MOTIERRAS

Fuente: Elaboración propia

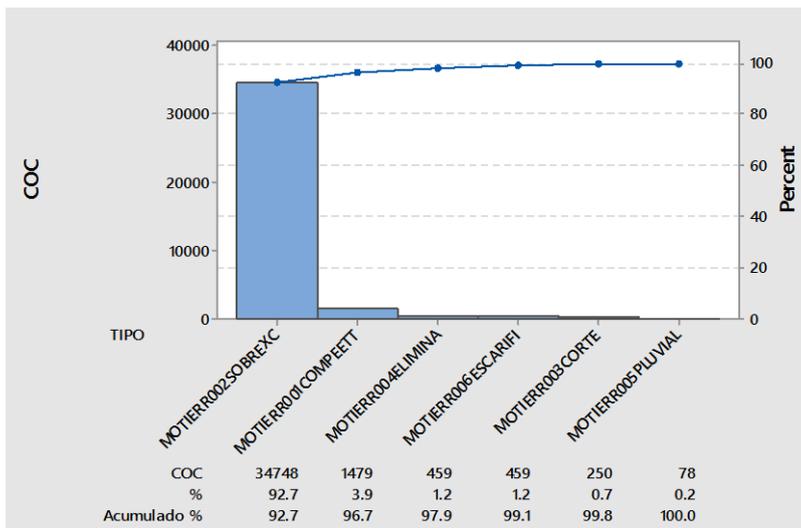


Figura 45. DPAR de COC para el proceso MOTIERRAS

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2.2.4 DISH y determinación del RPN del proceso MOTIERRAS.

La elaboración del DISH presentado en la figura tiene como principales ejes de análisis los tipos de NOC dentro del proceso OCONCRETO, véase figura 41.

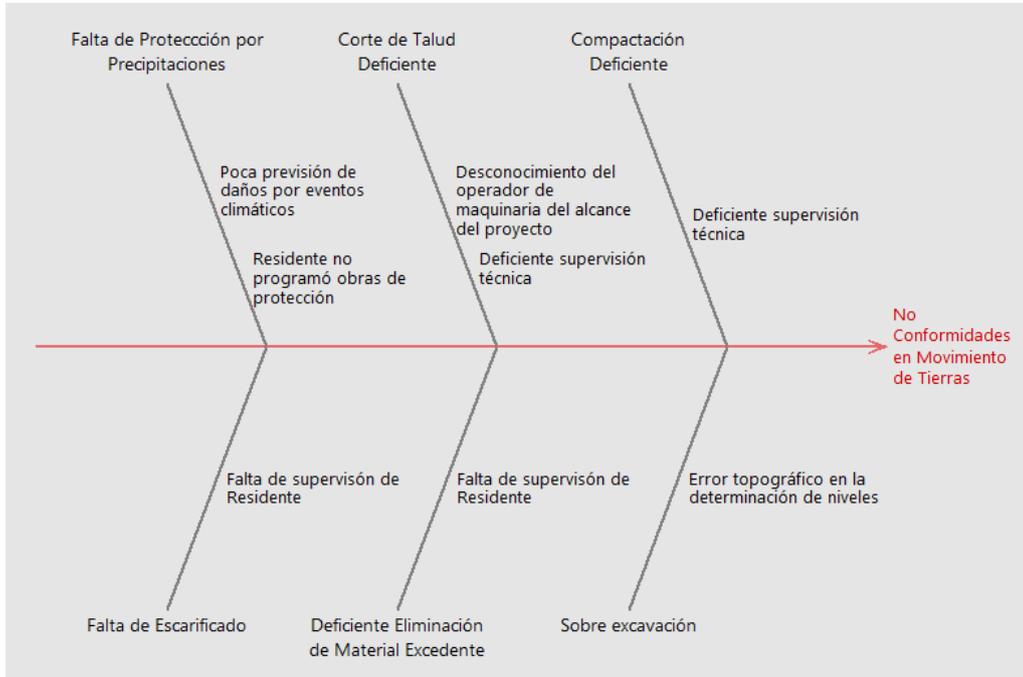


Figura 46. DISH para el proceso MOTIERRAS

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, la ponderación RPN se presenta en la tabla K3 del apéndice K, en el que se observará con mayor detalle el análisis realizado.

4.1.2.2.3 VCC de tipo SUPOBRA.

VARIABLES CRÍTICAS PARA LA CALIDAD DE TIPO SUPERVISIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE OBRA. Este proceso de orden administrativo presentó una ponderación RPN por debajo del promedio en la etapa definir. Sin embargo, su análisis resulta bastante útil y se incluyó como elemento de complementario.

4.1.2.2.3.1 Estratificación en SUPOBRA.

Se muestra en la tabla 10 a estratificación por similitud.

Tabla 10*NOC de tipo SUPOBRA estratificadas por similitud*

Tipo y código	Especificación	NOC (unidad)	COC (USD)
Ejecución sin liberación SUP001LIBERAR	Actividades realizadas sin aprobación de la empresa supervisora, mediante registros de liberación firmados	8	970,84
Ejecución sin procedimiento SUP002PROCED	Actividades realizadas sin documentación que establezca los detalles técnicos de ejecución	2	528,78
Retraso de protocolos SUP003PROTOCOL	Retraso en la elaboración de protocolos, los cuales deben tener la aprobación de del contratista y supervisor	5	327,80
Equipo defectuoso SUP004EQUIPOET	Equipo defectuoso o con averías que puede generar productos o subproductos terminados que incumplen las especificaciones técnicas	2	97.,28
Ensayo incumple EETT SUP005ENSAYOET	Ensayos que incumplen los procedimientos y malas prácticas realizadas en la realización de ensayos de concreto	1	48,64
Proceso constructivo incumple EETT SUP006CONSTRUC	Trabajos que no cumple los procedimientos constructivos de modo que existe alto riesgo de incumplir las especificaciones del proyecto	3	378,74
Control de calidad del subcontratista incumple EETT SUP007CONTROL3	Los subcontratistas no cumplen con procedimientos y su sistema de gestión de calidad	3	188,22
Déficit de supervisión SUP008SUPERVI	Supervisores de calidad ausentes en el frente de trabajo	1	69,79
Almacenamiento incumple EETT SUP009ALMACENA	Malas prácticas de almacenamiento y conservación de insumos de construcción	2	118,43
Ausencia de EETT en el proyecto SUP010FALTAEETT	No se cuenta con EETT en los frentes de trabajo y oficinas del proyecto	1	69,79
Total		28	2 798,31

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2.3.2 DPAR en SUPOBRA.

Diagrama con el que se indaga al interior de las NOC de tipo supervisión de obra como se observa en las figuras 48 y 49.

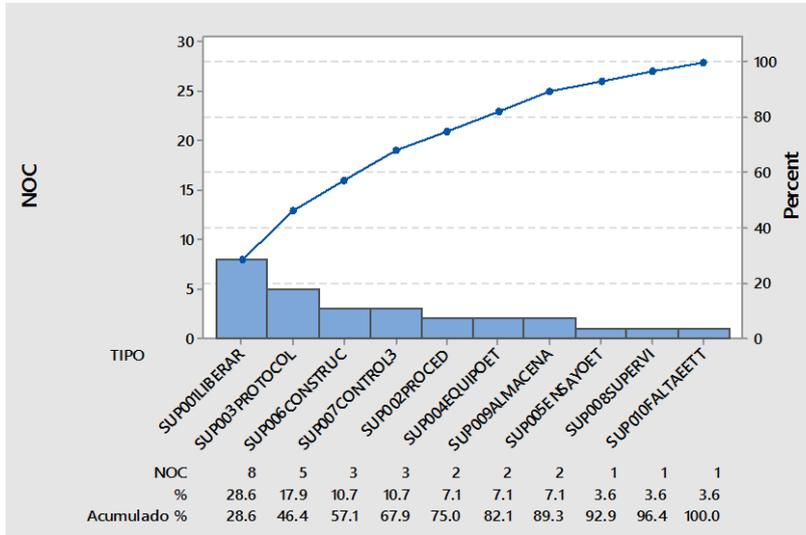


Figura 47. DPAR de NOC para el proceso SUPOBRA

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2.3.3 Diagrama de Pareto de COC en SUPOBRA.

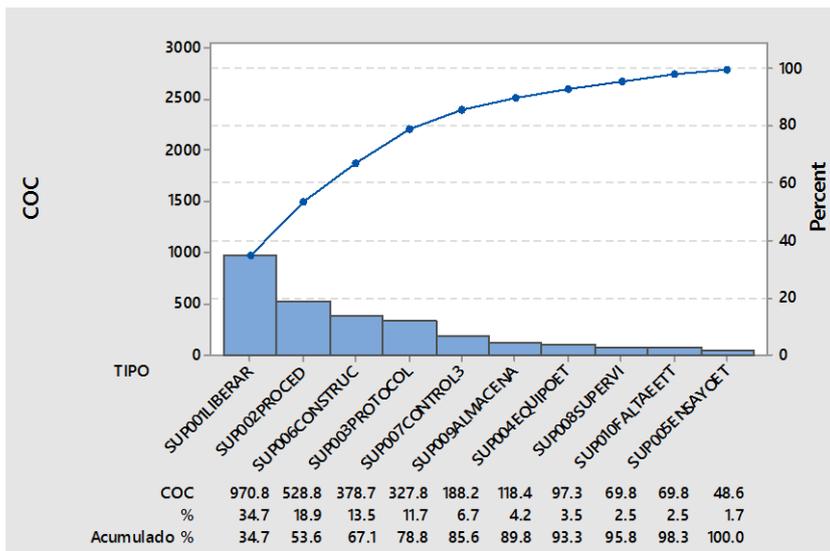


Figura 48. DPAR de COC para el proceso SUPOBRA

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2.3.4 DISH y determinación del RPN del proceso SUPOBRA.

El análisis se muestra en la figura 50 y los cálculos RPN en la tabla K4 del apéndice

K.

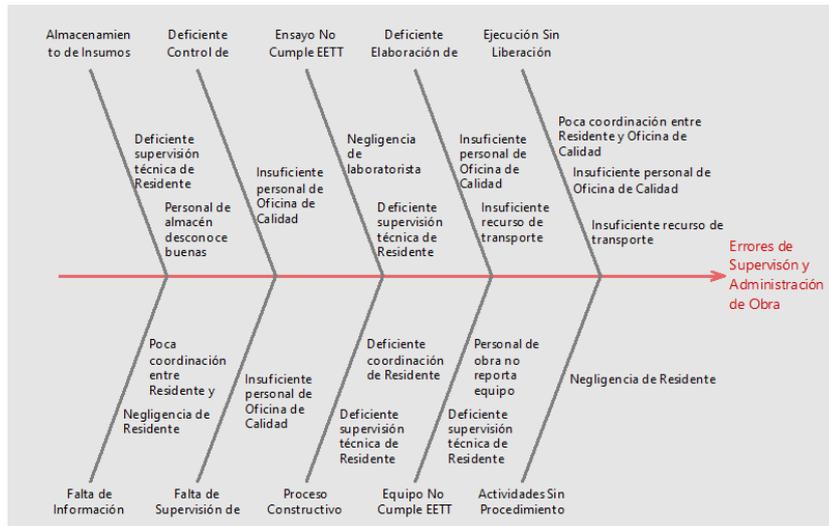


Figura 49. DISH del proceso SUPOBRA

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2.4 Variables críticas para la calidad.

De las variables críticas para la calidad analizadas OCONCRETO, MOTIERRAS y SUPOBRA, se observaron los siguientes elementos susceptibles y representativos de medición:

- a. Horas de coordinación
- b. Número de supervisores de calidad
- c. Número de camionetas

Asimismo, se descartó otra, como experiencia desde la colegiatura de residentes y NOC, cuya correlación muy baja de acuerdo con el coeficiente Spearman confirma este descarte. Complementariamente, en el apéndice F se puede apreciar más específicamente los detalles de esta prueba estadística.

4.1.2.3 Tercera etapa SS análisis.

Se analizaron los datos mediante gráficas C, I-MR y EWMA. Por otro lado, se evaluó la correlación existente entre NOC y COC. Luego, el cálculo DPMO y nivel sigma en los procesos OCONCRETO y MOTIERRAS.

4.1.2.3.1 Control estadístico de procesos.

4.1.2.3.1.1 Gráfica C para NOC.

De este análisis, se desprende que las NOC clasificadas por mes generan nueve puntos, que es el total de la población. Aunque, no se encontraron CEV estadísticas, el comportamiento de NOC no presenta aleatoriedad respecto al promedio, hecho que representa un comportamiento atípico que se evaluará con mayor detalle más adelante. Por otra parte, el gráfico muestra cuatro meses continuos sobre el promedio. Este comportamiento concluye en enero, es decir, es necesario analizar si los cambios disruptivos entre los meses posteriores a enero se deben a mejoras en los procesos y si fueron sostenibles o no, véase figura

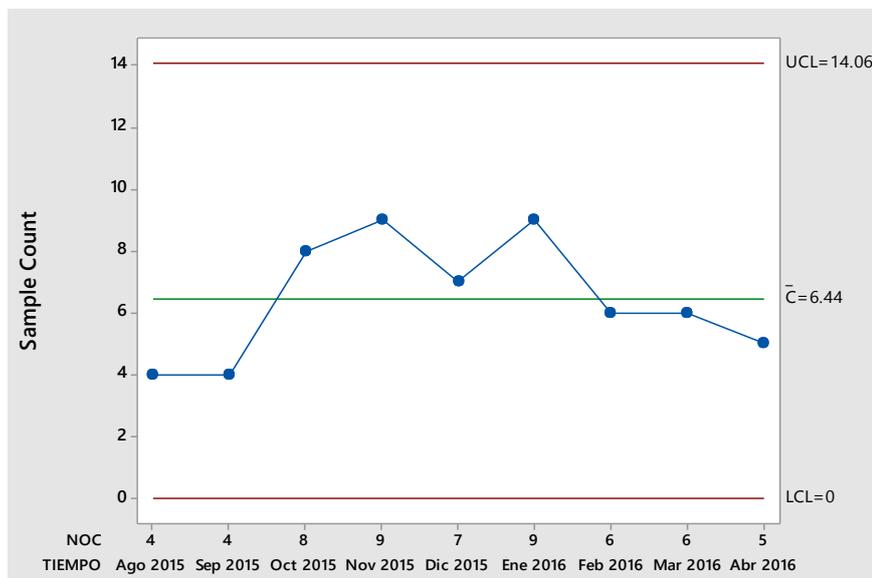


Figura 50. Gráfica C

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.3.1.2 Gráfica I-MR para COC.

Los datos COC agrupados por mes y visualizados en una gráfica para valores individuales y por rangos móviles se muestran en la figura 52. En esta no se observan CEV estadística. Por otro parte, no muestra aleatoriedad, aquello que visualmente parecen puntos sobre el promedio son altos costos debido a errores de los meses de noviembre (2015) y enero (2016) y generan una falsa percepción de aleatoriedad y comportamiento común. En consecuencia, este gráfico no es concluyente y resulta imprescindible interpretarlo mediante la prueba de hipótesis de que se hizo para e COC que indica un comportamiento no normal.

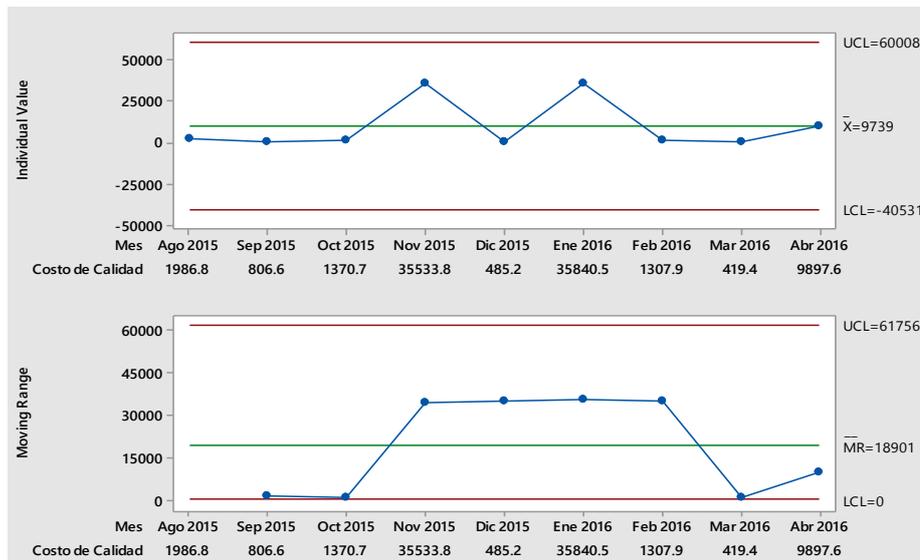


Figura 51. Gráfica de valores individuales y rangos móviles

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.3.1.3 Gráfico de dispersión NOC y COC.

Las figuras 53 y 54 muestran visualmente un comportamiento no lineal entre NOC y COC. De modo que, esta falta de correlación se verificará mediante una prueba de hipótesis.

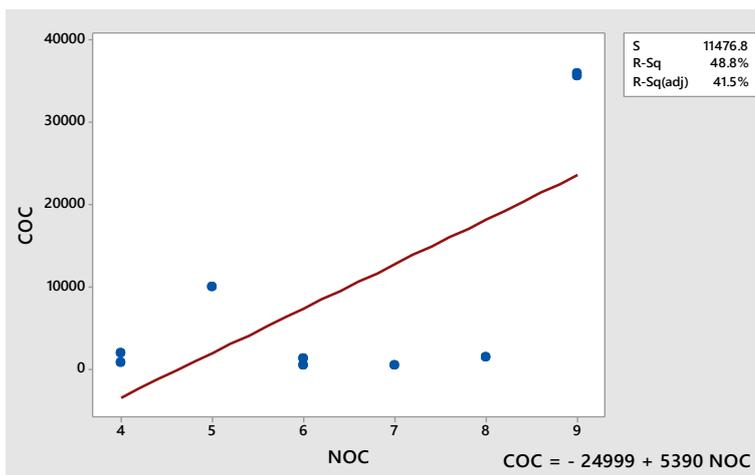


Figura 52. Diagrama de dispersión 01 de NOC y COC

Fuente: Elaboración propia

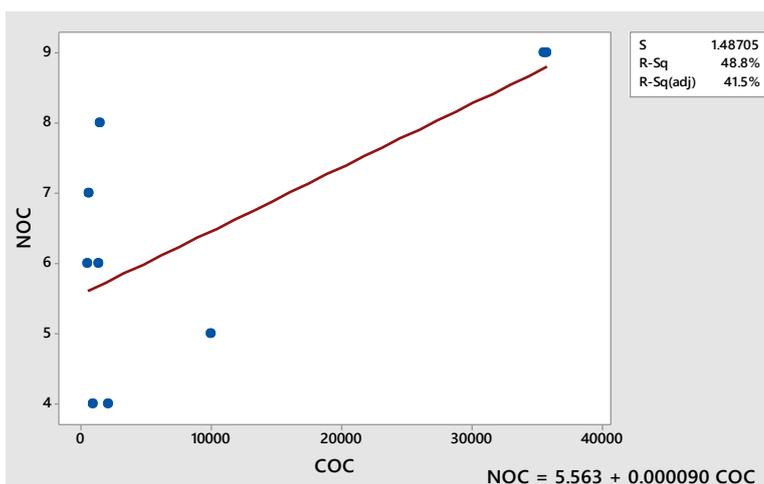


Figura 53. Diagrama de dispersión 03 de NOC y COC

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.3.1.3 Coeficiente correlación de Spearman NOC y COC.

La figura 53 mostraba poca correlación, por lo cual se realizó una corroboración de mediante el coeficiente de correlación de Spearman y el valor P para datos no paramétricos, a partir de los siguientes supuestos:

- Ho: No existe correlación entre NOC y COC.

- H_a : Existe correlación entre NOC y COC.

Con un nivel de significancia de 0,05 (5 %) y los siguientes parámetros del valor P:

- P valor $\geq 0,05$, se acepta H_0 .
- P valor $< 0,05$, se rechaza H_0 en consecuencia se acepta H_a .

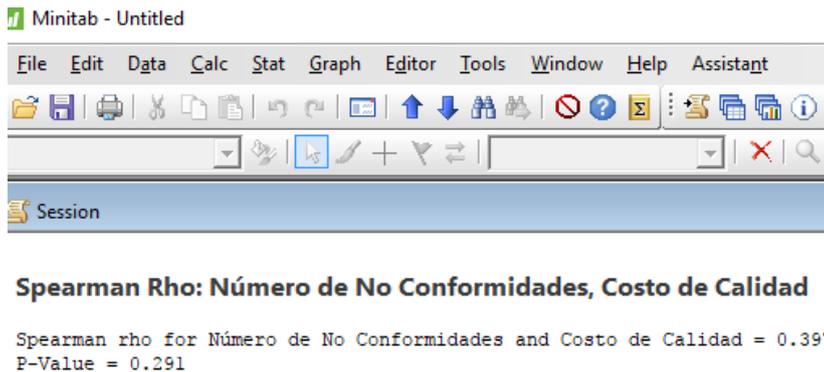


Figura 54. Coeficiente rho de Spearman

Fuente: Elaboración propia

La figura 55, indica una correlación positiva débil entre NOC y COC. Asimismo, un P valor que acepta H_0 . En consecuencia, se concluye que no existe correlación entre estas variables. Entonces, si estadísticamente se acepta que NOC y COC no varían linealmente, las probabilidades de reducir el impacto económico de las NOC en función a su número son muy bajas (ver apéndice G).

Por lo tanto, en parte debe mejorarse la calidad, entendida como una mejora de la productividad, mediante medidas preventivas y correctivas de costo de calidad.

4.1.2.3.1.4 Métrica SS de primer corte.

Este primer análisis corresponde al período comprendido entre noviembre de 2015 y enero de 2016. Para el cálculo de la métrica SS, en lugar del número de NOC o

se utilizaron los volúmenes de producción, los volúmenes defectuosos y el número de actividades dentro del proceso en el que se puede generar una NOC. Cálculo realizado para los principales procesos OCONCRETO y MOTIERRAS, el resumen de este cálculo se observa en la tabla 11.

Tabla 11

Métrica SS en fecha de primer corte

Ítem	Procesos		Descripción
	OCONCRETO	MOTIERRAS	
Fecha de primer corte	31/01/2016	31/01/2016	Fecha en la que se tomó las medidas
Volumen (m ³)	2 704,30	38 740,42	Volumen producido de concreto o volumen de material cortado o rellenado con maquinaria
NOC (m ³)	113,88	119,26	No conformidades en volumen del proceso
UND (m ³)	2 704,30	38 740,42	Equivalente al volumen producido en m ³
OPOR (UND)	4,00	4,00	Número de actividades dentro del proceso en las que puede presentarse una NOC
DPMO	10 527,68	769,61	Cálculo según ecuación 1
Nivel sigma σ	3,81	4,67	Ver tabla H1 del apéndice H

Fuente: Elaboración propia

En la métrica SS para el presente estudio se admite un factor DPMO de 3,4 y un nivel de sigma 6. En consecuencia, los valores analizados a enero de 2016 no satisfacen el estándar SS.

4.1.2.3.1.5 Diagramas de dispersión NOC y sus causas probables.

En la fase medir, se ponderaron tres elementos que contribuyeron a un incremento de NOC en el PMT. Estos factores, se evaluaron, a partir de un incremento en el mes de enero, para analizar su interacción con las NOC, véase la tabla 12.

Tabla 12

Probables causas raíz de las NOC en el PMT

Mes	Año	NOC (número)	Camionetas (número)	Supervisores (número)	Coordinación (hora s/mes)
Agosto	2015	4	4	1	4
Setiembre	2015	4	5	2	4
Octubre	2015	8	5	3	6
Noviembre	2015	9	6	4	6
Diciembre	2015	7	7	4	8
Enero	2016	9	10	5	11
Febrero	2016	6	10	6	13
Marzo	2016	6	11	6	19
Abril	2016	5	11	6	27
Total		58	69	37	98

Fuente: Elaboración propia

Los diagramas generados a partir de la tabla 12, indican la existencia de una posible correlación, prueba que se analiza en el siguiente ítem. Por otro lado, los puntos de evaluación tienen como referencia el inicio de los cambios asumidos por la empresa durante el mes de enero, fecha que coincide con un cambio en la jefatura de calidad y la gerencia del proyecto.

Estos cambios en la administración se observan ostensiblemente en un incremento de en número de supervisores, camionetas y horas de coordinación, los resultados se observan en las figuras 56, 57 y 58.

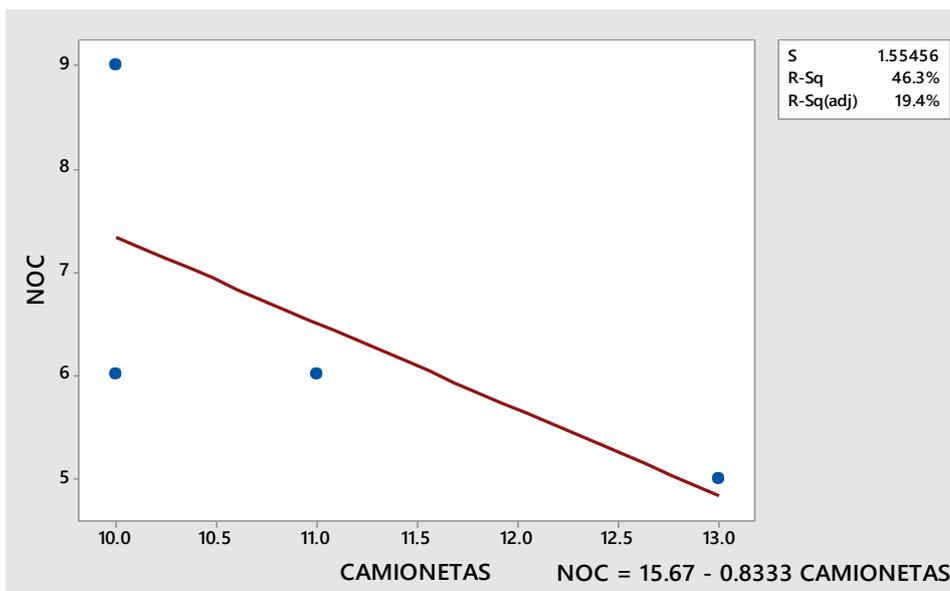


Figura 55. NOC y camionetas

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, las figuras 56, 57 y 58, muestran la relación existente entre las NOC y los elementos en listados en la tabla 12.

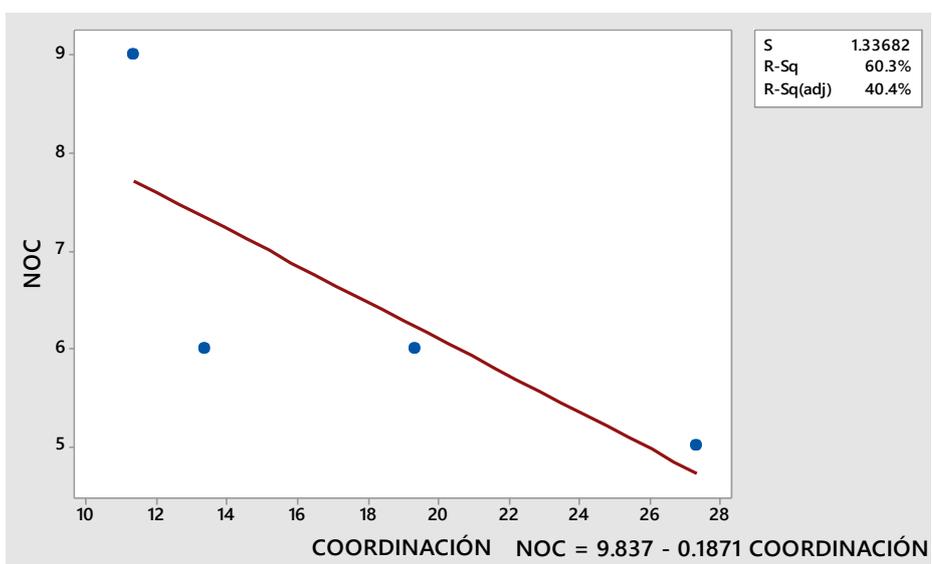


Figura 56. NOC y coordinación

Fuente: Elaboración propia

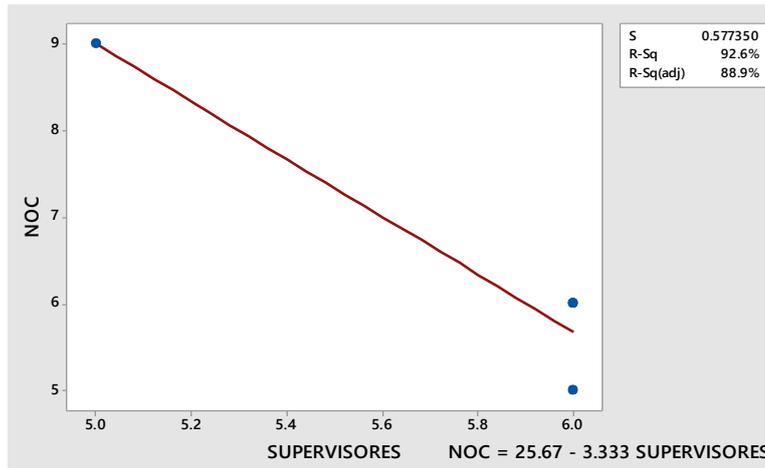


Figura 57. NOC y supervisores

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.3.1.6 Coeficiente de correlación.

El estudio tiene la población total de datos del PMT, de este conjunto se cuenta con cuatro puntos de comparación. Por consiguiente, no se puede establecer un comportamiento normal con este reducido número de datos, debe advertirse que es la población total.

Sin embargo, es posible utilizar el estadístico rho de Spearman para evaluar la correlación entre las variables y una prueba de hipótesis para establecer la probabilidad mediante el valor P.

De modo que se plantearon las siguientes hipótesis:

- Ho: No existe correlación entre las variables
- Ha: Existe correlación entre las variables

Asimismo, el nivel de significancia fue de 0,05 (5 %) con las siguientes condiciones de probabilidad del valor P:

- P valor $\geq 0,05$, se acepta la hipótesis nula (Ho).
- P valor $< 0,05$, se rechaza Ho y se acepta Ha.

Tabla 13*Rho de Spearman y valor P*

Descripción	NOC	Camionetas	Supervisores
Camionetas			
Rho de Spearman	- 0,833		
Valor P	0,167		
Supervisores			
Rho de Spearman	- 0,816	0,544	
Valor P	0,184	0,456	
Supervisores			
Rho de Spearman	- 0,949	0,949	0,775
Valor P	0,051	0,051	0,225

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la tabla 13 deben analizarse desde dos perspectivas, el valor P y el coeficiente rho de Spearman.

En la primera, se concluye, para todos los casos, la no existencia de correlación mediante valores P superiores a 0,05. Sin embargo, debe ser entendida como la poca probabilidad, en gran medida, debido a los insuficientes datos que tiene la población para brindar la probabilidad significativa.

La segunda perspectiva, corresponde al coeficiente rho que presenta una correlación negativa alta y se advierte en los gráficos de dispersión. Sin embargo, este vacío estadístico de correlación puede ser cubierta perentoriamente por la base estadística de la métrica SS, que se observa en la fase mejorar.

4.1.2.3.1.7 Deficiente control de indicadores de gestión (IG).

Los IG presentes en el plan de calidad del contratista y aprobados por el cliente son los mostrados en la tabla 14, los cuales, de acuerdo a lo estipulado, debían controlarse mensualmente, sin embargo, durante la investigación se encontraron deficiencias en el cumplimiento de este ítem del plan de calidad, visto desde dos perspectivas, control de los indicadores de gestión y cumplimiento de las metas para cada indicador.

Tabla 14

IG del contratista

Objetivos específicos durante la ejecución del PMT (código)	Indicadores del PMT	Metas del PMT
Cumplir el PMT en el plazo contractual (SPI)	$SPI = \frac{\% \text{ avance programado}}{\% \text{ avance real}}$	> 1,00
Satisfacción del Cliente (ISC)	Índice de satisfacción del cliente mediante encuestas	$\geq 80 \%$
Cierre de NOC en menos de un mes (%RNC)	$\% = \frac{RNC \text{ con tratamiento en proceso}}{RNC \text{ emitidas acumuladas}}$	80 %
Capacitaciones de personal del contratista (CAP)	$IC = \frac{Hh \text{ capacitación acum.}}{Hh \text{ acumuladas}}$	$\geq 0,05 \%$
Inspecciones de calidad del contratista (ICC)	$IC = \frac{\# \text{ Inspecc. Efectua. Acumul.}}{\text{Total Inspecc. Programadas}}$	$\geq 80 \%$

Fuente: SKEx Construcciones S.A.C., 2016

Respecto al control de los IG, se evaluó desde tres perspectivas, no controlados, aquellos no controlados durante ningún mes; deficientemente controlados, aquellos controlados por lo menos un mes o varios con interrupciones; y bien controlados, aquellos controlados cada mes véase la tabla 15.

Tabla 15*Control de IG del contratista*

Indicador de gestión	Cantidad (und)	Porcentaje (%)	Código
No controlados	1	20,00	ISC
Deficientemente controlados	2	40,00	%RNC / ICC
Bien controlados	2	40,00	SPI / CAP
Total	5	100,00	

Fuente: Elaboración propia

Respecto al cumplimiento de las metas, sólo CAP, capacitación de personal, presenta un cumplimiento durante los meses de marzo y abril que representa el 22,22 % respecto a los nueve meses de ejecución del PMT, un porcentaje bastante bajo que entre otras inferencias refiere la falta de personal en supervisión o movilidad para el transporte a campo.

Por otro lado, la capacitación brindada y controlada en los IG del plan de calidad corresponde a capacitaciones de seguridad y medio ambiente entre otros. Sin embargo, el tipo de capacitación de calidad que corresponden a estandarizar los trabajos en campo, es decir, capacitaciones técnicas para mejorar la productividad del proyecto no se realizaron. Además, cada cierre de NOC implica una medida correctiva, capacitación técnica para corregir, según refiere personal entrevistado: no se realizaba, sin embargo, se firmaba formatos de capacitación para corrección.

Finalmente, debe advertirse que entre los IG controlados o controlados deficientemente acumulan el 60 %.

4.1.2.4 Cuarta etapa SS mejoramiento.

En la etapa anterior se evaluaron las posibles causas de las NOC, aquellas susceptibles de medición, supervisores, coordinación y camionetas. Sin embargo, los resultados no fueron concluyentes.

Desde esta perspectiva, en esta etapa se utiliza las herramientas estadísticas del control de procesos, así como específicamente la métrica SS. De modo que, aunque se cuenta con una población de datos insuficiente para dar respuesta a través de un análisis de correlación, se cuenta con los datos necesarios para establecer la mejora de los procesos OCONCRETO y MOTIERRAS.

4.1.2.4.1 Gráfica EWMA (PMPE).

En la figura 56, se observa ostensiblemente la tendencia de decremento de NOC a partir del mes de febrero hasta abril. Estas fechas coinciden con los cambios mencionados anteriormente. Nótese la diferencia con la figura 51, de mismos datos.

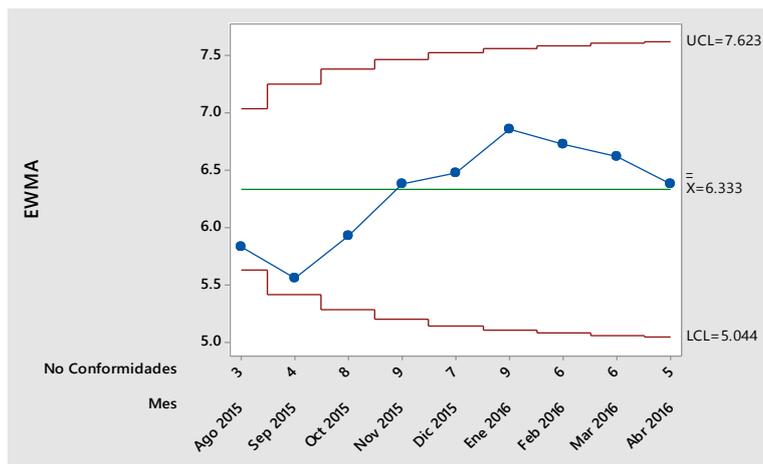


Figura 58. Gráfica EWMA (PMPE)

Fuente: Elaboración propia

El algoritmo de esta gráfica pondera el 20 % del valor de un dato sumado al 80 % del punto anterior, de modo el gráfico en sí plasma información histórica, por lo que se les denomina gráficas con memoria. Asimismo, a través de esta gráfica se hacen perceptibles desplazamientos inferiores a 1,5 desviaciones estándar. En este contexto, la gráfica EWMA en la figura 59, muestra la mejora significativa de los tres últimos meses.

Sin embargo, aunque EWMA permite observar esta tendencia con mayor claridad, es preciso observar que este es un nuevo indicio y no una prueba concluyente para determinar una mejora de calidad existente en los tres meses posteriores. Por consiguiente, es preciso realizar un nuevo cálculo de la métrica SS para confirmar la mejora.

4.1.2.4.2 *Métrica SS de segundo corte.*

Con fecha de corte 30 de abril de 2016, se realizó el segundo cálculo de desempeño de los procesos OCONCRETO y MOTIERRAS. Para este cálculo se consideraron los tres puntos referidos por el gráfico EWMA (PMPE) en los que se observa una tendencia de mejora.

Por otra parte, para mantener el principio de comparación entre la métrica de primer corte y la de segundo, el primero se delimitó a un período de tres meses, desde noviembre hasta enero y el segundo desde febrero hasta abril, de modo que ambos cuentan con un período equivalente. Y, por otro lado, ambos se encuentran en tendencias opuestas, la primera, positiva y la segunda, negativa, según el gráfico EWMA (PMPE).

La tabla 16, muestra los resultados del indicador DPMO y el nivel sigma, los detalles del cálculo sigma se pueden observar con detalle en el apéndice H.

Tabla 16*Métrica SS en fecha de segundo corte*

Ítem	Procesos		Descripción
	OCONCRETO	MOTIERRAS	
Fecha de segundo corte	30/04/2016	30/04/2016	Fecha en la que se tomó las medidas
Volumen (m ³)	6 151,56	53 057,06	Volumen producido de concreto o volumen de material cortado o relleno con maquinaria
NOC (m ³)	17,90		No conformidades en volumen del proceso
UND (m ³)	6 151,56		Equivalente al volumen producido en M3
OPOR (und)	4,00		Número de actividades dentro del proceso en las que puede presentarse una NOC
DPMO	727,46		Cálculo según ecuación 1
Nivel sigma σ	4,68		Ver tabla H1 del apéndice H

Fuente: Elaboración propia

En conclusión, la comparación DPMO y nivel σ en las dos fechas de corte muestra una mejora en el desempeño de OCONCRETO y MOTIERRAS. Debe advertirse, la falta de volumen de NOC en MOTIERRAS igual cero por lo que no se genera nivel σ . Esto no significa que las actividades de MOTIERRAS habían concluido, pues el proyecto tenía un retraso de aproximadamente 40% con varios frentes de MOTIERRAS pendientes.

4.1.2.5 Quinta etapa SS control.

Corresponde en esta etapa establecer un sistema de sostenimiento de las mejoras implementadas por el contratista.

- Control de número: NOC
- Control de costos: COC
- Control de NOC con enfoque SS

a. Control de número: NOC.

Las mejoras validadas de esta investigación se dieron a partir de la determinación de RPN, las gráficas EWMA (PMPE), con los valores DPMO y el nivel sigma de los procesos OCONCRETO y MOTIERRAS, evaluados en dos fechas de corte. Estas mejoras se iniciaron en enero, fecha en que se reemplazó al jefe de calidad, y se incrementaron horas de coordinación técnica, supervisores de calidad en campo y camionetas para personal de calidad.

Por lo tanto, se formularon instructivos de tipo poka yoke (ver apéndice L) para mantener las mejoras implementadas por el contratista.

Para el caso, horas de coordinación técnica se estableció como primer paso, la acción, que consiste en realizar reuniones de planificación de actividades en obra y como, segundo, la evidencia de la reunión que puede ser un informe o acta que en el que conste la planificación diaria y semanal, que cubra detalles técnicos a trabajar. Además, cuya reunión pueda ser en primera instancia entre supervisores y residentes, personal técnico y capataces, y en segunda instancia, entre residentes y personal de campo.

Asimismo, para el caso, dimensionamiento de recursos que presenta supervisores y camionetas, como primer paso, la acción, realizar reuniones de coordinación entre gerente de proyecto, jefes de áreas y supervisores, con base en rendimientos previos y metas sustentables. En la figura 60 se muestra un esquema resumen de los instructivos.

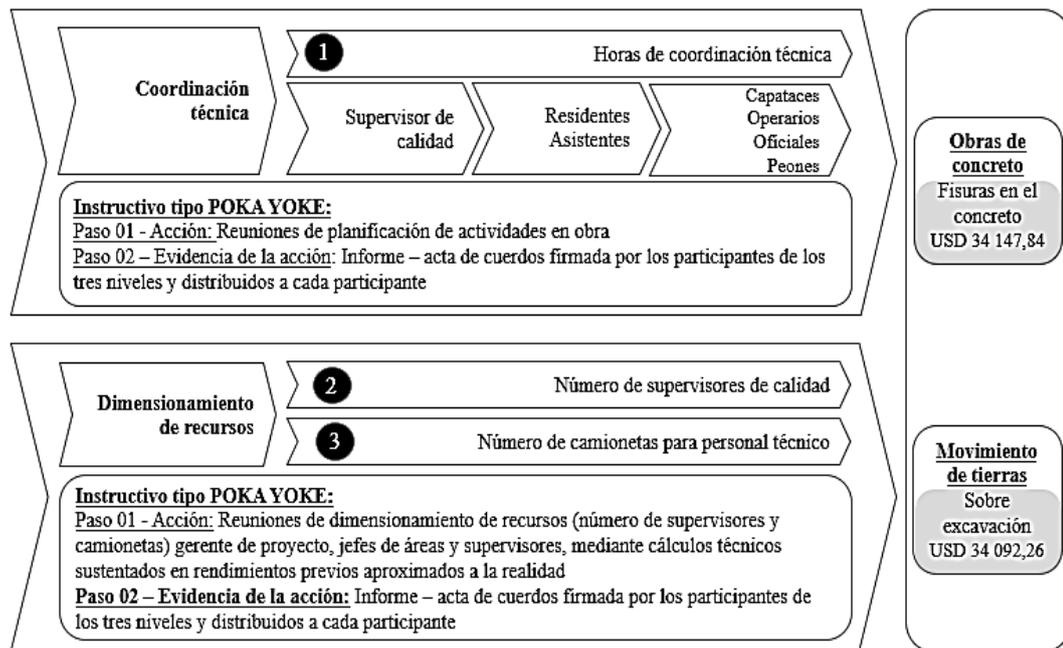


Figura 59. Control de NOC mediante instructivos tipo poka yoke

Fuente: Elaboración propia

b. *Control de costos: COC.*

El control de COC del proyecto se fundamenta en la no existencia de correlación entre NOC y COC. Asimismo, el control de costos se determinó desde estas tres perspectivas: COC del proyecto, COC por mes y COC por residente, los detalles de su análisis se pueden observar en el apéndice M. Seguidamente, se presentan las ecuaciones 3, 4 y 5 del control de costos de calidad y a continuación los criterios de su inclusión en el estudio.

El control de costo del proyecto consiste en:

$$PCA = \frac{CCA}{PTP} \times 100 \dots\dots\dots [Ecuación 3]$$

Donde:

PCA = Porcentaje de costo de calidad aceptado por el cliente.

CCA = Costo de calidad aceptable para el cliente.

PTP = Presupuesto total del proyecto.

El control de costos por mes consiste en:

$$\text{Costo de calidad por mes} = \frac{PTP \times PCA}{NME} \dots\dots\dots [Ecuación 4]$$

Donde:

PTP = Presupuesto total del proyecto.

PCA = Porcentaje de costo de calidad aceptado por el cliente

NME = Número de meses de ejecución programada.

El control de costos por residente consiste en:

$$\text{Costo de calidad por residente} = \frac{PTP \times PCA}{NR \times NME} \dots\dots\dots [Ecuación 5]$$

Donde:

PTP = Presupuesto total del proyecto.

PCA = Porcentaje de costo de calidad aceptado por el cliente

NME = Número de meses de ejecución programada.

NR = Número de residentes del proyecto.

El control de costos de calidad del proyecto se fundamenta en el coeficiente de correlación de Spearman y el valor P que niega la probabilidad de correlación. En segundo lugar, el control de costos de calidad por mes tiene base en que el determinar el costo de calidad del proyecto es un indicador general o global y desde el punto de vista de la mejora continua y de corto plazo, se requiere de indicador más próximo, este es por mes

Finalmente, el control de costos de calidad por residente, también, se sustenta en el coeficiente de correlación de Spearman y el valor que niega una probable correlación.

En resumen, el control de COC tiene un fundamento estadístico y forma parte de la mejora de la reducción de NOC. Complementa la noción de reducción de NOC, de modo que, se dirige a evitar la repetición de aquellos de tipo nocivo financieramente. Además, en esa perspectiva, promueve la productividad de la empresa, véase figura 61.

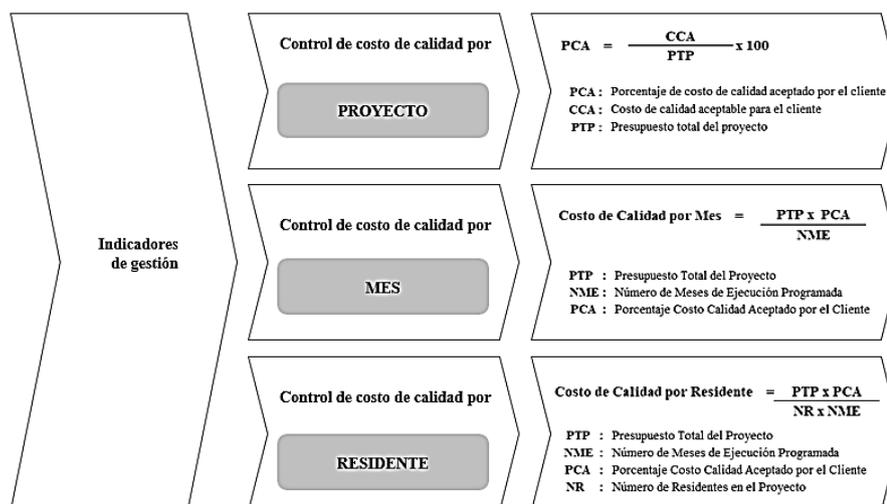


Figura 60. Control de COC mediante indicadores

Fuente: Elaboración propia

c. Control de NOC con enfoque SS.

El contratista tiene un enfoque ISO 9001 para el tratamiento de NOC. Este se entiende desde dos puntos de vista, el primero: documentar el reproceso, cuya finalidad es corregir los errores para registrarlos, valorizar los productos y obtener el pago. Y, el segundo, documentar las acciones correctivas y preventivas, orientadas a evitar la repetición de una NOC existente o potencial.

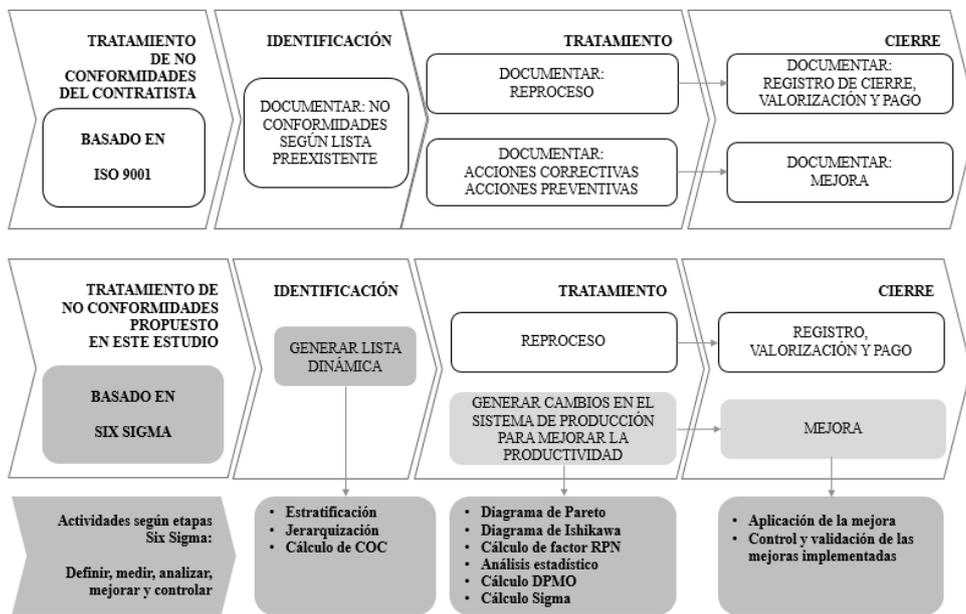


Figura 61. Control de NOC con enfoque SS

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, la figura 62 también muestra el enfoque SS, desarrollado en este estudio, dentro del esquema ISO 9001 del contratista. Y consiste en, específicamente, generar una lista dinámica con enfoque a procesos. También, se propone la utilización de las herramientas SS enlistadas en la parte inferior y cuya secuencia tiene como soporte las etapas de la metodología SS: DMAIC, orientados a generar cambios sistemáticos.

d. *Diferencias entre los sistemas: documental y de mejora de calidad.*

Luego de los análisis realizados al sistema de gestión de calidad de la empresa contratista cuya base son las normas ISO 9001, se puede afirmar que su propósito es documental.

Por lo cual, no existe base suficiente para afirmar que el denominado (o erróneamente llamado) sistema de gestión de la calidad ISO 9001 en la empresa contratista, no es propiamente un sistema de mejora de la calidad, pues no se concentra en la productividad. En este aspecto, el contratista así como las principales empresas del país con certificación ISO 9001 (ver apéndice E), deben tener en consideración lo afirmado por Evans y Lindsay (2008), Hope y Player (2016) y Krajewski et al. (2008), respecto a las normas ISO 9001: son normas de documentación de la calidad.

Se hace énfasis en este hecho debido a que muchos profesionales de la empresa contratista tienen una idea equívoca de su sistema de gestión de calidad. En este contexto, es impreciso que se afirme que el sistema de gestión de la calidad basado en ISO representa una mejora de la calidad, pues debe entenderse términos de mejora de la productividad.

Finalmente, la corroboración de la preminencia documental del sistema de gestión de calidad ISO 9001, en el contratista, no da espacio a la mejora de calidad, en términos de productividad. Asimismo, en la figura 63, se observa un esquema de control de mejora y control de calidad propuesto en este estudio, generado a partir del enfoque *Six Sigma* en contraste con el sistema de mejora documental ISO 9001. Las diferencias son evidentes, la mejora de la calidad genera soluciones sistemáticas y su propósito no es documentar.

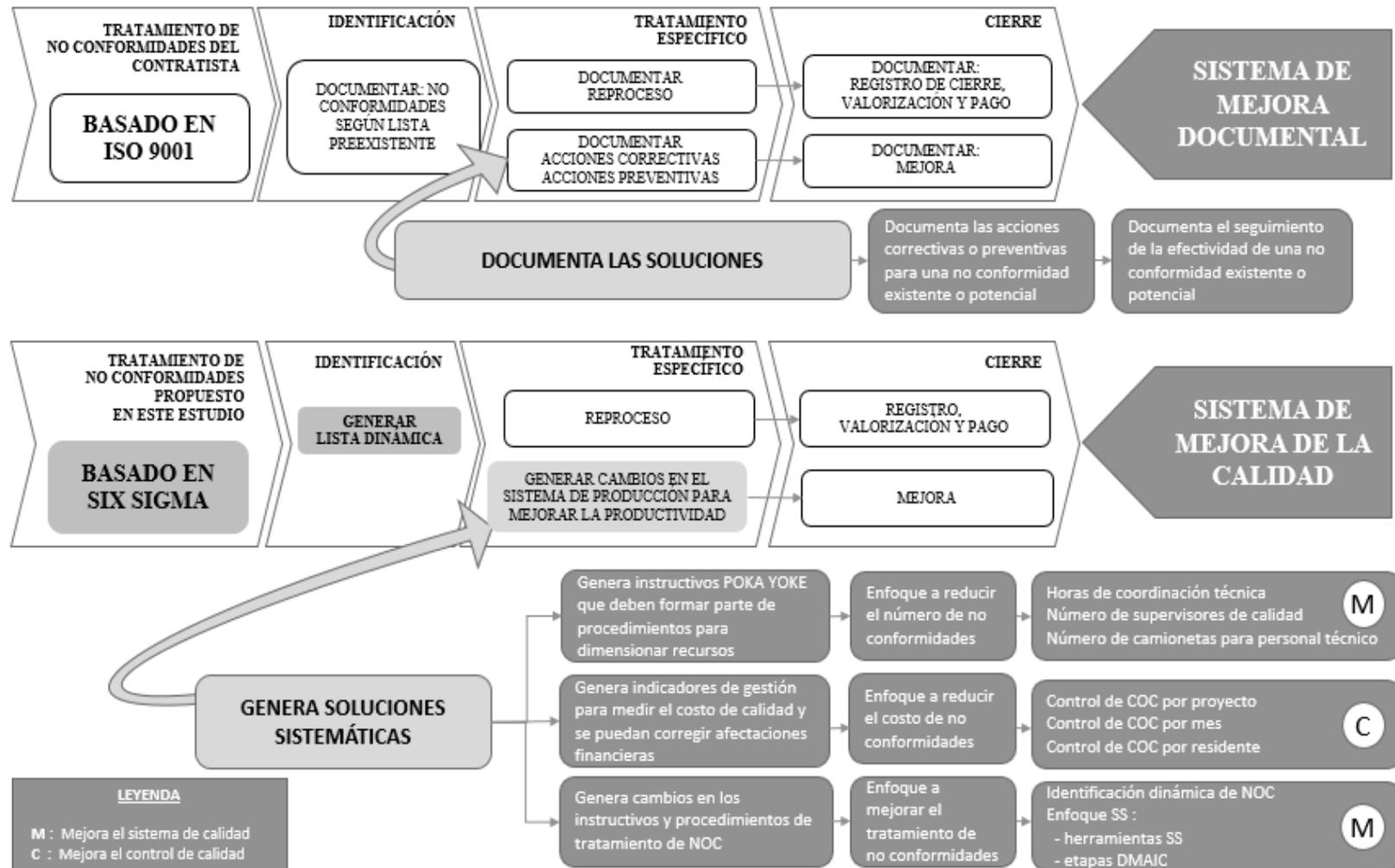


Figura 62. Enfoque del contratista basado en ISO 9001 y Six Sigma

Fuente: Elaboración propia

e. *Control para la mejora de calidad en la construcción.*

La mejora de la calidad en la construcción bajo un enfoque *Six Sigma* requiere de compromiso inicial desde la alta dirección, para fijar políticas, estrategias, objetivos y asignar recursos necesarios para configurar un escenario propicio. De modo que esta responsabilidad se traslade adecuadamente a los estratos inferiores.

En este contexto, Chávez (2017) afirma que existen tres niveles organizacionales la alta dirección, nivel directivo y nivel operativo, asimismo, cada nivel tiene actividades de planificación y control distintas: el primero, se encarga de la planificación de la estratégica (nivel estratégico), el segundo, del control de gestión (nivel táctico) y el tercero del control de actividades (nivel operativo). En consecuencia, cada nivel se encuentra asociado a un tipo de control distinto.

Desde esta perspectiva los errores se producen a nivel de dimensionamiento de recursos, es decir la responsabilidad recae en el personal de responsable táctico, como se observa en la figura 64. Sin embargo, son las decisiones estratégicas las que delimitan su campo de acción por lo cual los cambios deben partir de ese nivel.

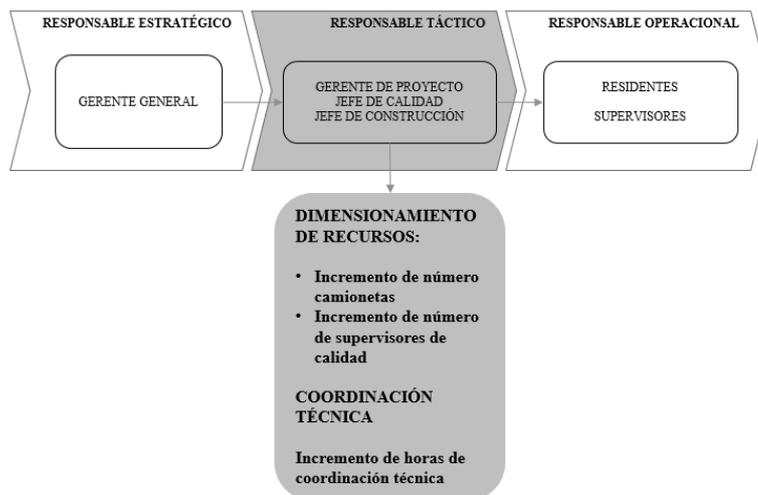


Figura 63. Responsables de los procesos

Fuente: Elaboración propia

4.2 Contratación de hipótesis

4.2.1 Contraste de hipótesis general.

El cálculo de la métrica *Six Sigma* permite observar que nivel de calidad de la empresa contratista, en enero de 2016, para obras de concreto es 10 527,68 DPMO y para movimiento de tierras 769,61 DPMO. Por lo cual, con base en este indicador de desempeño se puede afirmar que la empresa contratista no satisface los criterios de calidad *Six Sigma* cuyo objetivo es 3,4 DPMO, es decir, existe un excesivo número de no conformidades en ambos procesos.

Por otro lado, la métrica DPMO evaluada en el mes de abril de 2016 para obras de concreto presenta un factor de 727,46 DPMO y movimiento de tierras uno factor de cero DPMO. Estos valores DPMO del mes de abril, en contraste con los valores del mes de enero representan una mejora significativa en ambos casos. Sin embargo, con base en los estándares de calidad *Six Sigma*, se requiere verificar una mejora estructural y sistemática de modo que se reduzca la variabilidad de los errores en los procesos obras de concreto y movimiento de tierras. Contexto que evitaría a la organización generar nuevas no conformidades en una circunstancia de construcción similar. De ese modo, la empresa contratista no evidencia mejoras sistemáticas expresadas en el manual de calidad, procedimientos, instructivos y ningún tipo de dispositivo de mejora. Es decir, las mejoras implementadas no son sostenibles en el tiempo. Asimismo, se observa que la mejora mostrada en el factor DPMO se origina en la iniciativa individual y particular de algunos de los profesionales del contratista, de nivel táctico como gerente de proyecto y jefes de área, además, de nivel operativo como residentes y supervisores de calidad. Sin

embargo, este esfuerzo grupal temporal de buena voluntad es producto de una respuesta improvisada para dar solución de modo asilado y parcial como lo muestran los indicadores DPMO y no estructural ni sistemático como exige una mejora de calidad en la construcción según los estándares *Six Sigma*.

4.2.2 Contraste de hipótesis específicas.

- La definición de no conformidades no cumple los estándares de calidad *Six Sigma*. Definición, entendida como la identificación de los elementos VCC o CPC, requisitos cuyo cumplimiento es importante para el cliente interno o externo. Por otra parte, el contratista, concentra su tarea en identificar y clasificar los errores y cerrarlos para iniciar un proceso de pago. Sin embargo, en esa misma línea de análisis, aún la identificación y clasificación de no conformidades, realizadas por el contratista, permite observar dos criterios equívocos según la metodología *Six Sigma*, cuyo origen está en el no enfoque a procesos y que da lugar a dos puntos característicos importantes, en primer lugar: generalización (17 no conformidades clasificadas como proceso constructivo y 13 como no cumple especificaciones) y, en segundo lugar, vaguedad léxica que genera la utilización de palabras baúl como: otros; clasificación que hace referencia a un conjunto de procesos.
- El número de no conformidades del contratista no cumple con los estándares de calidad *Six Sigma*. Cuya evaluación de enero de 2016 en los procesos obras de concreto y movimiento de tierras son de 10 527,68 DPMO y 769,61 DPMO, respectivamente. Factores DPMO que exceden largamente el número de no

conformidades de 3,4 que es el nivel de calidad equivalente a seis sigma de los procesos analizados.

- La reducción de no conformidades observadas en el mes de abril respecto a enero del mismo año (2016), en los procesos de obras de concreto con un factor de 727,46 DPMO y movimiento de tierras con un factor de cero DPMO muestran un cumplimiento parcial del objetivo en la métrica DPMO en movimiento de tierras, sin embargo, persiste un alto nivel de no conformidades de tipo obras de concreto.
- No existe evidencia de mecanismos de sostenimiento de las mejoras, desde el enfoque Six Sigma, implementadas, a raíz de la disminución del factor DPMO en el mes de abril, que estén relacionados a modificaciones en el manual de calidad, procedimientos o instructivos con un enfoque de mantener las mejoras. Los registros de medidas preventivas con las que cuenta el contratista y que contienen recomendaciones, desde la perspectiva Six Sigma, son poco significativas pues dan soluciones a casos particulares, es decir, no generan cambios sistemáticos.
- No se observa evidencia del uso adecuado de mecanismos de control, elemento imprescindible para mantener las mejoras de la calidad en la construcción durante la ejecución del PMT. Los mecanismos de control encontrado en la empresa contratista son indicadores de gestión, que incluyen el cierre de no conformidades, se orientan a un control en el sentido de reporte y registro. En este contexto, evaluación realizada muestra que los indicadores de gestión, muestra que no fueron utilizados para la toma de decisiones de mejora de la

calidad en la construcción. En este aspecto, se puede especificar que 40 % de indicadores fueron deficientemente controlados y 20 % no controlados.

4.3. Discusión de resultados

Desde ese punto de vista, este estudio determinó que el contratista mostró una mejora en la métrica *Six Sigma* DPMO presentando una reducción de número de no conformidades en el proceso de movimiento de tierras satisfactoria de 769,61 DPMO a cero DPMO. Sin embargo, en el proceso obras de concreto muestra una reducción importante, pero no concluyente, de 10 527,68 DPMO a 727,46 DPMO. Sin embargo, la mejora de esta métrica es suficiente para validar e incluir los elementos contributivos a la reducción del número de no conformidades que se describieron en este estudio como: incremento de número de personal de calidad, incremento en el número de camionetas, incremento de reuniones de coordinación entre residentes y supervisores de calidad e incremento de capacitaciones técnicas en obra.

Pero, por otro lado, esta mejora tiene dos elementos nocivos para el contratista, el primero: las mejoras no son sistemáticas. Lo cual, crea una falsa apariencia de mejora pues desde el plan de administración de las no conformidades hasta las soluciones implementadas por el contratista, no existe evidencia de mejoras como el establecimiento de planes, procedimientos, instructivos que eviten la repetición de no conformidades, o dicho de otro modo, que disminuyan la variabilidad de los procesos.

El segundo, corresponde a la no existencia de correlación entre el número de no conformidades y el costo de calidad según el coeficiente de correlación de Spearman (0,397) corroborado con una prueba de hipótesis con base en el valor P

igual a 0,291, mayor a 0,05, por lo cual se aceptó la hipótesis nula que afirma la no existencia de correlación entre las variables analizadas. Es decir, las no conformidades deben administrarse y evaluarse no sólo por número sino por costo. Desconocer y soslayar este hecho puede conducir a problemas perjudiciales en términos económicos para el contratista. En este contexto, en una investigación del mismo autor de esta investigación se sugirió que la “jerarquización de NC se realiza según el número de reincidencias” (Uribe, Meléndez y Campos, 2016, p. 102), sin embargo, en el presente estudio se observa con base estadística que número y costo tienen similar importancia en el tratamiento de no conformidades, herramientas más adecuadas para este caso son el análisis de Ishikawa y el análisis modal falla efecto que metodológicamente a través del coeficiente de nivel de probabilidad de riesgo (RPN) ayuda a priorizar las soluciones más efectivas.

En el ámbito internacional, la tesis doctoral de la Universidad Politécnica de Madrid: “Sistema de gestión de calidad. Metodología para implementar proyectos de mejora continua para la reducción de los defectos de construcción en edificación de viviendas” en el que Del Solar (2014) evalúa la dimensión número de las no conformidades y el costo de calidad. Sin embargo, no evalúa la correlación entre costo y número que el presente estudio lo realiza mediante un análisis estadístico mencionado en el párrafo anterior. Más bien, se inclina por brindar un índice de número y costo dividido entre el número de viviendas. En contraste, en este estudio desde una perspectiva de las herramientas de calidad *Six Sigma* y de aplicación más universal y simplificada se propone el uso de la frecuencia: diagrama y principio de Pareto aplicada a los factores número y costo, insumos para la matriz AMFE simplificada en estos dos factores, de modo que se puede obtener

un factor RPN basada criterios de valor numérico que cualitativo. Esta diferencia, representa un avance metodológico importante de modo que se propone la ponderación del factor costo de calidad en relación al factor número de no conformidades, insumos necesarios para un análisis integral con enfoque de mejora continua.

Asimismo, en el estudio doctoral realizado en la Universidad de Catalunya: “Los costes de calidad en el diseño de proyectos de construcción; un enfoque de procesos” Dzul (2009) se reconoce el costo de calidad como un factor importante en los proyectos. En aquella investigación, se conceptúa el costo de calidad como el resultado de la suma del costo de un producto conforme y no conforme. En contraposición, en este estudio se entiende como: costo resultante de generar un producto no conforme, según Summers (2006). Asimismo, el autor de aquella investigación hace énfasis en el costo de calidad en un enfoque de procesos aplicados a la fase de diseño de proyectos de construcción. Luego, aquella propuesta centra su atención en la reducción de los costos de calidad emprendiendo el análisis de mejora únicamente en base a este costo. Sin embargo, el autor no percibe ni da cuenta que de ese modo enfatiza y sobreestima al cliente interno.

En contraste, la reducción del de número de no conformidades, se orienta a satisfacer al cliente externo ofreciendo productos que cumplen las especificaciones a la primera vez. Por tanto, concentrar los esfuerzos de mejora de calidad únicamente en la reducción del costo privilegia al cliente interno sobre el cliente externo. De modo que, los hallazgos de aquella investigación deben ser evaluados considerando esta perspectiva. Asimismo, concentrarse en el cliente interno sobre el cliente externo puede ser nocivo para la reputación del ejecutor del proyecto

(cliente interno). Pues, como se observó en el presente estudio, no existe correlación entre número de no conformidades y costo de calidad, en consecuencia, mantener un enfoque de reducción de las no conformidades con mayor impacto económico no favorece la reducción de las no conformidades con mayor número de reincidencias. Y, posponer, el tratamiento de no conformidades con mayor número de repeticiones puede menoscabar la reputación del contratista desde la perspectiva del cliente externo en el corto plazo, pues puede generar una apariencia de poco énfasis en la calidad. Por lo cual, trabajar estos dos criterios de número y costo, es una parte de la propuesta metodológica de este estudio. En ese sentido, *Six Sigma* pondera la opinión del cliente externo y su peso se contrasta con el contexto del cliente interno.

Por otro lado, muchas investigaciones a nivel de pregrado se orientan a un tipo de calidad administrativa básica tema que no es tema de discusión en un contexto internacional actual, por ejemplo la tesis de la Pontificia Universidad Católica del Perú: “Sistemas de aseguramiento de la calidad en la construcción” (Alfaro, 2008). El estudio de este autor privilegia y centra su análisis de la calidad desde el punto de vista del cumplimiento administrativo de los procedimientos y de un tratamiento de no conformidades sustentada en el cierre que termina en acciones correctivas basadas en las normas ISO. Al parecer, el autor desconoce que estas normas se enfocan en sistema documental que informa de la calidad alcanzada en un determinado momento según Krajewski, Ritzman y Malhotra (2008), pues todo su análisis se limita y circunscribe a la calidad de tipo documental. Este punto de vista, soslaya la calidad basada en productividad.

En este aspecto, su investigación en el ámbito de la calidad en la construcción genera confusión, por ejemplo, cuando concluye que la certificación ISO: “será una ventaja competitiva si es que se posee un sistema de calidad funcionando correctamente” (Alfaro, 2008, p. 88), asimismo, reafirma que este sistema de aseguramiento de calidad “no termina con la consecución del certificado sino debe ser un proceso vivo que necesita un seguimiento por parte de la empresa”. Es decir, en palabras del autor, el sistema basado en la certificación ISO debe recibir atención por la empresa y mantenerse activo aún después de certificar y es de ese modo como se obtendrá una ventaja competitiva.

Las afirmaciones de Alfaro (2008), representan un desfase conceptual, pues, persiste en la idea que a través de una adecuada implementación de las normas ISO, se logra mejorar la calidad y por ende: una ventaja competitiva. Esa idea es la antítesis de este estudio, pues tal como observan Evans y Lindsay (2008), Krajewski, Ritzman y Malhotra (2008) y Hope y Player (2016), las normas ISO son un sistema documental, que aplicada adecuadamente puede generar mejoras. Pero, conceptualmente, estas mejoras no deben ser erróneamente confundidas como mejoras de la calidad. En consecuencia, deben ser reconocidas como mejoras de la administración documental de la calidad, cuyo propósito es evidenciar la calidad de una empresa en un momento específico.

En consecuencia, con desacierto, Alfaro (2008) propone mejorar el sistema de administración (instrumento de medición) y no auténticamente la calidad. A diferencia del presente estudio en el que el foco se encuentra en la productividad desde el punto de vista de la eficacia que impulsa la reducción de los errores estructuralmente y cuya herramienta es la métrica DPMO.

Por otro lado, el estudio de la Universidad Privada del Norte: “El Control de la Calidad de Acuerdo a la Norma ISO 9001:2015, como Fundamento para la Reducción de los Costos de Calidad en la Construcción de la Casa para el Adulto Mayor en Morales – Región San Martín.” de Tarrillo (2016), valida la reducción de los costos de calidad con base en el uso de las normas ISO. Tiene una mejor perspectiva que Alfaro (2008) cuya propuesta consiste en proponer una adecuada implementación de las normas ISO. Sin embargo, como se observó, estas mejoras potencian el sistema de administración documental o registral. Es decir, esta mejora no es una mejora de la calidad, pues no pretende impulsar la productividad a través de mejoras de desempeño sistemático.

La mejora de calidad en términos de costo, se puede evaluar desde el punto de vista de la eficiencia, directamente: disminuyendo el tiempo de ciclo o haciendo más eficiente el uso de los recursos. También, desde la eficacia, propiciando la reducción de los errores mediante mejoras estructurales, que hacen más productiva a la organización, como propone *Six Sigma* y otras metodologías.

Asimismo, en el estudio de la Universidad Católica Santa María: “Gestión de la calidad en el proyecto de construcción: “Residencial Paseo Vistamar”, bajo en enfoque del PMBOK” (Chayña, 2014), es un ejemplo claro que permite observar la similitud de entre el PMBOK e ISO en el aspecto de calidad. Aunque, el primero se enfoca a proyectos cuya naturaleza es temporal, y el segundo se orienta a diversas organizaciones de servicios o manufactura. Ambos, configuran un sistema de administración de calidad (administrativo y documental) no ha mejorar la calidad en términos de productividad que es el fundamento de la calidad.

En resumen, los estudios analizados, a nivel internacional muestran una mayor madurez de perspectiva en el uso de herramientas para mejorar la calidad desde una perspectiva de productividad, concepto compatible con el presente trabajo de investigación. Sin embargo, los estudios realizados a nivel nacional presentan serias deficiencias en el concepto de mejora de calidad, la confunden con mejora de un sistema documental que genera mejoras, mal denominadas de calidad, y cuya mejora se produce a raíz de un ordenamiento y flujo documentario estructurado. En contraste, con la metodología SS que intenta dar solución al problema de las no conformidades mediante la mejora de la calidad que impulsa la productividad y la competitividad.

En este aspecto, el modelo *Six Sigma*, aplicado al sector construcción a través de la métrica DPMO brinda una herramienta de desempeño útil para impulsar proyectos de mejora. Asimismo, el análisis desplegado mediante esta metodología permite observar la pertinencia del uso del costo de calidad para realizar proyectos estructurales de mejora.

En consecuencia, la aplicación de esta metodología *Six Sigma* es compatible con los proyectos de construcción que tradicionalmente tienen arraigado el control de calidad por inspección final del producto. Pues, esta metodología utiliza los errores para impulsar la mejora de calidad. De modo que, los proyectos de esta metodología no serían invasivos pues se incorporarían al *modus operandi* del sector construcción actual del país.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Primera. El estándar de calidad en la construcción del contratista durante la ejecución del PMT no cumple el nivel de calidad *Six Sigma* evaluada en la métrica DPMO y nivel sigma, cuyos valores no alcanzan los objetivos 3,4 y 6 σ , respectivamente; del mismo modo, sus mecanismos de mejora y control de calidad son deficientes pues, se sostienen en un enfoque equívoco de mejora de la calidad basada en ISO 9001, cuyo enfoque es preminentemente documental y no impulsa *per se* el incremento sostenido de la productividad, principal elemento en la mejora de la calidad y la metodología *Six Sigma*.

Segunda. La definición de no conformidades de la empresa contratista es deficiente y no cumple los criterios de calidad *Six Sigma*. Se evidencia una falta de enfoque a procesos y alto nivel de generalización en la clasificación del 51,72 % de NOC. Por otro lado, los errores son identificados, tratados y cerrados individualmente y generan soluciones aisladas y particulares, no sistemáticas, en contraposición a *Six Sigma*.

Tercera. El número de no conformidades de la empresa contratista no satisface los estándares de calidad *5S*; pues, evaluado sobre los principales procesos con deficiencias (enero de 2016) obras de concreto y movimiento de tierras ascienden a 10 527,68 DPMO y 769,61 DPMO, en contraste con el nivel de calidad *Six Sigma* que no debe exceder los 3,4 DPMO.

Cuarta. La reducción de no conformidades no cumple el estándar de calidad *Six Sigma*. Desde esta perspectiva, la evaluación del mes de abril en contraste con la de enero, muestra un mejor desempeño para obras de concreto (727,46 DPMO) y movimiento de tierras (0,00 DPMO). Aunque, se satisface el nivel de calidad *5S* en el proceso movimiento de tierras, el proceso obras de concreto se mantiene en un nivel de calidad muy alejado del objetivo. Por tanto, las soluciones inopinadas adoptadas por el contratista fueron parcialmente efectivas.

Quinta. Los rudimentarios mecanismos de mejora de calidad del contratista no cumplen los criterios de calidad *Six Sigma*. El contratista funda sus mecanismos de mejora, en un sistema de gestión de calidad basado en ISO 9001 y, luego, en un modo similar a la propuesta por Mintzberg según Hill y Jones (2009) denominada estrategia emergente o no planeada.

Sexta. Los mecanismos de control del contratista no cumplen con los estándares de calidad *Six Sigma*, pues reducir el número de NOC no reduce proporcionalmente el costo de calidad, confirmado mediante el coeficiente

de Spearman (0,397) entre NOC y COC, con un valor P (0,291). Del mismo modo para el residente con RPN más crítico, valor P de 0,084.

5.2 Recomendaciones

Primera. Divulgar entre las empresas del sector construcción y otros, la comprensión que un sistema de gestión de calidad basado en ISO 9001, como el usado por el contratista, no garantiza el incremento de la productividad y competitividad empresarial (véase apéndice E). Debido a que las mejoras de un sistema de gestión de calidad ISO: 9001 proporcionan mejoras a raíz de un ordenamiento documental. Como se analizó en la fase controlar, un sistema ISO 9001, genera acciones correctivas, enfocadas al cumplimiento de los requisitos para el pago, y acciones preventivas, enfocadas a evitar repeticiones de errores puntuales, no sistemáticos. A diferencia de *Six Sigma* que se orienta a la mejorar el sistema, la raíz del problema que en estudio fue el dimensionamiento de los recursos de tipo camionetas y personal y horas de coordinación.

Segunda. Se recomienda a las empresas del sector construcción y otros, la utilización del costo de calidad como indicador de gestión desde una perspectiva de mejora. En este contexto, se sugiere el uso de los indicadores presentados en las ecuaciones 3, 4 y 5, que corresponden al control de costo de calidad por proyecto, por mes y por residente. Con este objeto, las empresas, deben establecer el monto máximo admisible de pérdidas debido a errores, lo que constituye el límite de especificación de control. Por ejemplo, este monto para el contratista de este estudio se

estimó en 0,052 % (8 944,32 dólares americanos).

Tercera. Producto de las no conformidades se generaron pérdidas de horas hombre. En el apéndice I, se observa una pérdida de 357 horas de personal administrativo y 2 037,76 horas de personal obrero. De estos datos, se desprende que las herramientas del control de proyectos como PERT-CPM realizadas en Ms. Project o Primavera, formuladas el siglo pasado, pierden efectividad o se encuentran caducos en un ámbito de poca calidad. Por consiguiente, se debe utilizar metodologías más holísticas o softwares complementarios (ver apéndice J) para el control de proyectos que consideren la mejora la calidad en el sentido de mejora de la productividad, como uno de los pilares.

Cuarta. La mejora en una organización debe partir del nivel estratégico hacia los niveles tácticos y operacionales. Pues, como se aprecia en este estudio el nivel de competencia para determinar el número de camionetas, supervisores de calidad y camionetas, se encuentra en el nivel táctico (no operacional). Sin embargo, el personal táctico tiene como base los límites que establece el gerente general (responsable estratégico).

Quinta. Se recomienda a la Organización Internacional de Normalización (ISO) y sus organismos formuladores, implementar mejoras en las normas ISO 9001 e ISO 9000, con el objeto de migrar y evolucionar a un sistema de gestión basado en la productividad. De otro modo, la contribución de las

normas ISO se limitará a la mejora producida a raíz de un ordenamiento documental y no a la mejora de la productividad. Este último, es un elemento importante y fundamental pues contribuye a la sociedad en general.

Sexta. El rol del ingeniero de civil en la construcción en el marco económico actual, requiere de conocimientos y habilidades relativos a la mejora de la calidad. Por lo cual, la universidad José Carlos Mariátegui debe fortalecer una formación que incluya este aspecto con el propósito de contribuir a la mejora de la productividad de la región y del país. La omisión de este conocimiento y su aplicación puede generar la pérdida de competitividad en las empresas constructoras peruanas o instituciones públicas en las que intervienen el capital humano formado en esta institución.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro, O. (2008). *Sistemas de Aseguramiento de la Calidad en la Construcción*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Almudéver, C. (2014). *Implementación de la Filosofía Six Sigma en la Construcción*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Benassini, M. (2009). *Introducción a la investigación de mercados: enfoque para América Latina*. México: Pearson Educación.
- Carneiro Figueroa, M. (2009). *Manual de redacción superior*. Lima: Editorial San Marcos.
- Centro Nacional de Planeamiento Estratégico. (2011). *Plan Bicentenario: El Perú hacia 2021*. Lima: CEPLAN.
- Chase, R. B., Robert, J. F., & Aquilano, N. J. (2009). *Administración de Operaciones: Producción y Cadena de Suministros* (Duodécima ed.). México: McGraw Hill.
- Chávez Broncano, C. (2017). Balance Scorecard Sesión 1. *Balance Scorecard Formulación y Control de la Estrategia Empresarial* (pág. 19). Arequipa: Instituto para la Calidad de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Chayña Yupanqui, R. R. (2014). *Gestión de la Calidad en el Proyecto de Construcción: “Residencial Paseo Vistamar”, bajo en Enfoque del PMBOK*. Arequipa: Universidad Católica de Santa María.

- Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica. (2016). *Programa Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de Materiales para la Competitividad Industrial 2016-2021*. Lima: CONCYTEC.
- Obtenido de <https://portal.concytec.gob.pe/images/noticias/materialesFINALS.pdf>
- Daniels, J., Radebaugh, L., y Sullivan, D. (2010). *Negocios internacionales: Ambientes y operaciones*. México: Pearson Educación.
- Del Solar, P. (2014). *Sistema de Gestión de Calidad. Metodología para Implementar Proyectos de Mejora Continua para la Reducción de los Defectos de Construcción en Edificación de Viviendas*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Dzul, L. (2009). *Los Costes de la Calidad en el Diseño de Proyectos de Construcción: Un Enfoque de Procesos*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Evans, R., y Lindsay, W. (2008). *Administración y Control de la Calidad*. México: Cengage Learning.
- Gryna, F., Chua, R., y Defeo, J. (2007). *Método Juran: Análisis y Planeación de la Calidad* (Quinta ed.). México: McGraw Hill.
- Gutiérrez, H. (2005). *Calidad Total y Productividad* (Segunda ed.). México: McGraw Hill.
- Gutiérrez, H. (2010). *Calidad Total y Productividad* (Tercera ed.). México: McGraw Hill.

- Hernández, R., Fenandez, C., y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGraw-Hill.
- Hill, C., y Jones, G. (2009). *Administración Estratégica*. México: McGraw Hill.
- Hope, J., y Player, S. (2016). *Las Mejores Prácticas de Gestión Empresarial - Harvard Business School*. Lima: Punto y Coma Editores S.A.C.
- Huerta, G. (2017). *Programación de obras con MS Project*. Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- ISO. (2015). *Sistemas de Gestión de la Calidad. Fundamentos y Vocabulario (ISO 9000:2015)*. Madrid: AENOR.
- Krajewski, L., Ritzman, L., & Malhotra, M. (2008). *Administración de Operaciones* (Octava ed.). México: Pearson Educación.
- Lind, D. A., Marchal, W. G., & Wathen, S. A. (2008). *Estadística aplicada a los negocios y la economía*. México D.F.: McGraw-Hill.
- Mariño, H. (2016). *Gráficas de Control. Curso: Control Estadístico de Procesos Utilizando Minitab* (pág. 89). BS Grupo.
- Real Academia Española. (2005). *Diccionario de la lengua española*. Lima: Q.W. Editores S.A.C.
- Roque, J. (2012). *Estadística aplicada en la investigación científica*. Lima: INFODEM - Derrama Magisterial.
- Salinas, M., y Huerta, G. (2018). *Costos y Presupuestos de Obra*. Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia - ICG.

- Samuelson, P. A., y Nordhaus, W. D. (2010). *Economía* (Decimoquinta ed.). Madrid: McGraw Hill.
- Serpell, A. (2002). *Administración de Operaciones de Construcción*. (E. U. Chile, Ed.) México: Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V.
- Silva, W. (2016). Control Estadístico de Procesos. *Workshop Control Estadístico de Procesos* (págs. 10-14). Arequipa: Instituto para la Calidad de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- SKEx Construcciones S.A.C. (2016). *Plan de Calidad*. Moquegua: Proyecto de Mejora Tecnológica.
- Summers, D. (2006). *Administración de la Calidad*. México: Pearson Educación.
- Tarrillo, L. (2016). *El Control de la Calidad de Acuerdo a la Norma ISO 9001:2015, como Fundamento para la Reducción de los Costos de Calidad en la Construcción de la Casa para el Adulto Mayor en Morales – Región San Martín.* . Lima: Universidad Privada del Norte.
- Uribe, D., Meléndez, L., y Campos, W. (2016). Tratamiento de No Conformidades mediante Six Sigma en un sistema de gestión de calidad. *Conocimiento para el Desarrollo Revista Oficial de Investigación Científica*, VII(2), 97-104. Obtenido de <https://investigacion.usanpedro.edu.pe/publicaciones/index.php/CPD/articulo/view/47/45>
- World Economic Forum. (2017). *The Global Competitiveness Report 2017-2018*. Geneva: World Economic Forum. Obtenido de www.weforum.org/gcr

Yepes, V., y Pellicer, E. (2005). *Aplicación de la Metodología Seis Sigma en la Mejora de Resultados de los Proyectos de Construcción*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.