

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Civil



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE MOVIMIENTO DE
TIERRAS DISMINUYENDO LA VARIABILIDAD DEL
ACARREO Y RELLENO BASADOS EN LA METODOLOGÍA
DMAIC**

Para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

Elaborado por:

David Stiff Mamani Romero
ID: 0009-0009-3324-0549

ASESOR

Ing. Luis Alfredo Colonio García
ID: 0000-0003-3886-6822

LIMA – PERÚ
2024

© 2024 Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados. **“El autor autoriza a la UNI a reproducir el trabajo de suficiencia profesional en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos”**

MAMANI ROMERO, DAVID STIFF

Davmamani25@gmail.com

(+51) 964361151

Dedicatoria

Quiero dedicar este logro a la mujer excepcional que ha sido mi guía y apoyo incondicional en este viaje: mi madre. Eres mi roca, mi inspiración y la fuerza que ha impulsado cada paso hacia esta meta. Tu sacrificio y amor infinito hacia tus dos hijos han sido la llama que nos ha alentado a perseverar y a alcanzar nuestras metas profesionales. Reconozco que el camino no siempre fue sencillo, pero gracias a tu valentía y determinación, he logrado alcanzar este hito. A ti, mi amor eterno, te dedico con profundo cariño este logro.

Agradecimiento

En esta ocasión trascendental, deseo expresar mi profundo agradecimiento al distinguido equipo de profesores que destinó la facultad para que me acompañen en este camino, todos desempeñaron un papel fundamental en el desarrollo de este trabajo. deseo resaltar la orientación invaluable, brindada por mi asesor el ingeniero Luis Colonio, su experiencia y dirección fueron cruciales para darle forma y contenido a este documento.

En segunda instancia, deseo expresar mi sincero agradecimiento a Proyecta UNI (anteriormente Sección Estudiantil PMI UNI).

Para aquellos que me conocen, saben que la universidad representó una de las etapas más enriquecedoras de mi vida, y gran parte de ello se debe a lo que aprendí en la UNI y, especialmente, a las invaluable enseñanzas que compartí con ustedes en Proyecta UNI. Por ejemplo, el lema "Aprender para enseñar" perdurará en mi memoria de por vida.

Fue con Proyecta UNI que establecí vínculos con proyectos; desde la universidad, tuve el honor de desempeñar el rol de gerente de proyecto en un evento de gran envergadura (CONEGP UNI 2011). Mi conexión con ustedes no solo complementó mis conocimientos académicos, sino que también fortaleció habilidades esenciales para mi desarrollo profesional. No podría concluir este capítulo en mi trayectoria en la UNI sin expresar mi profundo agradecimiento a todo el equipo, tanto a mis contemporáneos como a mis amigos mayores y a los que actualmente mantienen viva la sección estudiantil, para mí son verdaderos hermanos.

Quiero rendir un emotivo homenaje a aquellos que ya no están con nosotros, Juan Ramos y Christian Altamirano. Todos ustedes conforman una de

las parte más valiosas y significativas de esta etapa tan importante en mi vida.

Gracias por ser parte de mi historia en la UNI.

ÍNDICE

Resumen	4
Abstract.....	5
Prólogo.....	6
Lista de cuadros	7
Lista de figuras	8
CAPÍTULO I: Generalidades y marco teórico.....	10
1.1. Generalidades	10
1.2. Descripción del problema encontrado.....	11
1.3. Objetivos del estudio.....	13
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	13
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	13
1.4. Antecedentes investigativos.....	14
1.5. Ciclo DMAIC	18
1.6. Índice DPMO (defecto por millón de oportunidades).....	19
1.7. Métricas de desempeño usados en el ciclo DMAIC	21
1.8. Objetivos del ciclo DMAIC.....	23
1.9. Movimiento de tierra en presa de tierra.....	24
1.10. Máquinas y equipos para movimiento de tierras	24
1.11. Marco conceptual.....	26
CAPÍTULO II: Descripción y generalidades del proyecto construcción de presa de tierra.....	31
2.1. Generalidades del proyecto de presa - etapa III.....	31
2.1.1. <i>Ubicación del proyecto</i>	31
2.2. Beneficios generales del proyecto	32
2.2.1. Beneficios de la fase del proyecto.....	32

2.3. Alcance del proyecto.....	33
2.4. Características generales del proyecto fase I de la etapa III	37
2.4.1. <i>Objetivos</i>	37
2.4.2. <i>Obras por ejecutar</i>	37
CAPÍTULO III: Análisis del problema.....	38
3.1. Fase Define	38
3.1.1. <i>Diagnóstico situacional</i>	38
3.1.2. <i>Diagnóstico por área de actividades</i>	39
CAPÍTULO IV: Aplicación de la metodología DMAIC para mejora en ejecución del proyecto de la construcción de la presa de tierra.....	43
4.1. Fase Medir.....	43
4.1.1. <i>Eficiencia operativa de volquetes</i>	43
4.1.2. <i>Rendimiento diario de relleno de la presa</i>	44
4.1.3. <i>Variabilidad de desempeño de volquetes</i>	47
4.2. Fase Analizar.....	49
4.2.1. <i>Análisis de causa raíz</i>	49
CAPÍTULO V: Implementación.....	57
5.1 Fase de mejora con la implementación.....	57
5.1.1. <i>Implementación del proceso de relleno por lotes</i>	57
5.1.2. <i>Desarrollo de taller práctico de producción por lotes de aviones, utilizando legos</i>	58
5.1.3 <i>Implementación por lotes en el relleno de la presa</i>	60
5.1.4. <i>Implementación del proceso de relleno</i>	62
5.2. Fase Controlar	64
5.2.1. <i>Análisis de eficiencia operativa de los volquetes post mejora</i>	64
5.2.2. <i>Análisis de rendimiento diario de relleno de presa post mejora</i>	65
5.2.3. <i>Variabilidad de desempeño de volquete post mejora</i>	70

5.3. Comparativa de resultados antes y después de la mejora	73
CONCLUSIONES.....	75
RECOMENDACIONES.....	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
ANEXOS	80

Resumen

El siguiente caso práctico tiene como objetivo optimizar el proceso de movimiento de tierras disminuyendo la variabilidad del acarreo y relleno basados en la metodología DMAIC. El proceso crítico donde se enfoca la mejora dentro de un proyecto de construcción de una presa en su 3ra fase, ubicada en la franja costera del departamento de la Libertad, corresponde al relleno de la presa. La actividad actual presenta alta variabilidad del tiempo de utilización, eficiencia y rendimiento diario de relleno. En tal sentido, se aplica el ciclo DMAIC como alternativa de solución en sus diferentes etapas, que van desde el diagnóstico inicial, pasando por la mejora de relleno de la presa por lotes, hasta el impacto sobre las variables de interés después de mejoras. Como resultado de la implementación alcanzada, se logró aumentar el nivel sigma de 2.89 a 4.23. También se aumentó la eficiencia operativa de los volquetes al pasar de 150.34 horas útiles de trabajo diario a 181.52 horas y se aumentó el rendimiento diario de relleno al pasar de 19 375 m³ diarios a 25 218 m³.

Palabras clave: DMAIC, movimiento de tierras, Six Sigma.

Abstract

The following practical case aims to optimize the earthmoving process by reducing the variability of hauling and filling based on the DMAIC methodology. The critical process where the improvement is focused within a dam construction project in its 3rd phase, located in the coastal strip of the department of La Libertad, is in the process of filling the dam. The current activity presents high variability of the time of use, efficiency, and daily filling performance of the dump trucks. In this sense, the DMAIC cycle is applied, as an alternative solution in its different stages, which go from the initial diagnosis, through the improvement of the filling of the dam in batches, to the impact on the variables of interest after improvements. As a result of the implementation achieved, it was possible to increase the sigma level from 2.89 to 4.23. The operational efficiency of the dump trucks was also increased, going from 150.34 useful hours of daily work to 181.52 hours, and the daily filling performance was increased, going from 19,375 m³ daily to 25,218 m³.

Keywords: DMAIC, land removal, Six Sigma

Prólogo

El relleno de una presa es una actividad crítica para garantizar la seguridad y la funcionalidad de la infraestructura hidráulica. Sin embargo, el relleno puede presentar variaciones en su calidad, cantidad y distribución, que afectan el desempeño y la vida útil de la presa.

El presente proyecto tiene como objetivo disminuir la variabilidad del relleno de una presa mediante la aplicación de la metodología DMAIC. Para ello, se definirá el problema, se medirán los indicadores de calidad del relleno, se analizarán las causas de la variabilidad, se propondrán y se implementarán mejoras en el proceso de relleno y se controlarán los resultados obtenidos.

El proyecto se basa en el estudio de caso del relleno de una presa ubicada en la franja costera del departamento de La Libertad, que presenta problemas con la eficiencia del uso de volquetes para el relleno. La propuesta aplicada contribuye a optimizar el relleno de la presa, reducir los riesgos en materia de seguridad, y generar conocimiento sobre la gestión de calidad en proyectos de ingeniería civil.

Lista de cuadros

Cuadro N° 1. Defectos por millón según el nivel sigma.....	23
Cuadro N° 2. Aplicación y alcance de máquinas excavadoras.....	26
Cuadro N° 3. Etapas según metodología DMAIC para la mejora	38
Cuadro N° 4. Eficiencia de volquetes.....	43
Cuadro N° 5. Horas útiles de trabajo de 10 volquetes agosto 2015	47
Cuadro N° 6. Tabla de evaluación de frecuencias sobre problemas detectados	51
Cuadro N° 7. Cuadro análisis de tiempos de transporte de un volquete	60
Cuadro N° 8. Eficiencia de volquetes post mejora.	64
Cuadro N° 9. Seguimiento de rendimiento de relleno de presa post mejora	65
Cuadro N° 10. Tiempos de utilización útil de 10 volquetes post mejora	70
Cuadro N° 11. Comparativa de resultados.....	73

Lista de figuras

Figura N° 1. Etapas de ciclo DMAIC.....	19
Figura N° 2. Defectos por millón de oportunidades según nivel sigma.....	20
Figura N° 3. Etapas de la metodología DMAIC.....	21
Figura N° 4. Componentes y variables de un proceso.....	21
Figura N° 5. Distribución normal para un proceso 6σ	22
Figura N° 6. Ubicación del proyecto.....	32
Figura N° 7. Principales áreas que conforman el proyecto.....	34
Figura N° 8. Principales áreas que conforman el proyecto.....	35
Figura N° 9. Animación del proyecto con la presa concluida.....	36
Figura N° 10. Ubicación geográfica de las 2 fases del proyecto.....	36
Figura N° 11. Actividad de acarreo de material para relleno.....	39
Figura N° 12. Utilización de volquetes según horas útiles de trabajo.....	44
Figura N° 13. Rendimiento diario de relleno de presa.....	46
Figura N° 14. Informe Six sigma actual de relleno de presa.....	48
Figura N° 15. Diagrama de Ishikawa.....	49
Figura N° 16. Diagrama de causa-efecto.....	53
Figura N° 17. Matriz de Impacto vs Esfuerzo.....	55
Figura N° 18. Primera propuesta de división de terreno.....	57
Figura N° 19. Personal partícipe del taller práctico de producción por lotes.....	58
Figura N° 20. Esquema para determinar el tamaño óptimo de lote.....	61
Figura N° 21. Lotización diseñada para etapa 01 y 02.....	62
Figura N° 22. División de terreno para relleno por lotes.....	63
Figura N° 23. Resultados de la implementación ejecutada.....	65
Figura N° 24. Avance diario de relleno de presa, agosto.....	67
Figura N° 25. Avance diario de relleno de presa, septiembre.....	68
Figura N° 26. Avance diario de relleno de presa, octubre.....	69
Figura N° 27. Informe de Capacidad del Proceso de C1. Reporte de Minitab....	71
Figura N° 28. Descripción geográfica del proyecto Fase III.....	82
Figura N° 29. Descripción de primera fase del proyecto.....	83
Figura N° 30. Descripción de primera fase del proyecto.....	84
Figura N° 31. Descripción de primera fase del proyecto.....	85
Figura N° 32. Descripción de primera fase del proyecto.....	86

Figura N° 33. Plano de presa y ataguía.	87
Figura N° 34. Accesos y vías para la construcción de la presa.....	88
Figura N° 35. Estación de trabajo 1.	90

CAPÍTULO I: GENERALIDADES Y MARCO TEÓRICO

1.1. Generalidades

El éxito de los proyectos de construcción depende tanto de la obra final como de los resultados de las métricas de desempeño durante la ejecución de esta, enfocados en factores principales tales como tiempo, costos, calidad, satisfacción al cliente, seguridad laboral, entre otros.

Los indicadores de gestión o KPI (key performance indicator) son las métricas que permiten ver el grado de cumplimiento de unos objetivos específicos, determinar el estado actual de un negocio y el desempeño de una actividad, y definir una línea de acción futura, ya sea para corregir, optimizar o mantener dicha actividad de construcción (García, 2019).

La ausencia de KPI para medir la variabilidad del proceso era uno de los principales factores que no han permitido demostrar con precisión a los jefes del proyecto qué tan eficiente es el proceso de relleno y acarreo de material. Por lo tanto, surge la necesidad de implementar una metodología capaz de optimizar dicho proceso para disminuir la variación del mismo. Este tipo de procesos se enfoca en la mejora de gestión de la calidad de los procesos.

La metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) es una herramienta de gestión de la calidad que parte de la identificación, medición, análisis y definición de la oportunidad de mejora de un proceso, considerando los factores graves hasta la implementación, mejoramiento y control (Gutierrez, 2009). El objetivo principal de la investigación es estudiar los factores críticos que afectan la calidad dentro de la construcción de una carretera, los cuales limitan el alcance de las actividades que no agregan valor. El problema que pretende atender es el

análisis de las variaciones que dentro del proceso de trabajo son críticas para la calidad en los proyectos de construcción de carreteras; por ejemplo, la planificación, una gestión inadecuada, falta de supervisión. La conclusión más importante a la que se ha llegado con esta investigación es que siempre se puede mejorar la calidad y eliminar o reducir el desperdicio, siempre y cuando las causas estén claramente identificadas, mejorando así la confiabilidad, estabilizando y optimizando la rentabilidad de las operaciones de la construcción (Shariq, 2017).

1.2. Descripción del problema encontrado

El cambio climático está provocando un aumento de las temperaturas en todo el mundo. Esto está llevando a un aumento de la demanda de energía eléctrica para la climatización de los hogares y las empresas. Además, el cambio climático está provocando un aumento de los fenómenos meteorológicos extremos, como las olas de calor, las sequías y las inundaciones. Estos fenómenos pueden provocar cortes de suministro eléctrico, lo que también aumenta la demanda de electricidad. Según un estudio del International Renewable Energy Agency (IRENA, 2018), el cambio climático podría aumentar la demanda mundial de energía eléctrica en un 20% para 2050.

El cambio climático también está teniendo un impacto en la oferta de energía eléctrica. Las centrales eléctricas que utilizan combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y el gas natural, son las principales responsables de las emisiones de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, el cambio climático está haciendo que estas centrales sean cada vez más costosas y difíciles de operar. Además, el cambio climático está provocando una disminución de los recursos hídricos, lo que está afectando a la producción de energía hidroeléctrica. El cambio

climático podría reducir la capacidad de generación de energía eléctrica en un 10% para 2050 (IRENA, 2018).

El cambio climático también está teniendo un impacto en los recursos energéticos utilizados para la producción de electricidad. El aumento de las temperaturas está provocando una disminución de la producción de energía eólica, ya que los vientos son más débiles. Además, el cambio climático está provocando un aumento del nivel del mar, lo que está afectando a las plantas de energía nuclear situadas en zonas costeras.

Existen una serie de medidas que se pueden tomar para mitigar el impacto del cambio climático en la producción de energía eléctrica. Estas medidas incluyen:

La transición a energías renovables, como la solar, la eólica y la geotérmica. Estas energías no producen emisiones de gases de efecto invernadero.

La mejora de la eficiencia energética, lo que significa utilizar menos energía para producir la misma cantidad de electricidad.

La inversión en infraestructuras resilientes al cambio climático, como las centrales eléctricas que pueden funcionar con una amplia gama de condiciones meteorológicas.

La adopción de estas medidas es esencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y garantizar un suministro de energía eléctrica sostenible y seguro en el futuro.

En el departamento de La Libertad, se llevó a cabo la construcción de uno de los proyectos de irrigación más importantes del país con el objetivo de brindar un abastecimiento hídrico a un aproximado de 48 mil hectáreas en Los Valles Viejos. Este proyecto estuvo compuesto de varias etapas y cada etapa en

determinados entregables, la materia de análisis del cual hacemos referencia se sitúa en la presa de tierra de 97 metros de altura y de 9 millones de m³ de relleno aproximadamente.

El problema principal radica en que, durante el desarrollo de la construcción de la presa de tierra, se encontraba una elevada variabilidad en el proceso de relleno y acarreo de material, lo que ocasionó una elevada contratación de equipos por encima de lo previsto. Adicionalmente, se observó un atraso en cuanto al tiempo de cumplimiento de la ejecución de la obra en cada una de las capas de relleno en dicha presa. Esto se suma al hecho de que el proceso de relleno de la presa se ejecuta sin un orden específico, de forma desordenada y aleatoria, sin lotes o sectorización del terreno.

Por tal motivo, la presente investigación se plantea la siguiente interrogante: ¿existe la posibilidad de disminuir la variabilidad en el tiempo de útil del uso de volquetes, implementando un relleno de presa por lotes?

1.3. Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo general

Optimización del proceso de movimiento de tierras disminuyendo la variabilidad del acarreo y relleno basados en la metodología DMAIC.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Implementar el relleno por lotes para disminuir la variabilidad del proceso del movimiento de tierras para el relleno de la presa, apoyados con la metodología DMAIC.

- b) Aumentar la eficiencia operativa de los volquetes para el proceso constructivo de proyecto de movimiento de tierras.
- c) Aumentar el rendimiento diario de relleno en el proyecto de movimiento de tierras.

1.4. Antecedentes investigativos

Parekh, Salanki y Prajapati (2019) manifiestan que el ciclo DMAIC es una técnica de mejora de la calidad ampliamente utilizada en la industria manufacturera. Sin embargo, la aplicación de Six Sigma aún está por explorarse exhaustivamente en el campo de la construcción. La publicación explora la posibilidad de aplicación del ciclo DMAIC en METRO Rail Construcción. De igual forma, define y analiza el rendimiento de la construcción de muelles en el proyecto METRO Rail de Ahmed-abad utilizando la técnica Six Sigma. Se selecciona para el estudio un tramo de 4 km desde el Corredor Norte-Sur desde APMC hasta Shreyas. Los datos, como la estructura de desglose del trabajo, la lista de actividades, el tiempo de las actividades, la dependencia de las actividades, la secuencia de construcción, etcétera, se recopilan y analizan mediante el software Primavera y Minitab. El análisis de capacidad del proceso se utilizó para determinar qué tan bien un proceso real cumple con un conjunto de límites de especificación en un plan programado. Los datos se representan y analizan mediante la preparación de diferentes cuadros y gráficos como el gráfico de rango móvil, el histograma de capacidad y el gráfico de capacidad. Se realizó una comparación entre los trabajos reales realizados en el sitio y el cronograma planificado para el progreso para calcular el valor Sigma. Se encuentra a partir del resultado que dicho valor está cerca del nivel Sigma final. Este trabajo proporciona

información valiosa para la implementación de la técnica Six Sigma en la industria de la construcción.

Asimismo, la técnica Six Sigma, a través del ciclo DMAIC, puede evaluar la calidad de la actividad de construcción actual y cuantificar los objetivos de mejora para controlar las actividades críticas futuras del proyecto. La mejora en la calidad de la construcción se puede observar en gran medida con la aplicación de la técnica Six Sigma. La técnica Six Sigma se puede vincular con el principio Lean (Parekh, Salanki y Prajapati, 2019).

Nowotarski, Szymanski y Rzepecka (2019) desarrollaron un método DMAIC de mejora de calidad de los procesos de obras de tierra. Los autores explican que los cimientos son una parte importante de la estructura de cada edificio. Se pueden distinguir cimientos cuadrados y cimientos profundos. El proceso de creación de cimientos durante la construcción de edificios puede ser en algunos casos muy complicado y, al igual que otros procesos de construcción, muy costoso cuando se producen errores y problemas. La construcción esbelta es una estrategia de gestión para eliminar posibles errores y desperdicios durante la ejecución de los procesos, por lo que actualmente es más utilizado para la prevención, así como en situaciones de emergencia, cuando las soluciones ya preparadas se ejecutan de acuerdo con el plan. Uno de los métodos que puede ayudar en la implementación exitosa de buenas prácticas en la construcción desde la perspectiva de la gestión de la calidad es DMAIC, que significa Definir-Medir-Analizar-Mejorar-Controlar. Los autores decidieron utilizarlo para los fines de esta publicación. En particular, en el ejemplo de preparación de cimientos en el sitio de construcción en la ciudad de Koło.

La investigación presenta métodos de gestión de la calidad en el proceso de construcción a partir de obras de cimentación. El análisis de calidad se basó

en el método DMAIC, en el que se utilizaron los diagramas de Ishikawa y los diagramas de Pareto. Los métodos y soluciones propuestos se pueden implementar en otros sitios de construcción que lleven a cabo procesos similares. Se llama la atención sobre la necesidad de realizar más investigaciones para confirmar los valores estimados de la relación de resolución de problemas en los procesos de trabajo preliminar, que los autores planean ejecutar en un sitio de construcción similar en Poznań (Nowotarski, Szymanski y Rzepecka, 2019).

Alkasisbeh, Almamlook, Alkasasbeh, & Alshammari (2018) explican que, dado que los problemas del edificio en los proyectos de construcción han aumentado, existe una gran necesidad de centrarse en la calidad de la industria de la construcción de edificios. Aunque Six Sigma se ha empleado en la fabricación y otras industrias, es una impresión bastante nueva en el proyecto de construcción. Por lo tanto, se ha utilizado Six Sigma en una empresa de construcción para identificar los problemas de los proyectos de construcción en Amman. Los objetivos principales del estudio de caso fueron para los problemas del edificio principal y las causas fundamentales de estos problemas. Además, el estudio pretende implementar estas herramientas para mejorar el rendimiento y la eficiencia de los proyectos de construcción. Para lograrlo, los datos se recopilaban de las instituciones gubernamentales para identificar los principales problemas de construcción y luego se utilizó el enfoque basado en encuestas para identificar las causas fundamentales de estos problemas.

Los principales resultados de las herramientas Six Sigma mostraron que los principales problemas en los proyectos de construcción en Amman son el colapso de la excavación, los defectos en el sistema de impermeabilización en el techo, el mal sistema de drenaje del agua de lluvia y la falta de ventilación. Estos representaron el 52,2 % del total de problemas en los proyectos de construcción.

Aunque el concepto de utilizar el análisis de Pareto y los diagramas de causa y efecto ha existido durante un período de tiempo considerable, el documento ha demostrado con éxito cómo se pueden utilizar estas sencillas herramientas de Six Sigma para descubrir las causas fundamentales del problema y asignar recursos para solucionarlos (Alkasisbeh , Almamlook, Alkasasbeh y Alshammari, 2018).

Por su parte, Linde y Philippov (2020) abordan los problemas persistentes que enfrentan en todo el mundo las empresas de gestión y construcción (costos de construcción crecientes, nivel insatisfactorio de calidad de los materiales de construcción, falta de coordinación y coherencia entre los participantes del proceso, disminución de la rentabilidad de los contratistas principales, subcontratistas y proveedores, incumplimiento de los plazos y déficit presupuestario, la inconsistencia y la fragmentación de los procesos). Para superarlos, se necesita un enfoque centralizado e integrado para identificar, priorizar, encontrar y eliminar el origen de los problemas, ayudar a desarrollar soluciones efectivas y gestionar las actividades consiguientes para obtener los resultados necesarios. El análisis de la experiencia extranjera ha demostrado que el enfoque, la metodología y las herramientas de resolución de problemas en la industria de la construcción más idóneos son los de la metodología de gestión Lean Six Sigma. Sin exagerar, parece posible evaluar los resultados de la aplicación práctica de la metodología Lean Six Sigma como sobresalientes, ya que se mantienen por delante de la curva de los indicadores de desempeño promedio de la industria en economías tan desarrolladas como EE. UU. y Gran Bretaña. La metodología Lean Six Sigma se enfoca en lograr una calidad de clase mundial que elimine todo tipo de pérdidas, costos y gastos generales, y cree valor para los consumidores. Para lograr este objetivo, la implementación de Lean Six Sigma afecta a todos los participantes involucrados en el proyecto de construcción y que

actúan en pos del interés común: el cliente, la empresa administradora, el contratista principal.

1.5. Ciclo DMAIC

Entre muchas herramientas diferentes de gestión de la calidad que constituyen métodos de mejora de la misma, existe una denominada Six Sigma: DMAIC. Este es un acrónimo de las palabras Define-Measure-Analyze-Improve-Control. Este método se basa en la mejora de procesos según el ciclo de Deming que se aplica en áreas diferentes de una empresa (Gutiérrez, 2009).

La metodología fue desarrollada por Motorola en la década de los 90 para la ejecución constante de proyectos de mejoras de metodología en los cinco pasos mencionados: Definición, Medición, Análisis, Mejora y Control (ver Figura N°1).

A. Definir: se detalla cómo se está haciendo, qué es lo importante, objetivos, requerimientos para el cliente críticos, documenta el proceso, se arma el equipo de trabajo.

B. Medir: se mide el desempeño del área de estudio o proceso, se define qué se va a medir, se desarrolla y se valida el sistema de medición.

C. Analizar: se profundiza en los problemas y se buscan sus causas mediante el análisis, se entiende la variación de dichas causas potenciales, se desarrolla y prueba la hipótesis.

D. Mejora: etapa donde se responde la pregunta sobre qué se necesita hacer, se lleva a cabo las mejoras y se cuantifica las soluciones en potencia, se selecciona la solución definitiva, se discute y se ajusta la solución.

La variabilidad ideal de un proceso es la de 6σ la cual arroja 3.4 defectos por millón de oportunidades. A medida que se disminuye el valor σ, aumenta la frecuencia de errores y de la variabilidad del proceso. De manera gráfica, se pueden observar los diferentes niveles de DPMO en la figura N° 2.

nivel de sigma	Defectos por millón de oportunidades
6	3,4
5	233
4	6210
3	66807
2	308537
1	690000

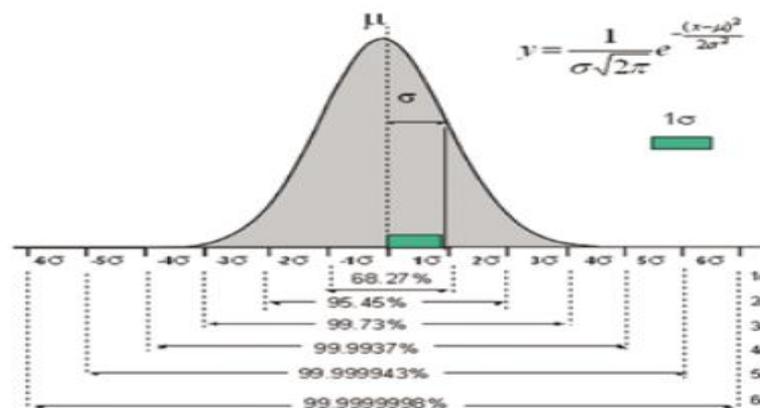


Figura N° 2. Defectos por millón de oportunidades según nivel sigma.

Fuente: Humberto Gutierrez Pulido (2009)

Para Raisinghani, Ette, Pierce y Cannon (2005), la metodología de mejora DMAIC, se desarrolla en dos etapas principales: la caracterización del problema y la optimización de la solución. Cada una cuenta con fases consecuentes a desarrollar. En el primer caso, se tiene las fases de definir, medir y analizar. En la segunda etapa, las fases son implementar y controlar (ver Figura N° 3).

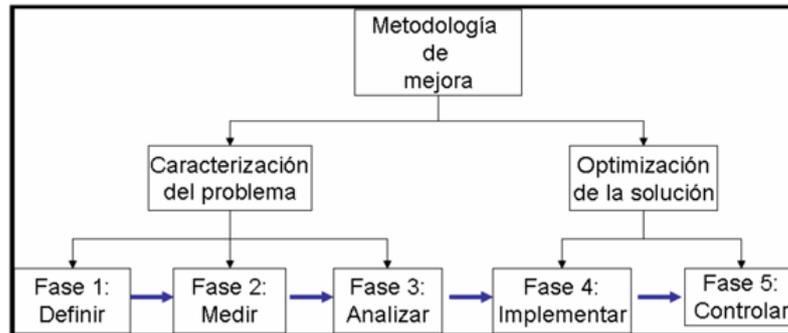


Figura N° 3. Etapas de la metodología DMAIC.

Fuente: Raisinghani, Ette, Pierce y Cannon (2005)

1.7. Métricas de desempeño usados en el ciclo DMAIC

Chacón (2007) explica que el término Six sigma es la métrica utilizada en el ciclo DMAIC para medir la capacidad del proceso. El término relaciona la variación del proceso y los requerimientos del cliente relacionados con dicho proceso. Como se puede observar en la figura N° 4, un proceso consta de una secuencia de actividades (desarrolladas de manera sistémica y secuencial) que transforman una materia prima en un producto de valor para el cliente. Dicho proceso, posee variables de entrada controlables según las características de calidad deseada y variables no controlables que afectan la salida. A esto se le denomina variación del proceso.

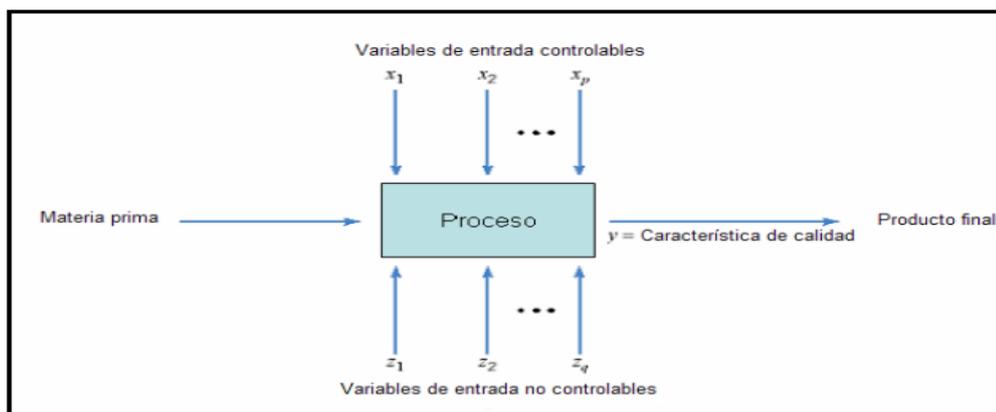


Figura N° 4. Componentes y variables de un proceso.

Las variables de entrada no controlables son las que producen la variabilidad de cualquier proceso.

Fuente: Chacon (2007)

Si se toma en cuenta una distribución normal, se puede decir que la mayor concentración de los valores hallados en un proceso se encuentra distribuida alrededor de la media del proceso (ver Figura N° 5).

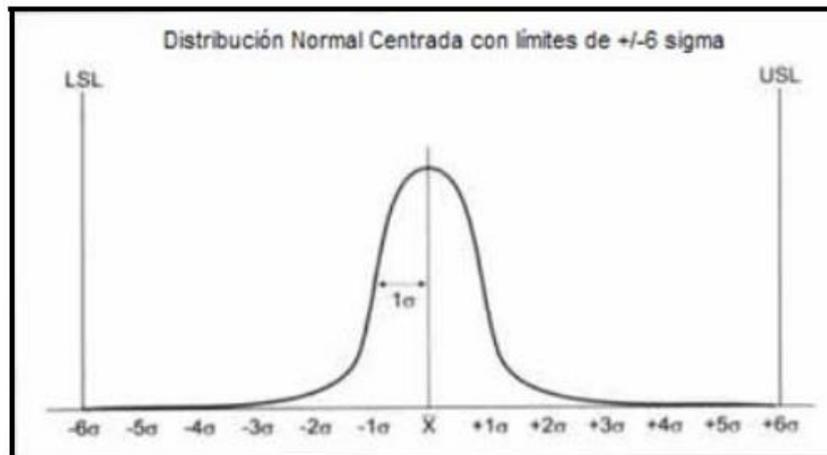


Figura N° 5. Distribución normal para un proceso 6σ .

Fuente: Chacon (2007)

Según la figura anterior, es posible definir sigma (σ) como la distancia que existe entre el valor del centro de un proceso (\bar{X}) y el punto de inflexión. En una distribución normal, el 68% de los datos se encuentran entre -1σ y $+1\sigma$, el 95% de los datos se encontrará entre -2σ y $+2\sigma$ y el 99% de los datos se encuentra representado entre -3σ y $+3\sigma$. En cuanto al nivel sigma de un proceso, valores alto de sigma indica que el proceso se ajusta a los requerimientos del cliente. En caso contrario, es señal de que el proceso no cumple con las especificaciones del cliente y presenta defectos. En el cuadro N° 1, se muestra para cada nivel de sigma, el defecto por millón de oportunidades del proceso.

Cuadro N° 1. Defectos por millón según el nivel sigma

Nivel sigma	Defectos por millón de oportunidades (DPMO)	Porcentaje sin defectos
6	3.4	99.9997 %
5	233	99.977 %
4	6 210	99.379 %
3	66 807	93.32 %
2	308 537	69.20 %
1	690 000	31 %

Fuente: Chacon (2007)

1.8. Objetivos del ciclo DMAIC

Obtener mejoras significativas en un proceso. Los proyectos están enfocados en obtener mejoras del 30 %, 40 % y 50 % sobre la métrica crítica seleccionada, en un tiempo estimado de 4 a 6 meses.

Tener un enfoque al cliente (interno o externo), el producto se desarrolla y fabrica según los requerimientos del cliente y la calidad del mismo es medible según su nivel de satisfacción.

Obtener resultados financieros; la mejora a través del ciclo permite generar ahorros palpables entre los 6 y 8 meses después de implementado. El proyecto debe tener una factibilidad económica viable pronosticada antes de ejecutarse.

Divulgar los resultados en hechos y datos; el ciclo DMAIC, está basada en 100 % datos (a través de Six sigma), no hay decisiones por instinto. Las herramientas estadísticas toman un papel muy importante, al validar cada supuesto o hipótesis, y validar cada decisión.

1.9. Movimiento de tierra en presa de tierra

Según Sandoval (2018), las cotas de proyecto de rasante y subrasante de las obras de pavimentación establecen la necesidad de modificar el perfil natural del suelo, por lo que es necesario en algunos casos rebajar dichas cotas, y en otros casos, elevarlas. En el primer caso corresponde ejecutar un trabajo de "corte o excavación", y en el segundo, un trabajo de "relleno o de terraplén". En ambos casos debe efectuarse lo que constituye propiamente un "Movimiento de Tierra".

1.10. Máquinas y equipos para movimiento de tierras

Sandoval (2018) explica que las máquinas para movimiento de tierra se caracterizan por ser, en general, equipos autopropulsados utilizados en construcción de caminos, carreteras, ferrocarriles, túneles, aeropuertos, obras hidráulicas y edificaciones. Están construidas para varias funciones como soltar y remover la tierra, elevar y cargar la tierra en vehículos que han de transportarla, distribuir la tierra en camadas de espesores controlados, y compactar la tierra. Sin embargo, algunas máquinas pueden efectuar más de una de estas operaciones.

1.10.1. Máquinas que Excavan y Trasladan la Carga

Algunos ejemplos de máquinas que excavan y trasladan la carga son tractores con hoja de empujadora, tractores con escarificador, motoniveladoras, mototraíllas y cargadoras.

1.10.2. Máquinas que Excavan, Situadas Fijas, sin Desplazarse

Sandoval (2018) señala que este tipo de máquinas realizan excavaciones en desmontes o bancos. Cuando la excavación a realizar sale de su alcance, el

conjunto de la máquina se traslada a una nueva posición de trabajo, pero no excava durante este desplazamiento.

El desplazamiento necesario entre el órgano de trabajo (hoja, cuchara, cazo, cangilón, etc.) se efectúa mediante un dispositivo cinemático que modifica la posición relativa de este órgano de trabajo y el cuerpo principal de la máquina. En este grupo se encuentran las excavadoras hidráulicas con cazo o martillo de impacto, excavadoras de cables o dragalinas, excavadoras de rueda frontal, excavadoras de cangilones, dragas de rosario y rozadoras o minadoras de túnel.

1.10.3. Ventajas y Limitaciones de las Distintas Máquinas

La selección del tipo de máquina para carga depende de los materiales, así como de las circunstancias que concurren en la carga (Sandoval , 2018).

Las cargadoras necesitan materiales a granel y que no precisen excavación, tierras fácilmente excavables y cargables, rocas sueltas, etcétera, por lo que debe realizarse la carga en terreno firme con las de neumáticos y en terrenos encharcados o con barro con las de cadenas.

Las retroexcavadoras de cadenas pueden realizar su trabajo en terrenos difíciles, encharcados, con malos accesos y salidas (zanjas, barrancos) y con una base de trabajo irregular. También para aquellos trabajos que requieran gran altura de carga y corte, y donde el pavimento sea malo para los neumáticos, las retroexcavadoras de neumáticos pueden considerarse más como urbanas y auxiliares por su movilidad.

Las excavadoras de empuje frontal eléctricas pueden utilizarse cuando, además de concurrir las condiciones anteriores, hay facilidad para utilizar una línea eléctrica. Las grandes cargadoras exigen motores eléctricos y se necesita tender una línea: minería, fábricas de cemento.

Las dragalinas son útiles para el movimiento de materiales encharcados o fangosos, con frentes de trabajo blandos que no soportan el peso de las máquinas convencionales.

En el cuadro N° 2, se muestran las características de algunas de las máquinas y su aplicación.

Cuadro N° 2. Aplicación y alcance de máquinas excavadoras

Maquinaria	Aplicación	Alcance
Tractor, cadenas	Sólo arranque y extendido	~ 15 m
Retroexcavadoras Arranque y	Carga	~ 10 m
Trailla	Corte + Descarga + Acarreo + Extendido	~ 20 m
Cargadora	Cargar Complemento de un equipo	3 – 5 m
Motoniveladora	Extendido nivelación –	Mantenimiento de pistas ~ 10 m
Dragalina	Arranque – dragado Limpieza cauces en zonas húmedas y blandas	~ 30m

Fuente: Sandoval (2018)

1.11. Marco conceptual

1.11.1. Esponjamiento o Expansión

Es el porcentaje de aumento en el volumen de un material (en m³) después que se saca de su estado original. Cuando se excava, el material se quiebra en trozos de diferentes tamaños que causan la deformación de bolsas de aire o espacios vacíos que reducen el peso por volumen. Por ejemplo, para obtener el mismo peso de una unidad cúbica de material desde el banco después de excavarla, es necesario un aumento en volumen del 30% (1,3 veces). A esto se denomina Esponjamiento de 30%.

$$\% E = \left(\frac{Pb}{Ps} - 1 \right) * 100$$

Donde:

E = esponjamiento

Pb = densidad (peso) del suelo en banco

Ps = densidad del suelo en estado suelto

También se halla el esponjamiento, a partir de los volúmenes:

$$\% E = \left(\frac{Vs - Vb}{Vb} \right) * 100$$

Donde:

Vb= volumen del material en banco

Vs= volumen del material suelto

1.11.2. Densidad del Material

Es el peso por unidad de volumen del material. Los materiales granulares o particulados tienen varias densidades según el tamaño de las partículas, el contenido de humedad y las variaciones del material. Cuando más denso sea el material, mayor será el peso por unidad de igual volumen. La fórmula es:

$$Densidad \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \frac{Peso \ (kg)}{volumen \ (m^3)}$$

$$Peso \ (kg) = Volumen \ (m^3) \times Densidad \ \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

La densidad de un material cambia entre el banco y suelto. Una unidad cúbica de material suelto pesa menos que una unidad cúbica de material en el banco, debido a la formación de bolsas de aire.

1.11.3. Pruebas de Densidad del Suelo

Las pruebas de densidad siguen procedimientos en común, en cuanto a obtener muestras del material en banco, determinar el volumen de huecos, pesar la muestra extraída del banco y calcular la densidad (kg/m^3). Existen varios métodos aceptables que se pueden usar para determinar la densidad del suelo, estos son densímetro nuclear, cono de arena, balones y densímetro de membrana.

A. Densímetro Nuclear: además de cuantificar la densidad, determina la humedad del suelo. Es el instrumento más usado en la actualidad. Consta de un emisor común de radiación, que emite neutrones y rayos gamma en el material, la cantidad de rayos gamma absorbe y dispersa el material, el cual está en proporción inversa con la densidad del material. Cuando se mide el contenido de humedad, la cantidad de neutrones moderados que se reflejan del suelo al detector después de chocar con las partículas de hidrógeno del material es directamente proporcional al contenido de humedad del material.

B. Cono de Arena: se debe contar con un cilindro metálico calibrado, una pala, una balanza electrónica, tamiz N° 20 Y 30, un saco con 2 kg de muestra de material. Se pesa el cilindro metálico y se introduce el cono de arena con la ayuda de la pala. Se vierte el cono de arena sobre la placa base, se abre la válvula para que pase el material hacia la placa inferior. Pesamos y anotamos los datos de las arenas sobrantes.

C. Balones: a través de este método, se obtiene directamente el volumen del agujero dejado por el suelo que se ha extraído. Por medio de un cilindro graduado, se lee el volumen de agua bombeado que llena la cavidad protegida con el balón de caucho que impide la absorción del agua en el terreno. Como ventaja, este método resulta ser más directo y rápido que el cono de arena, pero entre sus desventajas se encuentran la posibilidad de ruptura del balón o la imprecisión en adaptarse a las paredes del agujero, producto de cavidades irregulares o proyecciones agudas, lo que lo hacen poco utilizado.

D. Densímetro de Membrana: aplicable a suelos donde predomina la grava media y gruesa. Una vez nivelada la superficie, se coloca un anillo metálico de diámetro aproximado de 2 m. Luego se procede a excavar el material que encierra el anillo en una profundidad aproximada de 30 cm. Una vez removido el material, se coloca una membrana plástica que se adapta perfectamente al interior del anillo y al fondo de la grava. Esta membrana se llena con agua, registrando el volumen que llena la cavidad y que corresponderá al volumen de material extraído.

Todos estos métodos se deben repetir para obtener un promedio. Si se realiza correctamente cualquiera de estos métodos, los resultados serán satisfactorios.

1.11.4. Trazado en Presas de Tierra

Las carreteras se proyectan y se destacan tomando en consideración sus lineamientos horizontal y vertical, así como sus secciones transversales.

1.11.5. Terraplenes

Un terraplén es la acumulación de tierra o suelo de una cierta calidad que se compacta para darle una resistencia que le permita soportar determinados

esfuerzos. La resistencia de dicha acumulación de tierra varía de acuerdo al tipo de suelo que se use y de acuerdo al uso que se pretenda dar a tal obra.

Se entiende por terraplén a la extensión y compactación de tierras procedentes de excavaciones o préstamos que se realiza normalmente a través del uso de medios mecánicos.

CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN Y GENERALIDADES DEL PROYECTO CONSTRUCCIÓN DE PRESA DE TIERRA

2.1. Generalidades del proyecto de presa - etapa III

El proyecto consiste en el desvío de las aguas del río Santa a través de un canal de 280 km hacia los valles e intervalles de Chao, Virú, Moche y Chicama. De este modo, se hará posible el riego de más 160 mil hectáreas de tierras agrícolas, la generación hidro energética y la dotación de agua potable a la ciudad de Trujillo.

La etapa conformó la ejecución de las siguientes obras: presa Palo Redondo y obras auxiliares, tercera de cruce del río Virú, canal madre Moche – Chicama – Urricape, conducción lateral para el sector Urricape, remodelación integral del sistema de tomas existentes de las Etapas I y II, y sistema de control, medición y automatización integral para la infraestructura hidráulica del proyecto.

2.1.1. Ubicación del proyecto

El proyecto se ubica en la franja costera del departamento de La Libertad a lo largo de unos 180 km desde el margen derecho del río Santa por el Sur hasta las proximidades de la ciudad de San Pedro de Lloc por el norte. Las provincias en las que se encuentran ubicadas las áreas de riego a beneficiar son Virú, Trujillo y Ascope.



Figura N° 6. Ubicación del proyecto.

Fuente: Proyecto de Presa Fase III

2.2. Beneficios generales del proyecto

- Incorporación de 18 mil ha. nuevas de cultivo
- Mejoramiento de riego e incremento del área sembrada a 29 mil ha.
- 70% de población trujillana beneficiada por planta de tratamiento de agua potable
- 50 mil beneficiados por Central Hidroeléctrica de Virú
- 40 mil empleos directos y permanentes

2.2.1. Beneficios de la fase del proyecto

- Incorporación de 63 mil ha. de tierras nuevas.
- Mejoramiento del riego de 48 mil ha en el valle de Chicama.
- 150 mil nuevos puestos de trabajo.

- US\$ 1200 millones anuales de producción agroexportadora durante toda la vida útil del proyecto.
- US\$ 1000 millones de inversiones privadas en desarrollo agrícola de tierras nuevas.
- Aseguramiento a largo plazo de suministro de agua potable a la ciudad e Trujillo y otras poblaciones del departamento de La Libertad.
- Suministro de agua para generación hidroeléctrica.

2.3. Alcance del proyecto

El proyecto de análisis tiene 2 fases. En la primera de ellas, se desarrolla la ingeniería, obras preliminares y, por último, la construcción de la presa y obras anexas. La segunda fase consistió en la construcción del canal madre, sifón y el sistema de control y medición. Sin embargo, este trabajo está limitado y enfocado en la construcción de la presa, la cual tiene un plazo de 33 meses (ver Figura N° 7).



Figura N° 7. Principales áreas que conforman el proyecto.

El alcance del proyecto de mejora se basa en la fase de construcción de presa donde se detectó problemas de eficiencia.

Fuente: Elaboración propia.

En relación con la presa de tierra, fue diseñada para ser construida en 6 etapas, con una altura de 97 metros y con un relleno total de tierra de 8,426 mm³, con una capacidad de almacenamiento de 401 mm³ y con un volumen útil de 366 mm³ (ver Figura N° 8).

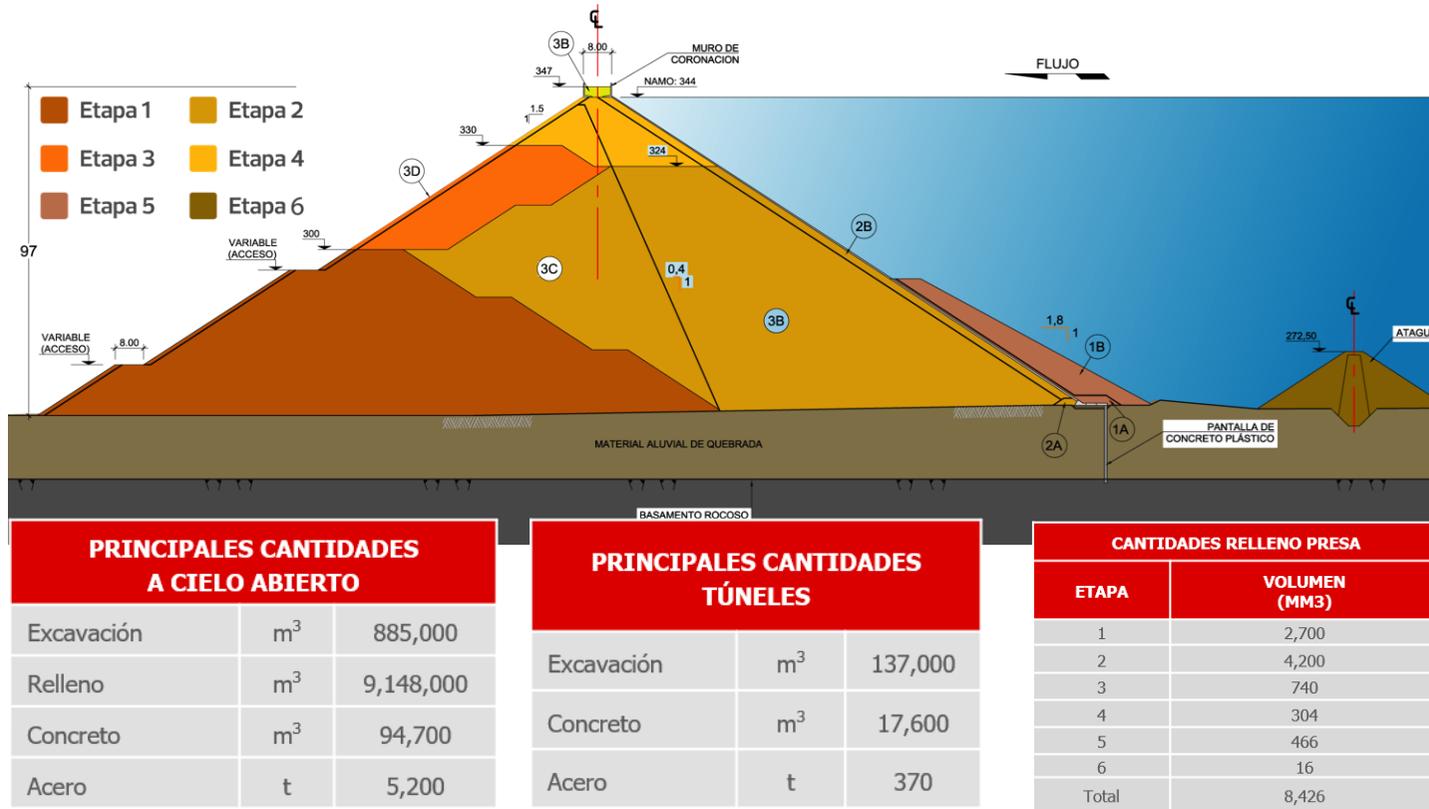


Figura N° 8. Principales áreas que conforman el proyecto.

Fuente: Área de proyecto en la Fase III.



Figura N° 9. Animación del proyecto con la presa concluida.

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 10. Ubicación geográfica de las 2 fases del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

2.4. Características generales del proyecto fase I de la etapa III

Contrato de Concesión para el Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de las Obras Hidráulicas Mayores del Proyecto bajo la modalidad de asociación pública privada.

2.4.1. Objetivos

- Diseñar y construir las obras de la Tercera Etapa
- Operar y mantener las obras nuevas y existentes
- Prestar el servicio de suministro de agua a los usuarios del proyecto

2.4.2. Obras por ejecutar

- Diseño y construcción de la presa Palo Redondo para un embalse de 366 MMC y una altura de 97 m.
- Tercera línea de cruce del río Virú
- Canal Madre tramo Moche – Chicama – Urricape
- Sistema de conducción lateral para sector Urricape
- Remodelación total e íntegra del sistema de tomas del Canal Madre tramo Chao – Virú – Moche
- Sistema de control de medición y automatización con cobertura integral para toda infraestructura hidráulica mayor del proyecto

CAPÍTULO III: ANÁLISIS DEL PROBLEMA

En el presente capítulo, se detalla la aplicación de la metodología DMAIC para mejorar el proceso crítico. En tal sentido, en primer lugar, se plantean las siguientes etapas con base en el ciclo DMAIC.

Cuadro N° 3. Etapas según metodología DMAIC para la mejora

Fase	Descripción
Define	Diagnosticar el proceso actual, medir de manera previa Eficiencia operativa de Volquetes, rendimiento diario, carta X-R e índice de capacidad Cp
Mide	Verificación de la disponibilidad mecánica promedio de volquetes, rodillos y tractores,
Analiza	Análisis de causa raíz, diagrama Ishikawa, Diagrama Pareto y matriz de impacto vs esfuerzo.
Mejora	Programa de capacitación, sectorización para el relleno de presa.
Controla	Medir (después de mejorar) la eficiencia operativa de Volquetes, rendimiento diario, carta X-R e índice de capacidad Cp

Nótese que el ciclo está enfocado en mejorar la actividad del relleno de la presa.

Fuente: Elaboración propia.

3.1. Fase Define

3.1.1. Diagnóstico situacional

En el relleno de la presa, se ha observado en campo un proceso realizado por empuje, sin un criterio de sectorización. En consecuencia, impacta de manera directa en toda la cadena de producción y en el uso eficiente de todos los equipos que forman parte del proceso, aunque incide sobre todo en los volquetes con respecto a la cantidad.



Figura N° 11. Actividad de acarreo de material para relleno.

Fuente: Elaboración propia

Entre junio de 2015 hasta agosto de 2015, se han usado en promedio 50 volquetes en obra con un contrato de 180 horas mínimas por mes.

En ese periodo, se ha observado un bajo nivel de utilización de volquetes. En promedio, se calcula que asciende a 150.35 h/mes, lo que representa el 83.5 % del uso respecto al mínimo objetivo de 180 horas.

3.1.2. Diagnóstico por área de actividades

A. Excavación.

- No se tiene un análisis adecuado de cuál es el equipo más eficiente para los trabajos específicos.

B. Relleno.

- No se cuenta con un control de los volúmenes de producción por equipo (Eficiencia por Tractor, Rodillo)
- No se tiene un análisis de la cantidad de equipos óptimos para realizar el relleno de acuerdo con las metas diarias, semanales y mensuales.

- Falta de coordinación con ingeniería para levantar las restricciones y/o posibles interferencias para el relleno.

C. Transporte.

- No se tiene un cálculo adecuado del número efectivo de volquetes para realizar el transporte de material para el relleno y la eliminación.
- No se tiene una adecuada definición de accesos constructivos para evitar interferencias de transportes y recorridos adicionales.
- No se cuenta con un plan de mantenimiento de vías adecuadas para mejorar la rodadura de los volquetes.
- No se cuenta con una delimitación de accesos peatonales para el personal, así como una adecuada señalización.

D. Carguío.

- Se subutilizan los equipos de carguío en la cantera, debido a un inadecuado ciclo de carguío.
- Se generan cuellos de botella al ingreso, lo que demora el carguío y despacho.
- Retraso en el comienzo de actividades, originado por el bajo nivel de control de actividades previas al carguío.

E. Productividad.

- No se cuenta con una adecuada consolidación de información de lo trabajado en campo (Metrado Avanzado vs Costos) para obtener indicadores adecuados de productividad.
- Las reuniones de productividad muestran indicadores globales y no se puede diferenciar por responsable o por área.
- Se debe optimizar los tiempos de paralización por fallas en el sistema del Machine Control para los equipos.

F. Ingeniería.

- No se tiene un responsable en campo para poder absolver dudas y levantamiento de restricciones por parte de construcción.
- El control de cantidades por parte de topografía son cada 2 días, pero no se realiza en la totalidad de frentes en los que se viene trabajando.
- No se hace un seguimiento a la Curva S de producción.
- No se consolida la información de calidad (resultado de los ensayos de compactación).
- Falta definir y difundir la rutina de programación incluido los entregables de todas las áreas involucradas (3WLA, PPC, Avances, AR, otros).

G. Equipos.

- No se cuenta con un adecuado control de equipos con los indicadores de eficiencia operativa.
- Es necesario mejorar el plan de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo.

CAPÍTULO IV: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC PARA MEJORA EN EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA DE TIERRA

4.1. Fase Medir

En la fase inicial se procede a realizar una evaluación de la eficiencia operativa de los volquetes, tractores y rodillo, así como el desempeño de relleno y la variabilidad del proceso.

4.1.1. Eficiencia operativa de volquetes

Para obtener la eficiencia operativa (OP) se toma con base a las horas útiles de trabajo, siendo de 180 horas al mes, se descarta las horas no operativas por reparación momentánea y descanso, según la siguiente ecuación.

Cuadro N° 4. Eficiencia de volquetes

Mes	jun-15	jul-15
Cantidad de equipos	33	39
Horas trabajadas Turno	3,401	5,746
Horas de parada	2,539	1,274
X= 0	8	4
X < 180 Hrs	25	34
Hrs= 180	-	-
x > 180	-	1
Hrs/promedio	103.1	147.3
Hrs Jornada laboral	200	200
% utilización	51.5%	73.7%

Fuente: Elaboración propia.

Entiéndase como x igual a la cantidad de veces en que un volquete no trabajó ($x=0$), trabajó por debajo de las 200 Hrs ($X < 200$ hrs) o trabajó más de 200 horas ($x > 200$ hrs).

Nótese que los equipos en promedio trabajaron por debajo de las 180 horas mínimas requeridas (73 veces durante el trimestre), lo que representa una pérdida significativa de dinero, así como una subutilización de volquetes.

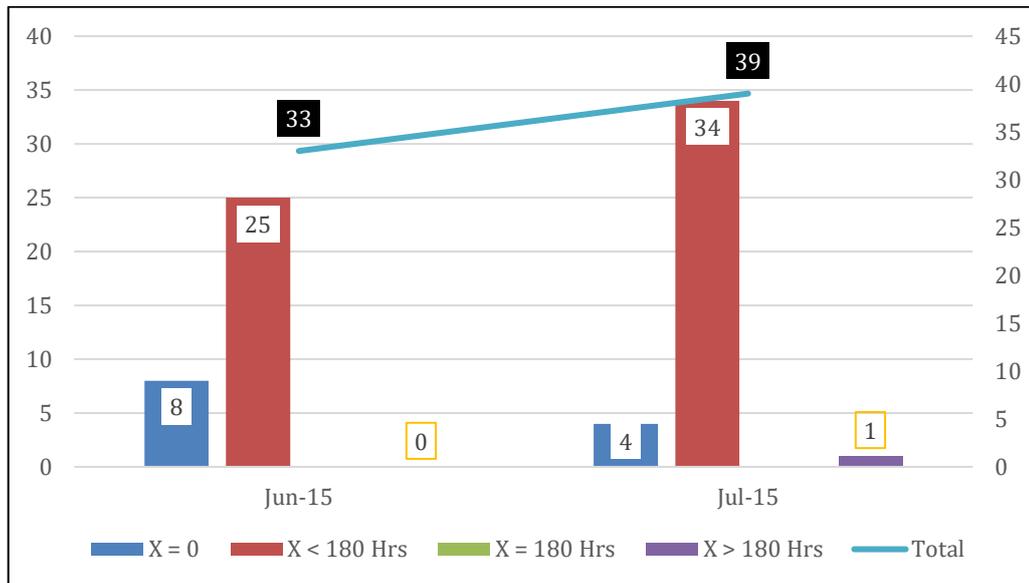


Figura N° 12. Utilización de volquetes según horas útiles de trabajo.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Rendimiento diario de relleno de la presa

Para la medición del rendimiento del relleno de la presa, se tomó en consideración un mes (agosto 2015), en donde se verificaba la cantidad rellena, a partir de la capacidad promedio de los volquetes y la cantidad de viajes realizado del vaciado. Esto se compara con la meta diaria acumulada. El resultado se muestra en la figura N° 13. Como se puede observar, el desempeño diario está por debajo de lo previsto, en la mayoría de los días del mes monitoreado. El acumulado indica que,

de las 456,747 Toneladas previstas, fueron rellenas 408,525 tn, a un promedio diario de 19,375 m³.

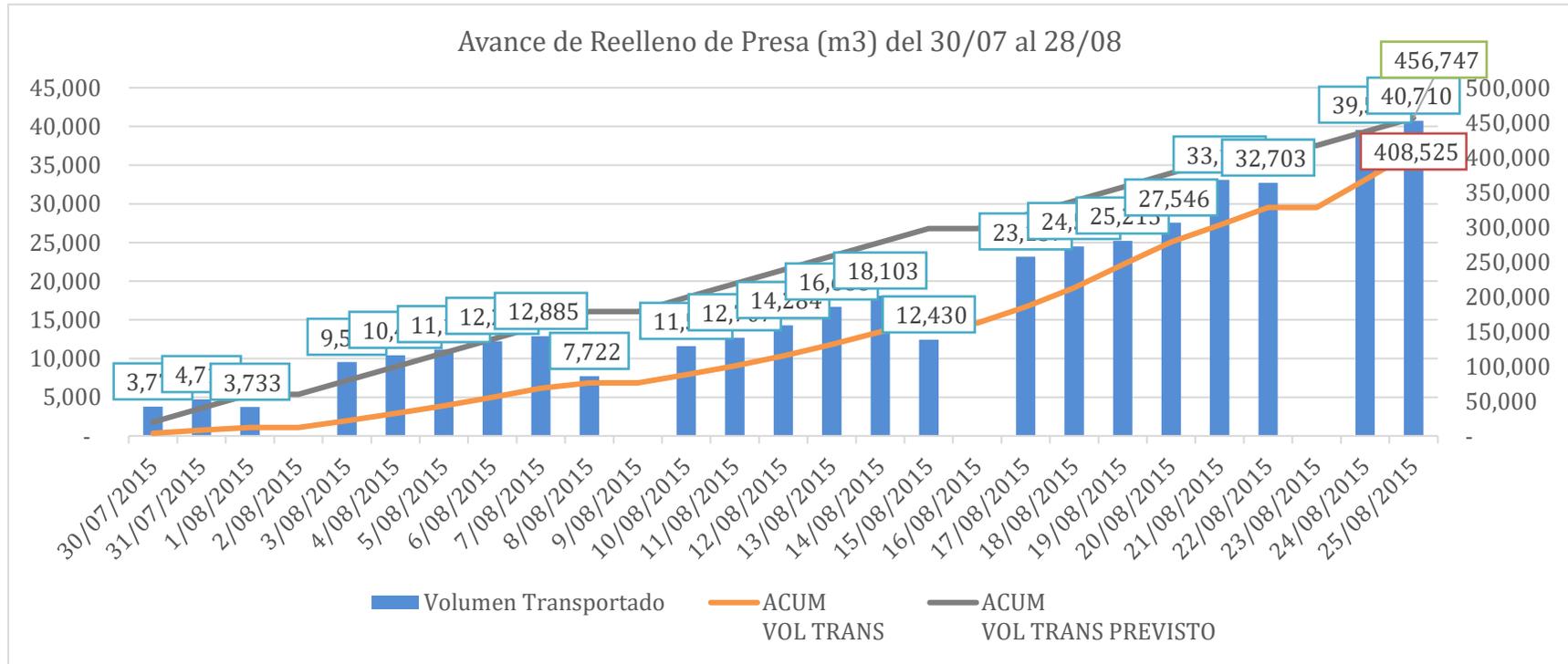


Figura N° 13. Rendimiento diario de relleno de presa.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Variabilidad de desempeño de volquetes

El estudio de variabilidad permite analizar el proceso en cuanto al valor central del proceso y su capacidad. Para ello, se toma para el mes de agosto una muestra de 10 volquetes para cada día. Donde se registra el tiempo de trabajo de cada uno. Los resultados se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 5. Horas útiles de trabajo de 10 volquetes agosto 2015

Fecha	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Media	Rango
01/08/2015	196	165	202	138	198	192	170	112	134	124	163,09	89,78
03/08/2015	137	77	98	138	121	226	196	193	56	82	132,41	170,67
04/08/2015	170	203	173	155	170	198	258	219	155	168	186,91	102,97
05/08/2015	280	98	188	146	70	149	120	195	209	155	160,76	210,09
06/08/2015	135	27	148	267	130	188	110	170	160	175	150,89	239,19
07/08/2015	119	211	125	107	105	218	288	114	101	207	159,44	187,01
08/08/2015	305	149	165	70	176	230	199	90	176	105	166,58	234,44
10/08/2015	194	140	150	156	122	79	120	42	151	147	130,17	151,77
11/08/2015	52	124	183	127	157	160	185	114	123	254	147,84	201,39
12/08/2015	170	95	86	171	52	148	207	129	122	174	135,52	155,08
13/08/2015	127	151	29	79	190	123	153	96	125	106	117,91	160,72
14/08/2015	121	167	192	57	190	252	222	157	92	170	162,00	195,10
15/08/2015	60	135	174	177	171	160	140	174	125	162	147,98	117,24
17/08/2015	86	90	114	142	128	254	145	128	61	137	128,61	193,58
18/08/2015	178	77	151	198	116	73	101	298	167	174	153,25	225,17
19/08/2015	168	176	91	177	204	216	138	180	134	107	159,12	125,62
20/08/2015	140	197	105	165	115	133	227	190	158	133	156,32	122,71
21/08/2015	78	130	167	111	95	105	133	179	198	197	139,31	120,45
22/08/2015	126	195	132	163	125	191	183	189	174	192	167,04	70,67
20/08/2015	113	191	104	191	151	214	170	83	134	157	150,71	130,19
21/08/2015	84	193	177	184	145	94	174	128	219	146	154,37	134,80
22/08/2015	139	82	19	171	112	195	143	153	212	124	134,99	193,33
24/08/2015	86	124	138	88	146	165	148	124	275	109	140,41	189,12
25/08/2015	173	114	130	134	140	174	108	161	146	104	138,40	69,93
26/08/2015	194	173	201	209	104	133	95	170	136	158	157,28	114,33
27/08/2015	197	165	124	211	122	179	88	187	116	89	147,84	123,35
28/08/2015	147	192	151	190	191	150	162	142	142	183	165,00	50,01
29/08/2015	131	155	135	182	198	172	197	130	136	119	155,55	78,68
											150,35	148,48

Optimización del proceso de movimiento de tierras disminuyendo la variabilidad del acarreo y relleno basados en la metodología DMAIC

Bach. Mamani Romero David Stiff

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos anteriores se sacan los valores del promedio de cada día y el valor promedio general, así como también el valor de R, el cual es el promedio de la diferencia entre el máximo valor y el mínimo valor de cada día los valores obtenidos de hr y R= 148.48 hr. Los datos son introducidos en Minitab para obtener el informe de capacidad. En tal sentido, la siguiente figura muestra el resultado. Para mayor detalle se puede revisar el Anexo 03.

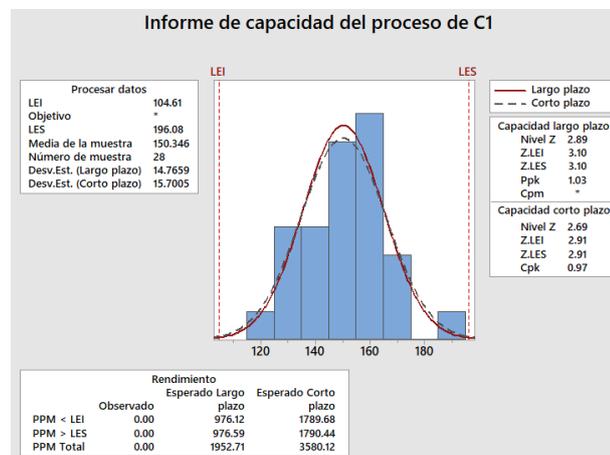


Figura N° 14. Informe Six sigma actual de relleno de presa.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis: el informe Six Sigma muestra una media de 150.35 horas con un límite inferior de 104.61 horas y un límite superior de 196.08 horas. Esto implica que los equipos están debajo por el mínimo requerido de 180 horas. El nivel sigma reportado es de 2.89.

Conclusión de la Fase Definir y meta para los siguientes pasos:

Orientar los siguientes pasos de la implementación en el uso eficiente de los volquetes, lo que permitirá un impacto en el plazo y el costo del proyecto. Diagnostico inicial 73.5%, meta para ser logrado en un tiempo de 3 meses de implementación de la metodología DMAIC 85%.

4.2. Fase Analizar

4.2.1. Análisis de causa raíz

Para el proceso de la etapa III del proyecto, se elabora el siguiente diagrama Ishikawa.

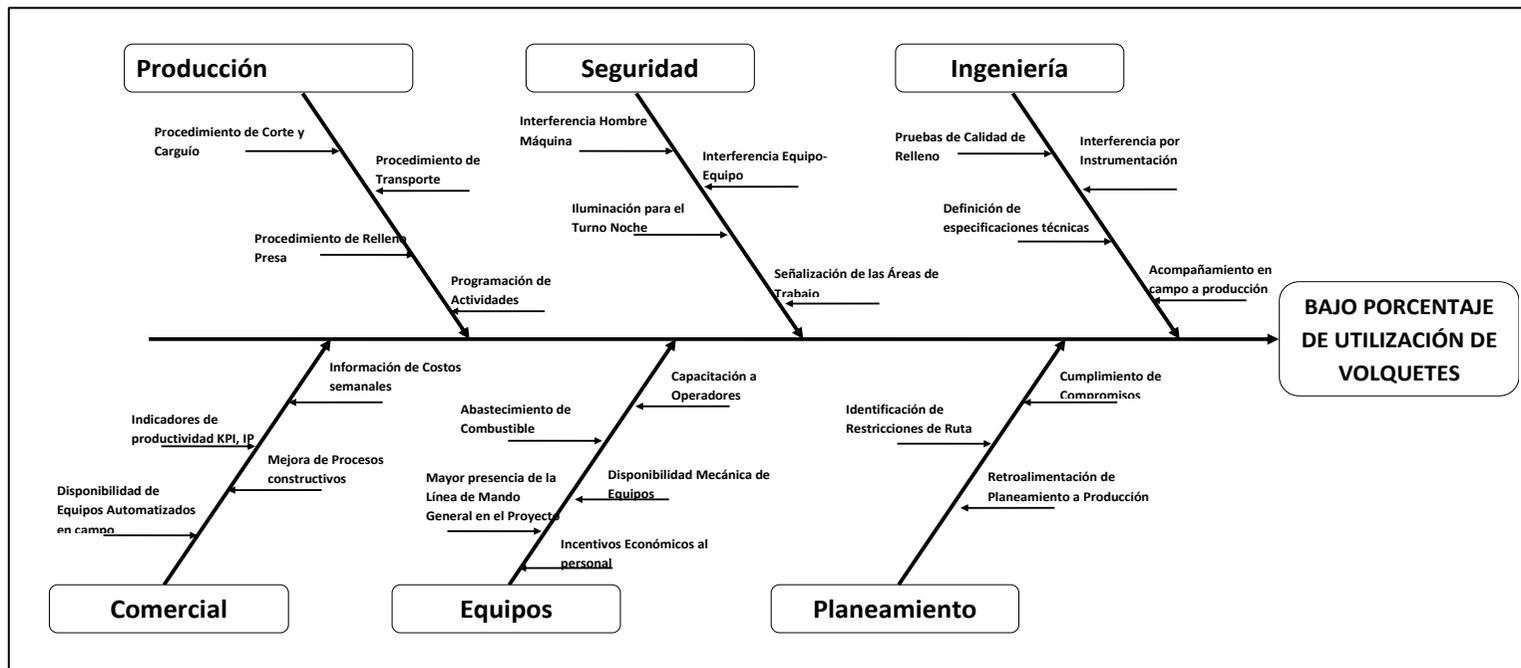


Figura N° 15. Diagrama de Ishikawa.

Fuente: Elaboración propia.

Según el diagrama Ishikawa, se han identificado 6 grandes grupos de causas que ocasionan el bajo porcentaje de utilización de los volquetes:

- Producción: dentro de este paquete se menciona la programación de actividades, el procedimiento de relleno de la presa, el procedimiento de transporte y el procedimiento de corte y carguío.
- Seguridad: incluye la señalización de áreas de trabajo, la iluminación para el turno noche, la interferencia de equipos y la interferencia hombre máquina.
- Ingeniería: se considera por ejemplo las pruebas de calidad de relleno, la interferencia por instrumentación, la definición de especificaciones técnicas, y también el nivel de acompañamiento de ingeniería en campo como soporte al equipo de producción.
- Comercial: se relaciona con la información de costos semanales que permite tomar decisiones oportunas, implementación de mejora de procesos constructivos, generación de indicadores de productividad, disponibilidad de equipos automatizados en campo.
- Equipos: se centra en el desarrollo de capacitaciones a operadores, disponibilidad mecánica de equipos, incentivos económicos al personal, abastecimiento de combustible durante la jornada laboral, mayor presencia de línea de mando general en el proyecto.
- Planeamiento: permite la identificación de las restricciones y la medición del cumplimiento de compromisos.

Ahora bien, haciéndose el análisis de las causas, y ponderando cada criterio en una escala del 1 al 10, en los criterios Incremento de la utilización, incremento de la producción, mejora la productividad e incremento de la seguridad, se obtiene el cuadro N° 6, en donde el Rank se obtuvo bajo la siguiente fórmula:

$$Rank = (10 * Calif1) + (8 * Calif2) + (10 * Calif3) + (8 * Calif4) + (10 * Calif5)$$

Por ejemplo, el Rank para la causa: "Proceso de relleno de presa" es:

$$Rank_{(Proceso\ de\ relleno\ de\ presa)} = (10 * 10) + (8 * 8) + (10 * 10) + (8 * 8) + (10 * 10)$$

$$Rank_{(Proceso\ de\ relleno\ de\ presa)} = 428$$

Cuadro N° 6. Tabla de evaluación de frecuencias sobre problemas detectados

Criterios de ponderación						Rank	% Rank	Acum % Rack
	Incremento de la utilización de equipos	Incremento de la producción	Mejora la productividad	Optima distribución de equipos	Incremento de la seguridad			
Causas	10	8	10	8	10			
Proceso de relleno de presa	10	8	10	8	10	428	9,3%	9,3%
Vaciado de volquetes sin espacio ni criterios definidos	10	8	10	6	10	412	9,0%	18,3%
Ausencia de indicadores para el relleno con volquetes	8	8	8	9	10	378	8,2%	26,6%
Diseño y mantenimiento de vías deficientes	10	10	10	5	5	335	7,6%	33,9%
Tiempos de espera de llenado de volquetes frecuentes	10	10	10	6	4	350	7,3%	41,5%
Operadores no capacitados	6	8	8	8	10	308	6,7%	48,2%
Ubicación de vigías	8	8	8	8	8	320	6,5%	55,2%
Estandarización de equipos de transporte	6	10	4	6	10	288	6,3%	61,5%
Tiempos de abastecimiento de combustible	6	8	8	3	10	266	5,8%	67,3%
Iluminación para el turno de la noche	9	8	10	7	4	259	5,7%	73,0%
Interferencia hombre - máquina	9	8	10	1	1	256	5,6%	78,6%
Cumplimiento de compromisos	8	7	7	5	4	207	4,5%	83,1%

Optimización del proceso de movimiento de tierras disminuyendo la variabilidad del acarreo y relleno basados en la metodología DMAIC

Bach. Mamani Romero David Stiff

Retroalimentación de planteamiento a producción	9	8	6	4	3	202	4,4%	87,5%
Señaléticas de las áreas de trabajo	6	6	6	7	4	178	3,9%	91,4%
Disponibilidad mecánica de equipos	4	3	3	6	10	142	3,1%	94,5%
Capacidad de llenado de volquetes	3	8	8	6	1	106	2,3%	96,8%
Acompañamiento de planeamiento a producción en campo	4	3	6	1	1	91	2,0%	98,8%
Baja respuesta del área de mantenimiento de equipos	3	5	3	4	8	57	1,2%	100,0%
						4583		

Fuente: Elaboración propia.

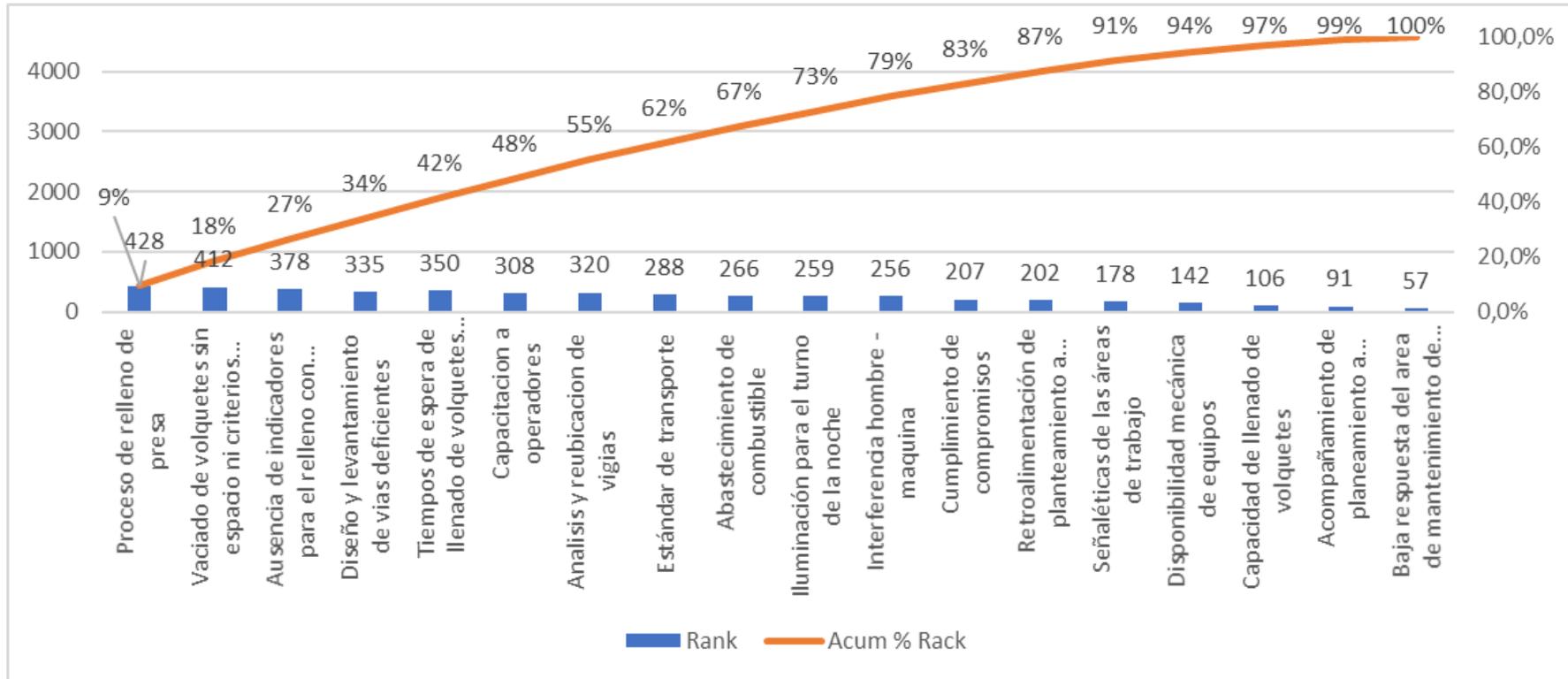


Figura N° 16. Diagrama de causa-efecto.

Fuente: Elaboración propia.

El proceso de relleno de la presa es donde existe mayor oportunidad de mejora desde el punto de vista de aumento de equipos, producción, seguridad y productividad. Representa un 9.3 % de las causas. De forma consecuente, el vaciado de volquetes sin un criterio definido u orden operacional, equivalen al 9 % del total. Lo acompaña la ausencia de indicadores de desempeño con un 8.2 %. Existe un mal diseño de las vías dentro de obra en un valor ponderado de 7.3 %. La capacitación de operadores representa un 6.3 % de las causas. El análisis y reubicación de los vigías de obra son el 6.5 %. El estándar de transporte puede ser mejorado, puesto que tiene una ponderación de 6.3 %. El abastecimiento de combustible equivale a un 5.8 %. La iluminación del turno noche fue calificado con un 5.7 % y la interferencia hombre - máquina equivale a un 5.6 %. Estas causas representan el 80 % del acumulado total.

Para determinar las posibles acciones a implementar se procederá a desarrollar una matriz de análisis de impacto y esfuerzo.

Cuadro N° 7. Tabla de evaluación de análisis de impacto y esfuerzo

Item	Problema	Propuesta de Solución	Impacto	Esfuerzo
01	Proceso de relleno de la presa	Implementación del relleno por lotes de trabajo	5	4
02	Largas esperas de los volquetes en el proceso de relleno de la presa	Implementación del relleno por lotes de trabajo	5	4
03	Ausencia de indicadores de desempeño	Desarrolladores indicadores de control de revisión semanal	1	1
04	Diseño y mantenimiento de vías de acceso	Desarrollar mantenimientos periódicos de las vías y rediseñar el circuito de circulación de los equipos	3	3
05	Operadores no capacitados	Desarrollar capacitaciones a los operadores	3	1

06	Ubicación de vigías	Disminuir la cantidad de vigías con el plan la implementación del relleno por lotes y el rediseño de circuito de circulación de los equipos	2	1
07	Estandarización de equipos de transporte	Homogenizar el tamaño de los volquetes en base a las condiciones del terreno	2	3
08	Tiempos de abastecimiento de equipos	Desarrollar un plan de abastecimiento de combustible con mayor uso de los cambios de turno y los horarios de refrigerio en donde los equipos están parados	2	2
09	Iluminación del turno noche	Incrementar la cantidad de luminarias para el turno noche y/o optimizar su uso con la implementación del relleno por lotes	2	3
10	Interferencia hombre – máquina	Implementación del relleno por lotes de trabajo	5	4

Fuente: Elaboración propia.

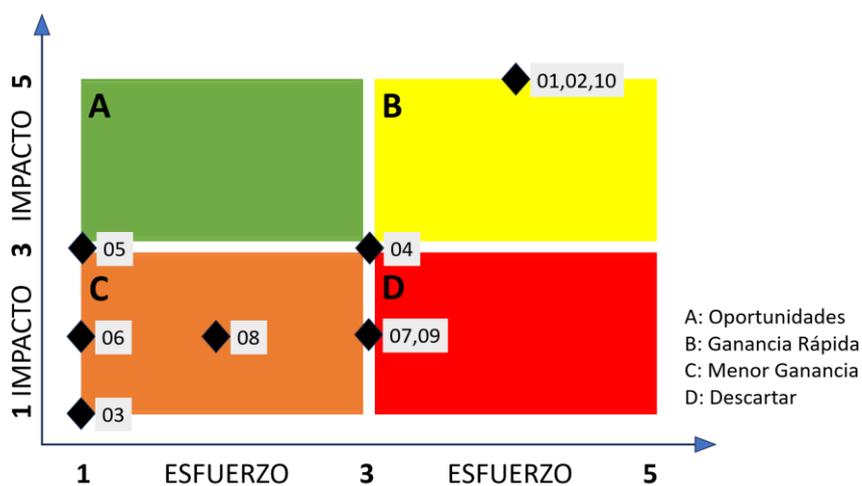


Figura N° 17. Matriz de Impacto vs Esfuerzo.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el resultado de la matriz de Impacto vs esfuerzo, se puede determinar que la solución que dará mayores beneficios será la de implementar el proceso de relleno de la presa por lotes. Aun cuando esta representa un mayor esfuerzo, la ponderación supone un mayor impacto.

CAPÍTULO V: IMPLEMENTACIÓN

5.1 Fase de mejora con la implementación

De acuerdo con el análisis del Pareto y de la matriz de impacto vs esfuerzo, se ha determinado que la mejor solución a implementar es el relleno por lotes de trabajo. En ese sentido, se procederá con esta implementación.

5.1.1. Implementación del proceso de relleno por lotes

Con el objetivo de reducir la variabilidad en el proceso de producción, la primera acción que se realizó fue cambiar la actual forma de ejecutar el relleno de la presa, la cual se desarrolla ocupando todo el largo y ancho disponible del frente de trabajo. Para ello, vamos a trabajar en determinar el lote más pequeño y a la vez el más eficiente. De esta manera, se podrá subdividir el trabajo tomando como base la figura N° 18.

	1				2				3				4				5				6						
1	L-01				L-02				L-03				L-04				L-05				L-06				24		
	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C		V	T
2	L-12				L-11				L-10				L-09				L-08				L-07				24		
	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C		V	T
3	L-13				L-14				L-15				L-16				L-17				L-18				24		
	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C		V	T
	61				61				61				61				61				61						

Figura N° 18. Primera propuesta de división de terreno.

Para el vaciado de presa por lotes.

Fuente: Elaboración propia.

La sectorización permite unos mejores flujos de los volquetes, un mayor aprovechamiento y balanceo de cargas de trabajo. Asimismo, el nuevo esquema permite definir puntos de carguío óptimos, un área de conformado, y otro de compactado. Esto se traduce en una división de cada lote estructurada por subzonas de trabajo.

5.1.2. Desarrollo de taller práctico de producción por lotes de aviones, utilizando legos

Es importante que previo a la implementación el equipo de producción tenga conocimientos en los beneficios que proporciona una planificación por lotes respecto a una que no lo es. En ese sentido, se programó un taller práctico en el que participaron tanto los ingenieros de frente, capataces y al jefe de producción.

Este taller consistió en la fabricación de aviones con legos y, por la cantidad de participantes, se dividió en dos grupos de trabajo como se muestra en la figura N° 19.



Figura N° 19. Personal participe del taller práctico de producción por lotes.

Fuente: Elaboración propia.

El taller se divide en 3 fases; sin embargo, y en forma particular, vamos a trabajar en dos grupos de 4 personas cada uno. Cada persona del grupo representará una estación y tiene que ejecutar una parte específica del avión. A continuación, una breve descripción de las fases.

FASE 1.

- Las estaciones de trabajo están en desorden

- Utilicen las instrucciones “FASES 1 y 2”
- El tamaño de lote será de 5, esto quiere decir que cada estación de trabajo tendrá que completar 5 paquetes de trabajo para poder pasar a la siguiente estación.
- Se trabaja bajo el sistema PUSH
- 1 min para planear la cantidad de aviones estimada a producir y el tiempo del primer avión aprobado por Calidad

FASE 2.

- Las estaciones de trabajo estarán en desorden
- Utilicen las instrucciones “FASES 1 y 2”
- El tamaño de lote será de 1, esto quiere decir que cada estación de trabajo tendrá que completar 1 paquetes de trabajo para poder pasar a la siguiente estación.
- Se trabaja bajo el sistema PUSH
- 2 min para planear la cantidad de aviones estimada a producir y el tiempo del primer avión aprobado por Calidad

FASE 3.

- Las estaciones de trabajo estarán en orden
- Utilicen las instrucciones “FASE 3”

- El tamaño de lote será de 1, esto quiere decir que cada estación de trabajo tendrá que completar 1 paquetes de trabajo para poder pasar a la siguiente estación.
- Se trabaja bajo el sistema PULL
- 3 min para planear la cantidad de aviones estimada a producir y el tiempo del primer avión.

En el anexo 02, presentamos las instrucciones de la dinámica y las partes que fabricará cada estación.

5.1.3 Implementación por lotes en el relleno de la presa

En primer lugar, se procedió a hacer cálculos en campo sobre los tiempos que toman la carga, la ida, la descarga, la vuelta y la espera de los volquetes (ver Figura N° 20).

Cuadro N° 7. Cuadro análisis de tiempos de transporte de un volquete

Descripción	UOM	Teórico	Real
Carga	Min	2.7	3.2
Ida	Min	5.1	6.2
Descarga	Min	2.5	4.0
Vuelta	Min	4.5	5.0
Espera	Min	2.0	4.0
Total	Min	16.8	22.4

Fuente: Elaboración propia.

Luego de evaluar los rendimientos reales de los equipos como el volquete, tractor y rodillo, se empezó a hacer iteraciones para determinar el lote más pequeño y eficiente a la vez. También se tomó en cuenta las dimensiones del área total para poder concluir en una lotización adecuada para el proyecto. Para más detalle se puede revisar el anexo 4, en donde se muestra la “Hoja de Cálculo de Rendimiento de Movimiento de Tierras y Formato de Lotización por lotes”

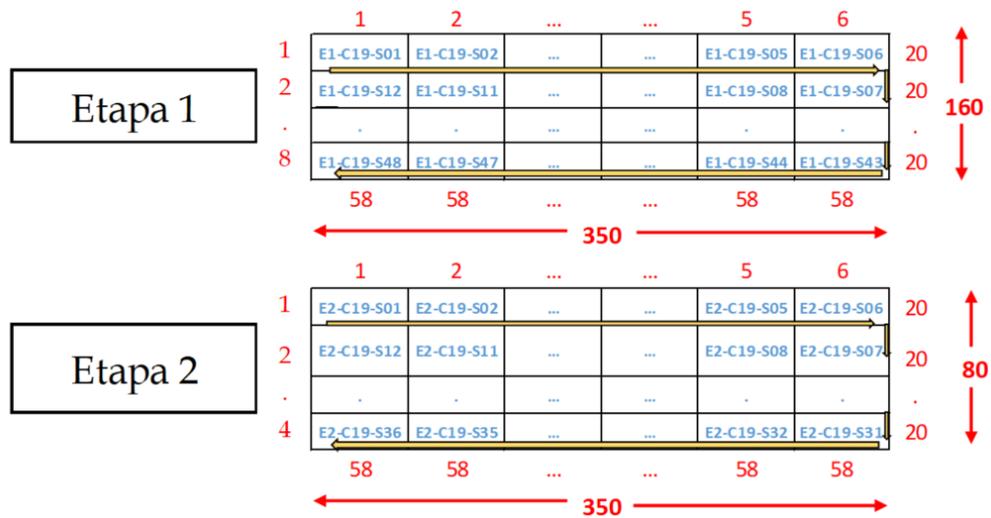


Figura N° 20. Esquema para determinar el tamaño óptimo de lote.

Fuente: Elaboración propia.

	Descripción	UOM	QTY
(a)	Numero de Capa E1	und	19
(a')	Numero de Capa E2	und	1
(b)	Numero de Columnas	und	6
(b')	Numero de Columnas	und	6
(c)	Numero de Filas	und	8
(c')	Numero de Filas	und	4
(d)	Largo Total Capa E1	m	350
(d')	Largo Total Capa E2	m	350
(e)	Ancho Total Capa E1	m	160
(e')	Ancho Total Capa E2	m	80
(g)	Largo Lote E1: (d)/(b)	m	58
(g')	Largo Lote E2: (d')/(b')	m	58
(h)	Ancho Lote E1: (e)/(c)	m	20
(h')	Ancho Lote E2: (e')/(c')	m	20
(i)	Altura Lote Compactado	m	0.8
(j)	Días Laborables Mes*	Día	26
(k)	Horas Trabajadas Día	h	9.5
(l)	Horas Trabajadas Noche	h	9.5
(m)	Volumen Lote	m ³	933.3
(n)	Rendimiento Rodillo	m ³ /h	960
(m)	Vol. Efectivo Volquete	m ³	17

Figura N° 21. Lotización diseñada para etapa 01 y 02.

Fuente: Elaboración propia.

5.1.4. Implementación del proceso de relleno

Luego de la capacitación y el diseño de los lotes, se logró la implementación en el relleno de la presa. Con ello, se redujo la variabilidad en este proceso.



Figura N° 22. División de terreno para relleno por lotes.

El esquema rectangular muestra el flujo de actividades por lotes, con mayor fluidez, líneas de tráfico definidos y óptimos puntos de carguío de volquetes.

Fuente: Elaboración propia

5.2. Fase Controlar

5.2.1. Análisis de eficiencia operativa de los volquetes post mejora

Tomando el cálculo inicial, se tomó el trimestre entre setiembre del 2015 y noviembre del 2015 para la evaluación de desempeño, una vez superada la implementación. Al respecto, los resultados son los siguientes:

Cuadro N° 8. Eficiencia de volquetes post mejora.

Mes	oct-15	nov-15
Cantidad de equipos	42	33
Horas trabajadas	7,848	6,769
Turno		
Horas de parada	-288	-829
X= 0	4	-
X < 180 Hrs	6	7
Hrs= 180	-	-
x > 180	32	26
Hrs/promedio	186.86	205.12
Hrs Jornada laboral	200	200
% utilización	93.4%	102.6%

Fuente: Elaboración propia.

Entiéndase como x igual a la cantidad de veces en que un volquete no trabajó (x=0), trabajó por debajo de las 200 Hrs (X< 200 hrs) o trabajó más de 200 horas (x> 200 hrs).

Los resultados indican un porcentaje de utilización general de 90,8 %, con mayor frecuencia de uso de los vehículos por encima de las 180 horas de trabajo, en específico, 79 veces (ver Figura N° 23).

Si se compara con la situación inicial, para la misma cantidad de tiempo analizado (3 meses), se trabajó con 9 volquetes menos.

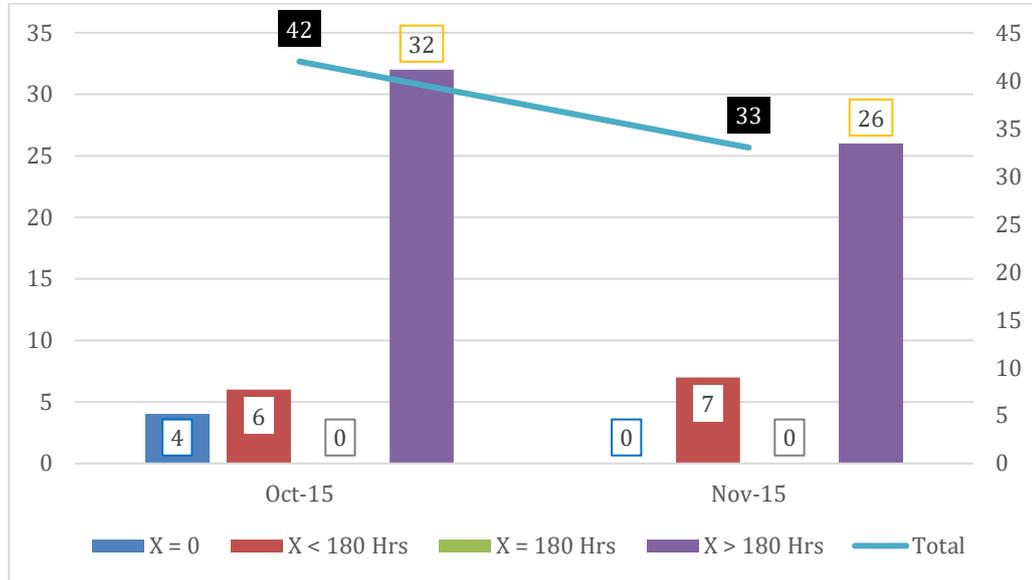


Figura N° 23. Resultados de la implementación ejecutada.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2. Análisis de rendimiento diario de relleno de presa post mejora

El seguimiento de los meses subsiguientes de agosto, septiembre y octubre se detallan en cuadro N° 9. Si se compara septiembre y octubre con agosto del 2015, se tiene un incremento en el nivel de rendimiento por m³ de relleno. En agosto fue de 19 375 m³, para setiembre de 20 116 m³ y para el mes de octubre fue de 25 218 m³. Evidentemente, un mejor uso de los volquetes en el cumplimiento de sus actividades impacta directamente en la cantidad de material extraído, transporte, y vaciado en la presa.

Cuadro N° 9. Seguimiento de rendimiento de relleno de presa post mejora

Semanas	Rendimiento promedio diario por semana	Rendimiento promedio diario por mes
---------	--	-------------------------------------

Optimización del proceso de movimiento de tierras disminuyendo la variabilidad del acarreo y relleno basados en la metodología DMAIC

Bach. Mamani Romero David Stiff

Resumen	Semana 01	4,075	19,375
Agosto:	Semana 02	10,668	
	Semana 03	14,302	
	Semana 04	27,705	
	Semana 05	40,127	
	Resumen	Semana 01	9,557
Setiembre:	Semana 02	19,632	
	Semana 03	20,105	
	Semana 04	23,327	
	Semana 05	27,959	
	Resumen	Semana 01	24,745
Octubre:	Semana 02	22,178	
	Semana 03	26,386	
	Semana 04	27,564	

Fuente: Elaboración propia.

Al obtener una mayor utilización de los volquetes, aumenta la cantidad de material para el relleno de la presa. Véanse las figuras N° 24, 25 y 26 para observar esto con mayor claridad.

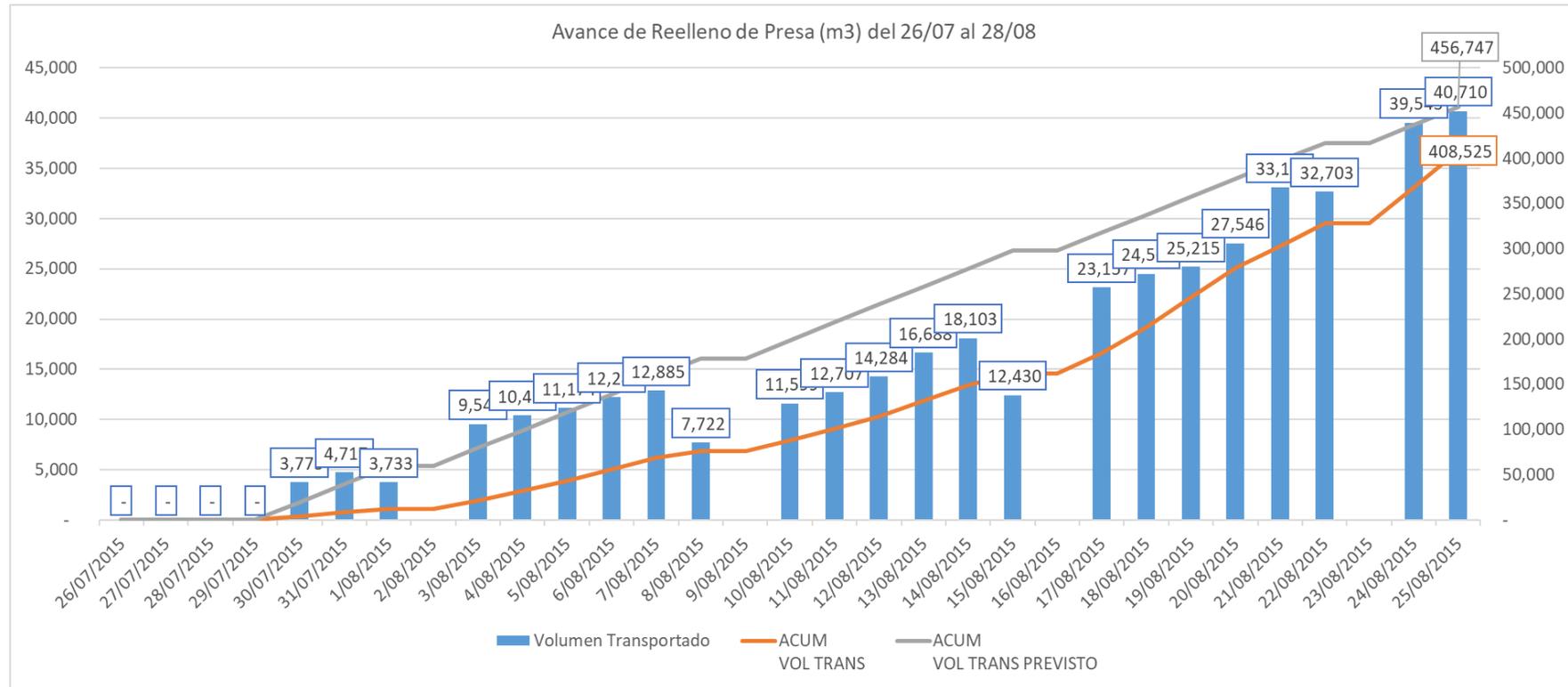


Figura N° 24. Avance diario de relleno de presa, agosto.

Fuente: Elaboración propia.

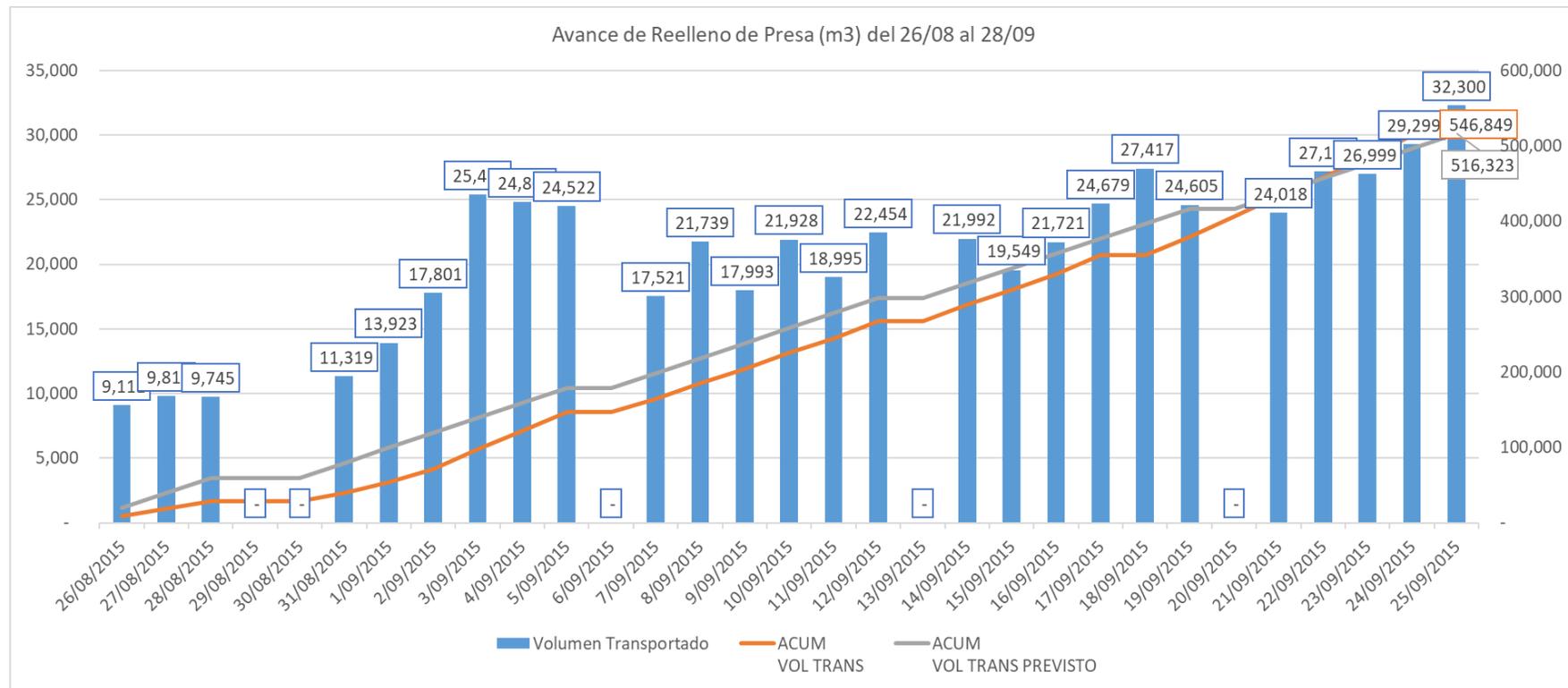


Figura N° 25. Avance diario de relleno de presa, septiembre.

Fuente: Elaboración propia.

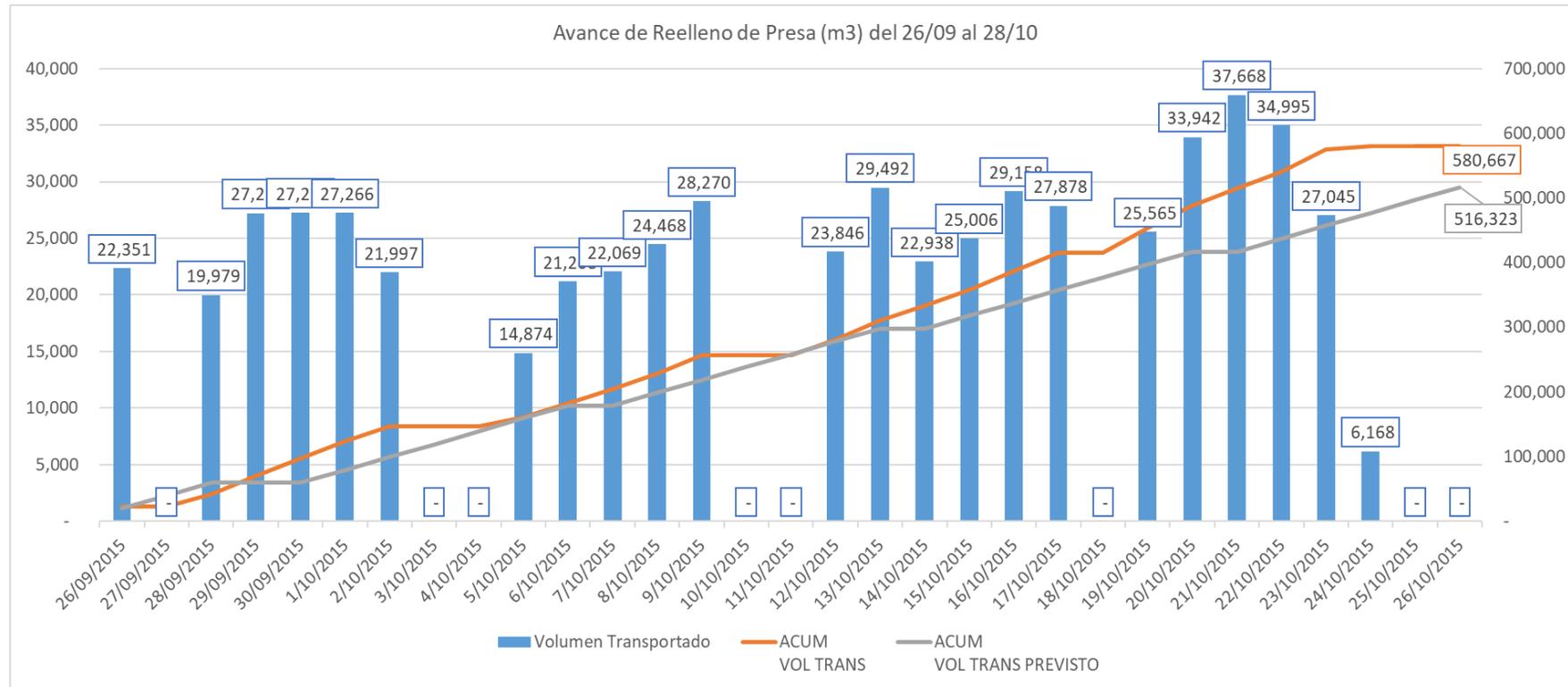


Figura N° 26. Avance diario de relleno de presa, octubre.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3. Variabilidad de desempeño de volquete post mejora

Para el cálculo de la variabilidad del proceso después de mejora, se tomaron los tiempos de 10 camiones para el mes de octubre y se anotó su desempeño diario. Posteriormente, se calculó su media y rango de cada día. Luego se introdujeron los datos en Minitab para el cálculo de Six Sigma.

Cuadro N° 10. Tiempos de utilización útil de 10 volquetes post mejora

Nro de lote	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Media	Rango
01/10/2015	210	182	192	165	187	175	219	161	185	172	184.80	58.15
02/10/2015	175	168	210	159	151	157	163	184	259	196	182.22	108.95
03/10/2015	176	181	212	158	231	218	232	160	132	201	190.06	100.20
04/10/2015	174	196	214	143	169	148	158	206	158	234	180.02	90.80
05/10/2015	196	109	178	152	225	201	147	204	212	217	184.10	116.48
06/10/2015	156	183	142	212	183	209	195	13	186	193	167.22	199.20
07/10/2015	154	166	192	161	189	176	216	204	173	164	179.49	62.11
08/10/2015	230	199	123	191	135	204	180	148	174	162	174.58	107.07
09/10/2015	166	140	172	193	215	255	106	171	163	208	178.81	149.03
10/10/2015	167	208	182	154	224	215	187	135	198	190	186.13	88.68
11/10/2015	159	177	160	145	216	201	168	229	139	203	179.84	89.69
12/10/2015	163	205	157	193	199	150	189	210	202	161	183.00	60.01
13/10/2015	203	167	149	179	145	204	224	212	206	200	188.96	78.05
14/10/2015	193	185	185	194	145	185	143	189	172	193	178.37	50.67
15/10/2015	185	166	173	177	205	184	126	182	197	211	180.73	84.51
16/10/2015	168	146	188	202	228	176	204	193	173	178	185.73	82.06
17/10/2015	151	134	185	167	149	177	249	178	171	193	175.34	115.08
18/10/2015	165	119	216	165	222	205	172	105	201	185	175.53	116.54
19/10/2015	191	174	176	174	173	195	191	198	167	148	178.59	49.49
20/10/2015	181	206	170	173	207	190	216	195	196	169	190.15	46.65
21/10/2015	214	169	187	175	176	181	172	207	194	202	187.78	45.04
22/10/2015	199	176	182	169	137	229	159	173	230	186	183.90	92.93
23/10/2015	189	191	152	170	180	194	202	105	153	194	173.10	96.55
24/10/2015	193	166	181	151	169	175	208	153	189	168	175.33	56.52
25/10/2015	194	206	157	191	217	162	160	210	150	175	182.24	67.05
26/10/2015	241	171	200	155	135	154	151	198	145	215	176.42	105.82
27/10/2015	193	192	187	158	163	183	176	267	207	226	195.20	108.97
28/10/2015	133	167	202	172	223	168	164	147	192	209	177.66	90.11

29/10/2015	213	220	203	172	187	226	143	159	141	211	187.40	84.18
30/10/2015	156	219	153	186	175	202	238	141	173	208	185.00	96.45
31/10/2015	133	198	165	183	213	168	191	145	165	235	179.58	101.99
											181.52	90.29

Fuente: Elaboración propia.

La información de las horas útiles fue extraída del reporte diario del área de logística. El cálculo de la media y rango es propio.

Al realizar el análisis de capacidad Six sigma, se arrojó el siguiente resultado. Para mayor detalle se puede revisar el Anexo 03.

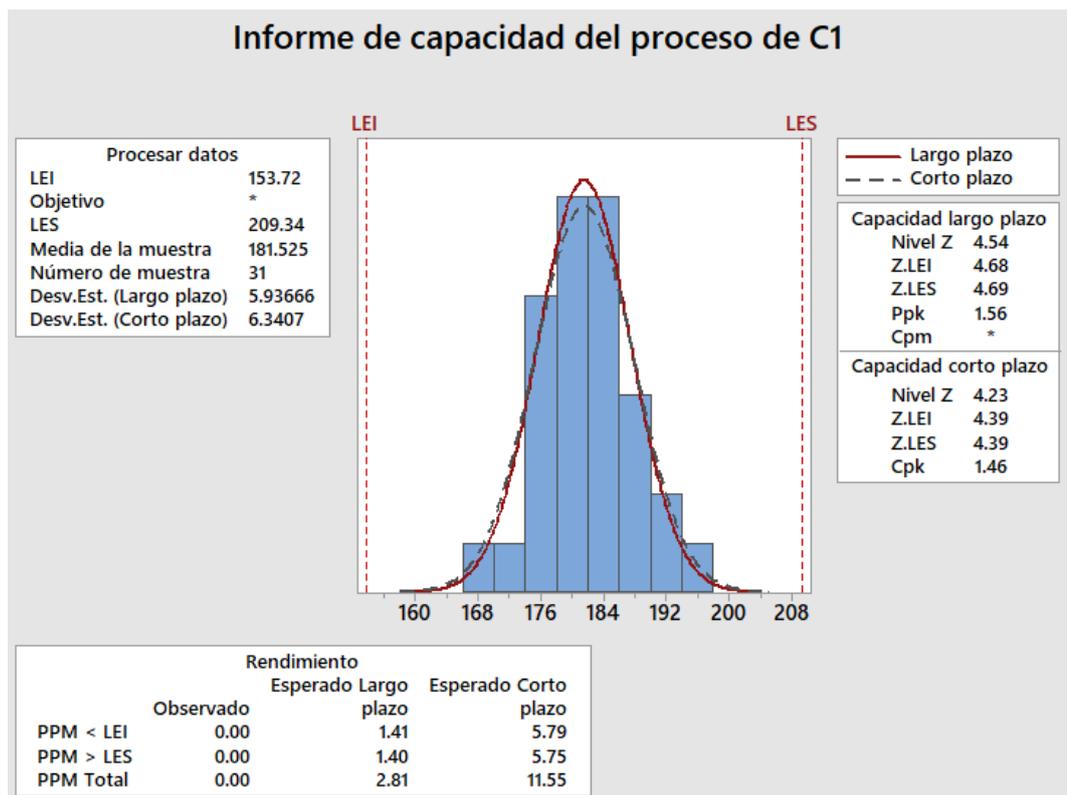


Figura N° 27. Informe de Capacidad del Proceso de C1. Reporte de Minitab.

Fuente: Elaboración propia

Análisis: El promedio de horas útiles de los volquetes es de 181.52 horas, con un desempeño mínimo de 153.72 horas (límite inferior) y una utilización máxima de 209.34 horas (límite superior). El nivel sigma del proceso es de 4.54. Si se compara con el nivel sigma inicial de 2.89, estamos hablando de una disminución de la variabilidad en más de 57.09 %.

Es importante mencionar que también que para hacer sostenible esta implementación en el tiempo, se procedió a ingresar en el equipo del proyecto , dentro del área de control de proyectos, un ingeniería que formó parte de la implementación, de esa manera se buscaba que la implementación perdure y que el ciclo DMAIC se siga mejorando.

5.3. Comparativa de resultados antes y después de la mejora

Para verificar la influencia de las mejoras sobre la eficiencia de los volquetes, el rendimiento diario de relleno de presa y la variabilidad Six sigma se contrasta la situación antes y después de las modificaciones realizadas. Estas fueron sectorización de relleno de presa y plan de capacitación. En tal sentido, se obtiene el siguiente cuadro comparativo.

Cuadro N° 11. Comparativa de resultados

Variable	Valor	Antes de mejora	Después de mejora	Variación
Eficiencia de volquetes	Índice (porcentaje)	75.2 %	90.8 %	+15.6 %
	Cantidad de vehículos (periodo 3 meses)	116	113	-3 volquetes
Rendimiento diario de relleno de presa	Índice (m ³)	19 375	25 218	+ 5 843 m ³
Variabilidad Six Sigma	X barra (horas útiles)	150.34	181.52	+ 20.73 %
	Nivel Sigma (σ)	2.89	4.23	+ 57.09 %

Fuente: Elaboración propia.

Según el cuadro anterior, se tiene que la eficiencia de los volquetes aumentó en un +15.6 %, con 3 volquetes menos. El efecto también se vio reflejado en el rendimiento diario de relleno con un aumento de 5 843 m³ adicionales diarios. En cuanto al análisis Six Sigma, se pudo constatar un aumento en el promedio de las horas productivas de los volquetes en 20.73 %. Adicionalmente, el proceso

registró un aumento en el nivel sigma de 57.09 %, lo que indica mayores horas útiles, menos fluctuaciones entre su valor máximo y mínimo en el rango diario.

CONCLUSIONES

Se logró implementar el ciclo DMAIC en el proceso de relleno de una presa de un proyecto de hídrico. Al introducir el análisis de variabilidad, haciéndose énfasis en la metodología Six Sigma, cálculo de indicadores para la eficiencia de los volquetes y monitoreo del rendimiento diario del relleno de la presa. Se logró aumentar el nivel Sigma del proceso en un porcentaje de 57.09 % (valor inicial de 2.89 a un valor post mejora de 4.23).

Se alcanzó a implementar el relleno por lotes como mejora para disminuir la variabilidad, apoyados en la metodología Six Sigma. Al respecto, se obtuvo un incremento en la media del proceso en lo que respecta el tiempo de utilización útil de volquetes, al pasar de 150.34 horas útiles de trabajo diario a 181.52 horas. Se registró una variación positiva de un 20.73 %.

Con relación a la eficiencia operativa de los volquetes, se obtuvo un incremento de 75.2 % en su fase inicial para pasar a un 90.8 % en su fase después de la implementación, con una variación positiva de 15.6 %.

Se aumentó el rendimiento diario de relleno en el proyecto de movimiento de tierras al pasar de 19 375 m³ diarios a 25 218 m³. Se obtuvieron 5 843 m³ adicionales después de la mejora.

Por último, también se logró disminuir la cantidad de volquetes alquilados y utilizados. Con el estudio, gestión y control de la variabilidad de tiempo de aprovechamiento útil de los volquetes, se logró disminuir de 42 a 33 volquetes en la evaluación post mejora.

RECOMENDACIONES

Algunas recomendaciones para aplicar la metodología DMAIC en futuras investigaciones del sector construcción:

Analizar los desafíos en la implementación: Identificar los desafíos comunes y las barreras en la implementación de Six Sigma en el sector de la construcción, como la resistencia al cambio, falta de capacitación y recursos limitados. Desarrollar enfoques para abordar estos desafíos y facilitar una adopción más amplia de Six Sigma en la industria.

Examinar el impacto en la sostenibilidad: Investigar cómo la implementación de Six Sigma en la construcción puede contribuir al logro de objetivos de sostenibilidad, como la reducción de residuos y emisiones, eficiencia energética y uso responsable de recursos.

Capacitación y educación: Estudiar la efectividad de diferentes programas de capacitación y educación en Six Sigma para profesionales de la construcción. Esto incluye la identificación de los métodos de enseñanza más efectivos y las habilidades clave que deben ser enseñadas.

Comparación con otras metodologías: Comparar Six Sigma con otras metodologías de mejora de procesos y gestión de proyectos (como Lean Construction, Kanban, y Agile) en términos de efectividad, eficiencia y resultados en el sector de construcción.

Desarrollo de herramientas y tecnologías: Investigar y desarrollar herramientas y tecnologías específicas para la industria de la construcción que

faciliten la implementación de Six Sigma. Esto puede incluir software de gestión de proyectos, sistemas de monitoreo en tiempo real y herramientas de análisis de datos.

Evaluación de las mejores prácticas: Identificar y evaluar las mejores prácticas en la aplicación de Six Sigma en el sector de la construcción, tanto a nivel nacional como internacional, y promover su adopción en la industria.

Impacto en la satisfacción del cliente: Examinar cómo la implementación de Six Sigma en la construcción puede impactar en la satisfacción del cliente, incluyendo la entrega a tiempo, la calidad del producto final y la comunicación efectiva.

Medición y seguimiento de resultados: Establecer métricas y sistemas de seguimiento para evaluar el éxito de la implementación de Six Sigma en la industria de la construcción. Esto permitirá el análisis y la mejora continua de las prácticas y procesos.

En resumen, el sector de la construcción puede beneficiarse enormemente de la aplicación de Six Sigma, pero es importante investigar y desarrollar enfoques específicos para la industria. Esto incluye identificar áreas críticas, analizar desafíos, comparar metodologías y desarrollar herramientas y tecnologías para facilitar la adopción de Six Sigma en la industria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Internacional de la Energía. (2021). *Efectos del cambio climático para el año 2050*.
- Alkasisbeh, M., Almamlook, R., Alkasasbeh, M., & Alshammari, M. (2018). *Implementation of Six Sigma Tools in Building Construction* [Resumen de presentación de conferencia]. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Paris, France. https://www.researchgate.net/publication/325931208_Implementation_of_Six_Sigma_Tools_in_Building_Construction
- Chacon, S. (2007). *Aplicación de la metodología DMAIC a un proceso* [Tesis de maestría, Tecnológico de Monterrey]. <http://hdl.handle.net/11285/567726>
- García, M. (24 de junio de 2019). *Los KPI son imprescindibles en tu empresa de construcción*. Miguelgarcía. <https://miguelgarcia.me/kpi-imprescindibles-en-empresa-de-construccion/>
- Gutierrez, H. (2009). *Control estadístico de calidad y seis Sigma*. Mc Graw Hill.
- International Renewable Energy Agency. (2018). *Transformación energética Mundial. Resumen ejecutivo*. <https://www.irena.org/publications/2018/apr/transformacion-energetica-mundial-edicion-2018-resumen-ejecutivo>
- Nowotarski, P., Szymanski, P., & Rzepecka, P. (2019). *Método DMAIC de mejora de la calidad de los procesos de obras de tierra: estudio de caso* [Resumen de presentación de conferencia]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Prague, Czech Republic. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/221/1/012002/meta>
- Parekh, V., Salanki, K., & Prajapati, N. (2019). Application of Six Sigma on METRO Rail Construction Project. En C. Ha-Minh et al. (eds.). *CIGOS 2019, Innovation for Sustainable Infrastructure*. Lecture Notes in Civil Engineering. Singapore. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-0802-8_89

- Raisinghani, M., Ette, H., Pierce, R., & Cannon, G. (2005). Six Sigma: Concepts, tools, and applications. *Industrial Management & Data Systems*, 105(4), 491-505.
https://www.researchgate.net/publication/220672381_Six_Sigma_Concepts_tools_and_applications
- Sandoval, W. (2018). *Diseño de obras hidrotécnicas*. Autoedición.
https://www.researchgate.net/publication/326560488_Capitulo_1_Presas_y_Embalses
- Shariq, J. (2017). Lean Six Sigma Methodology for the improvement of the road construction projects. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(5), 248-259.
https://www.researchgate.net/publication/317767966_Lean_Six_Sigma_methodology_for_the_improvement_of_the_road_construction_projects

ANEXOS

Anexo 1. Información complementaria de la presa	81
Anexo 2. Instrucciones para el desarrollo dinámica de aviones	89
Anexo 3. Datos estadísticos de variabilidad.....	108
Anexo 4. Hoja de Cálculo de Rendimiento de Movimiento de Tierras.....	114
Anexo 5. Hoja de lotización	118

Anexo 1. Información complementaria de la presa



Figura N° 28. Descripción geográfica del proyecto Fase III.

Fuente: Proyecto de presa Fase III.



Figura N° 29. Descripción de primera fase del proyecto.

Fuente: Proyecto de presa Fase III.



Figura N° 30. Descripción de primera fase del proyecto.

Fuente: Proyecto de presa Fase III.

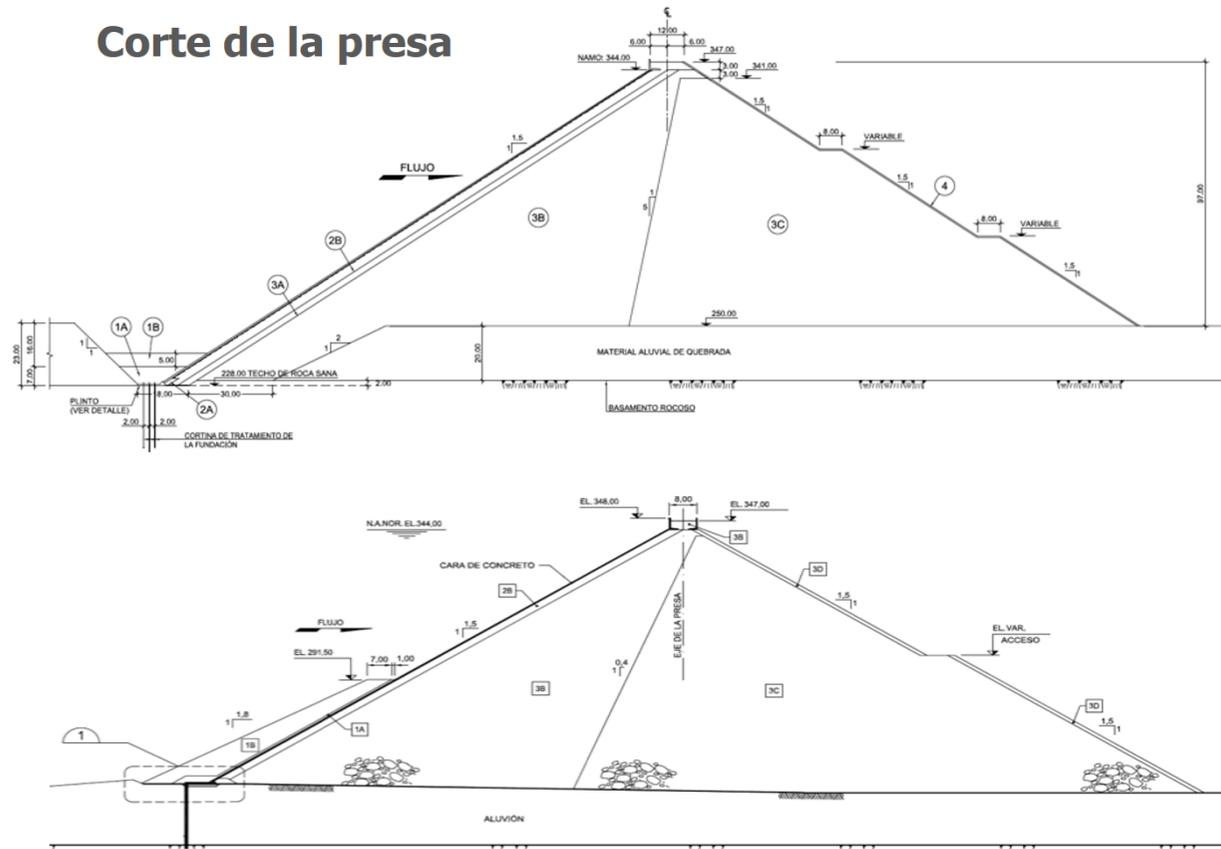


Figura N° 31. Descripción de primera fase del proyecto.
Fuente: Proyecto de presa Fase III.

Corte de la presa con distinción de etapas

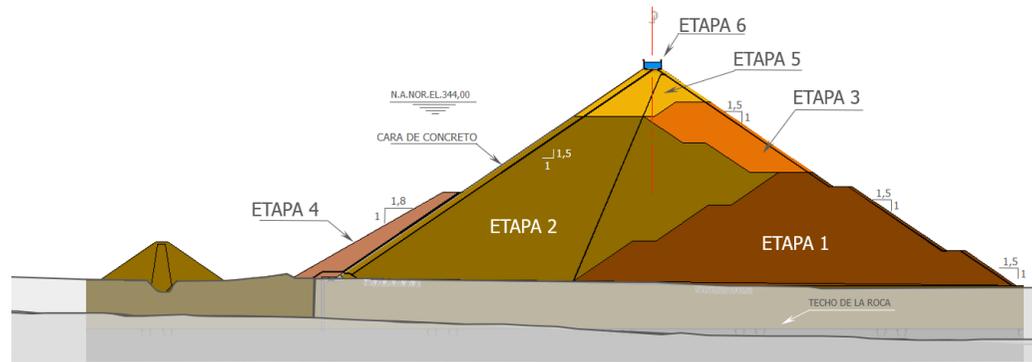


Figura N° 32. Descripción de primera fase del proyecto.

Fuente: Proyecto de presa Fase III.

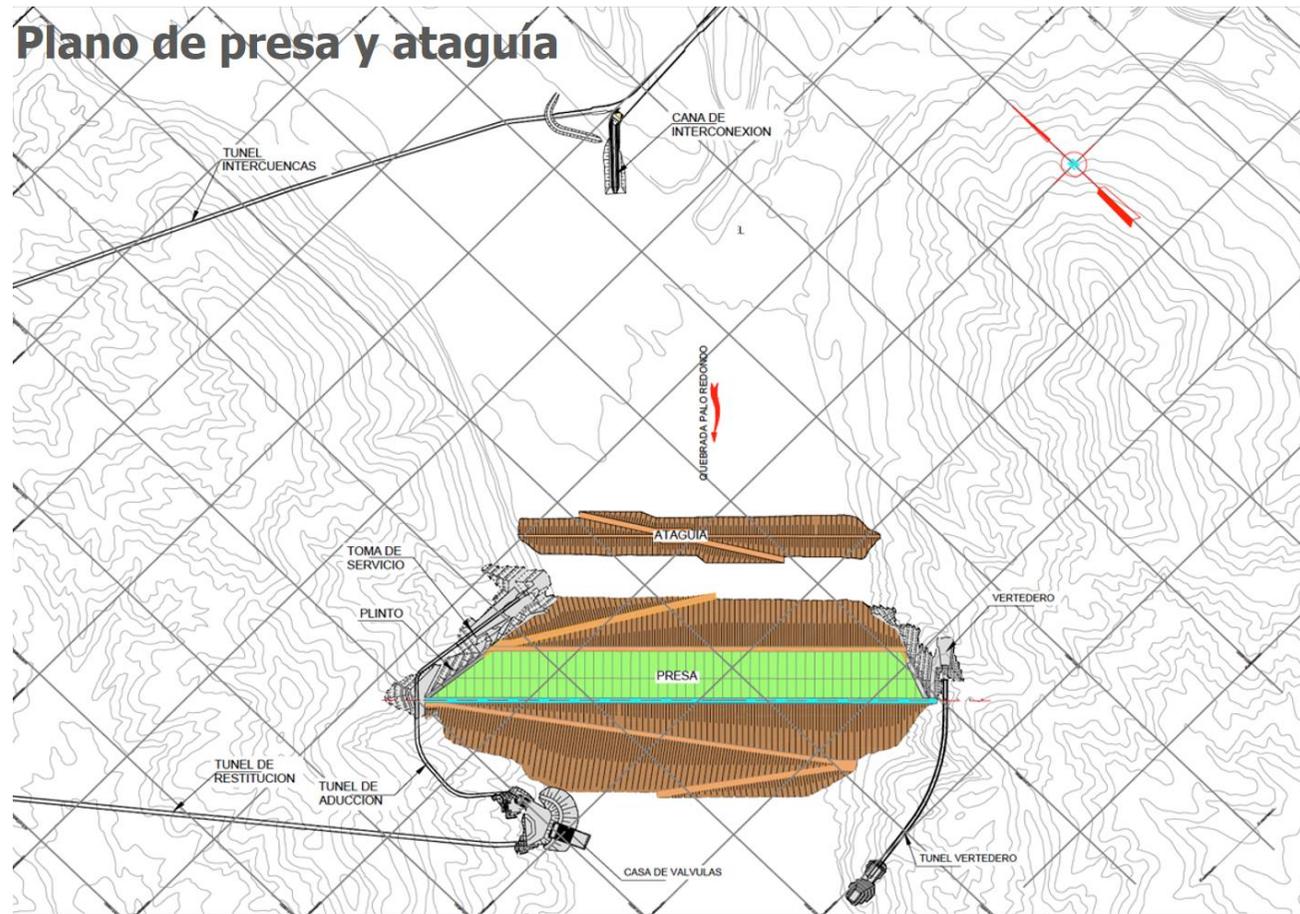


Figura N° 33. Plano de presa y ataguía.

Fuente: Proyecto de presa Fase III.

Accesos y vías a usar para el desarrollo de la construcción de la presa

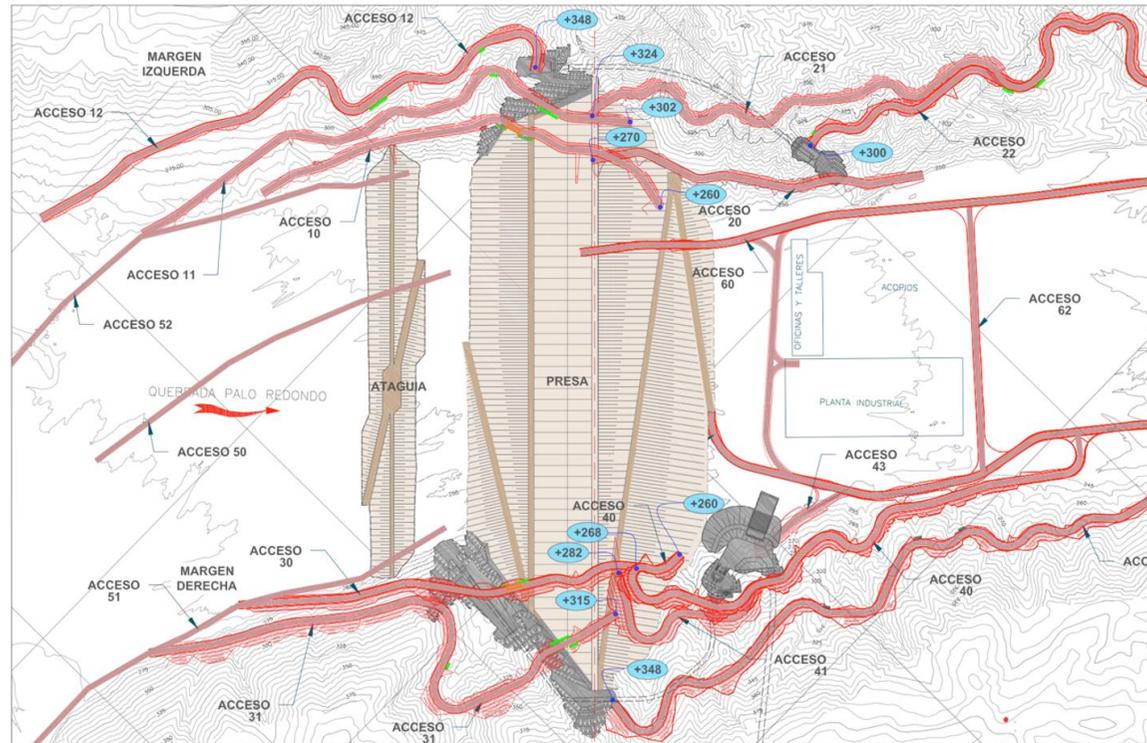
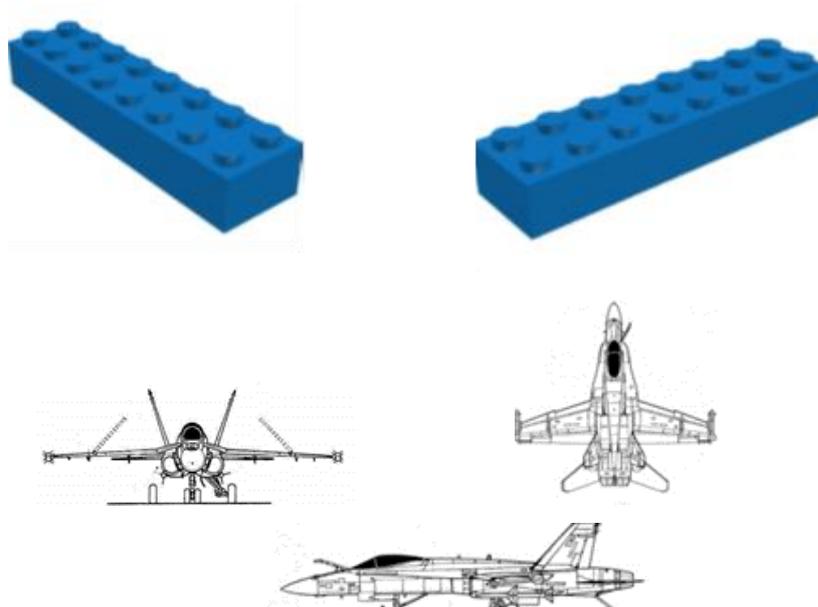


Figura N° 34. Accesos y vías para la construcción de la presa.

Fuente: Proyecto de presa Fase III.

Anexo 2. Instrucciones para el desarrollo dinámica de aviones

ESTACIÓN DE TRABAJO 1

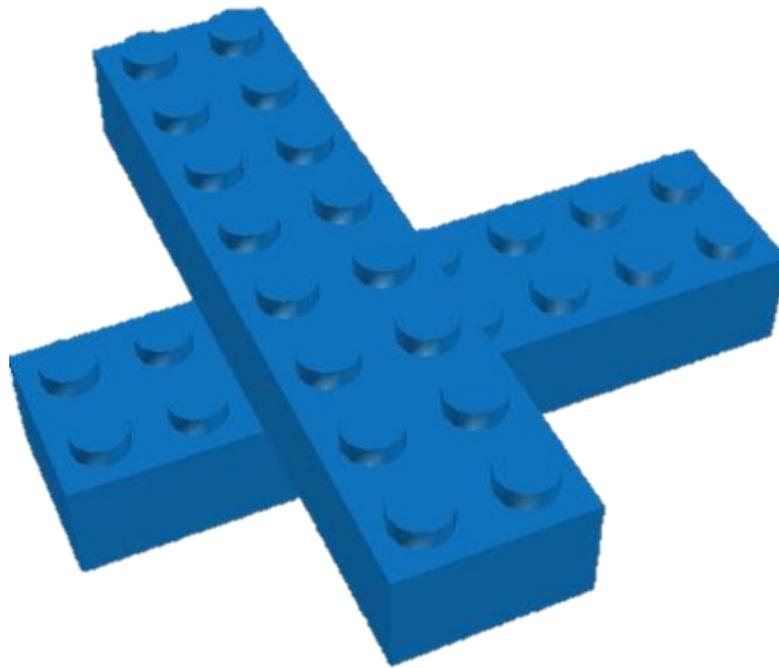


Ensamblaje de la sección primaria del fuselaje utilizando dos piezas de 16 bloques



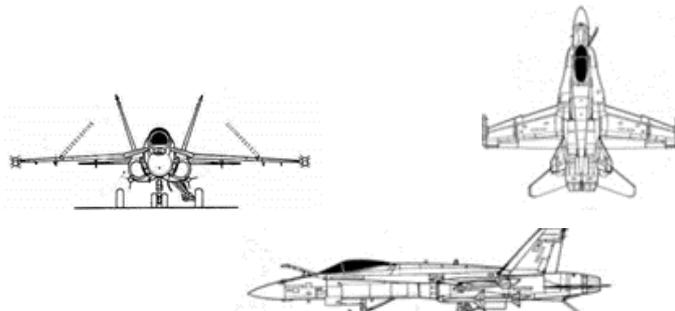
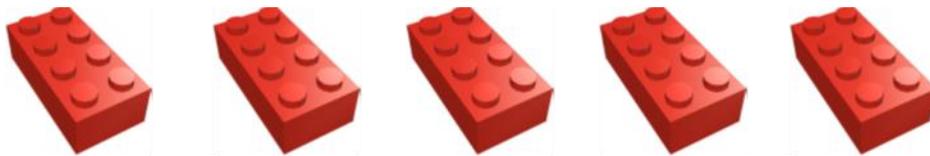
Figura N° 35. Estación de trabajo 1.

Fuente: Elaboración propia.

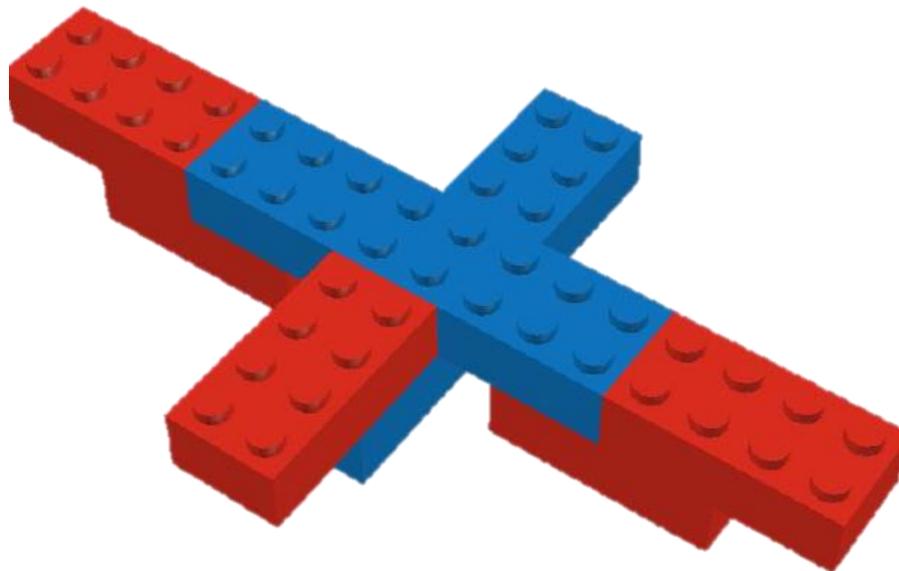
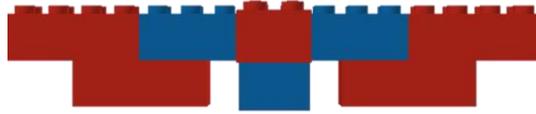


*INSTRUCCIONES PARA LAS **FASES 1 Y 2***

ESTACIÓN DE TRABAJO 2

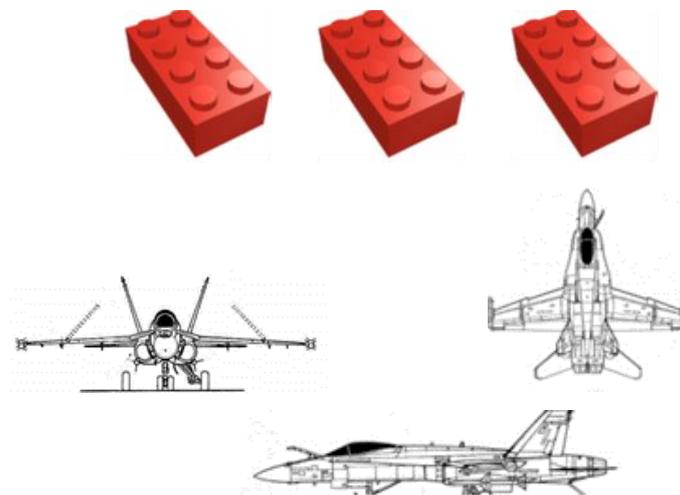


Ensamblaje de la nariz del avión y dos secciones de las alas utilizando cinco piezas de 8 bloques

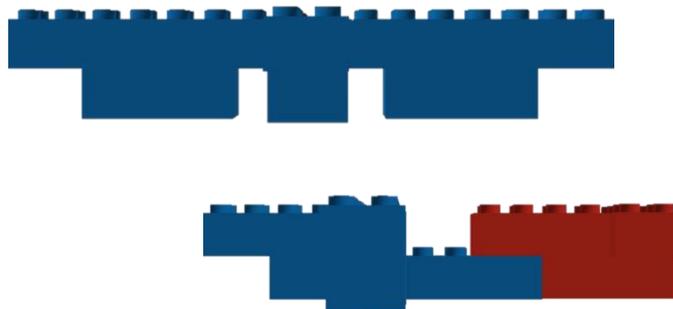


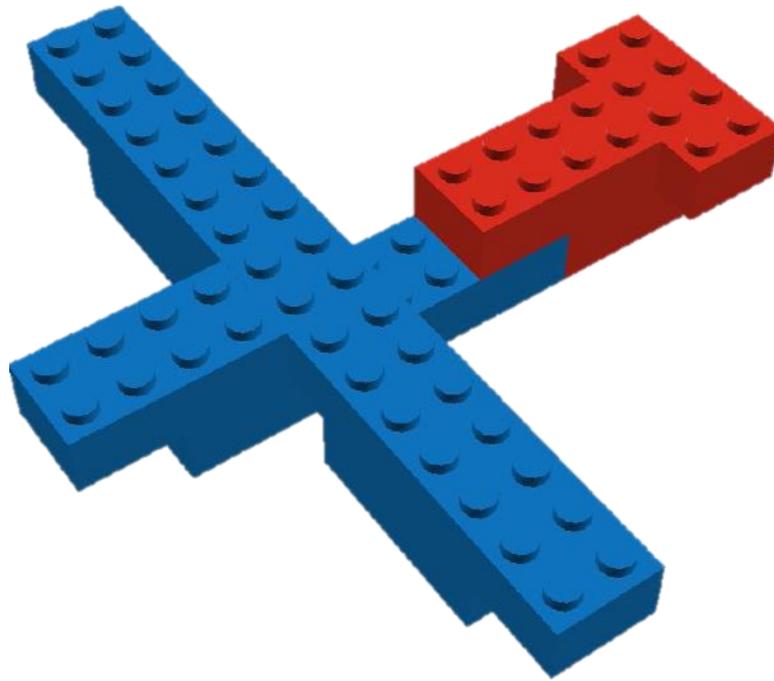
INSTRUCCIONES PARA LAS FASES 1 Y 2

ESTACIÓN DE TRABAJO 3



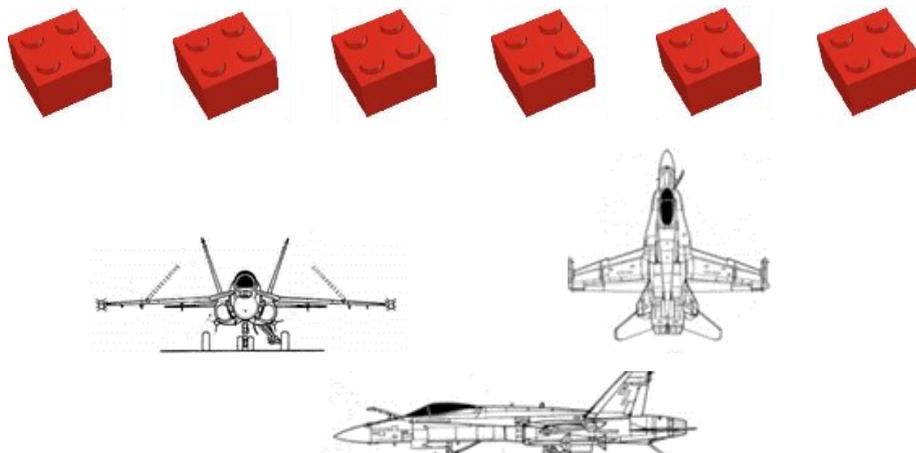
Ensamblaje de la sección larga de la cola utilizando tres piezas de 8 bloques



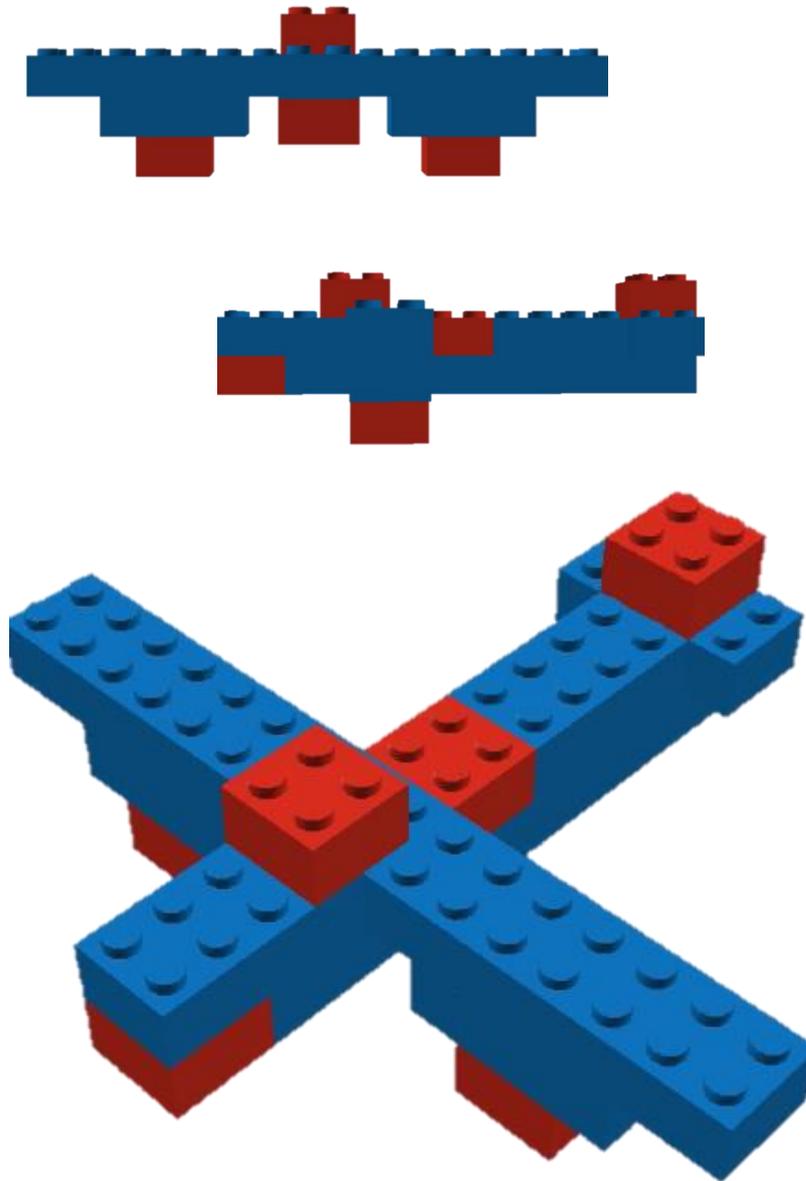


INSTRUCCIONES PARA LAS FASES 1 Y 2

ESTACIÓN DE TRABAJO 4

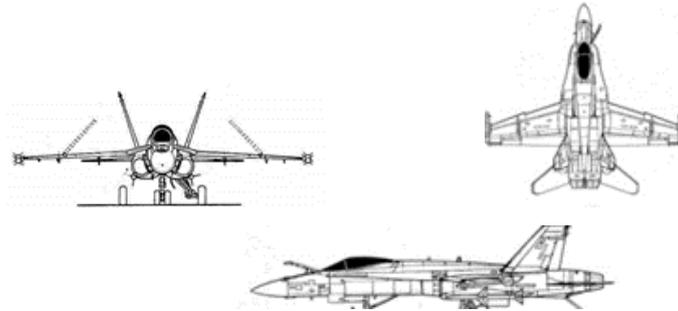


Ensamblaje de la cabina alerón trasero y sistema de aterrizaje utilizando seis piezas de 4 bloques



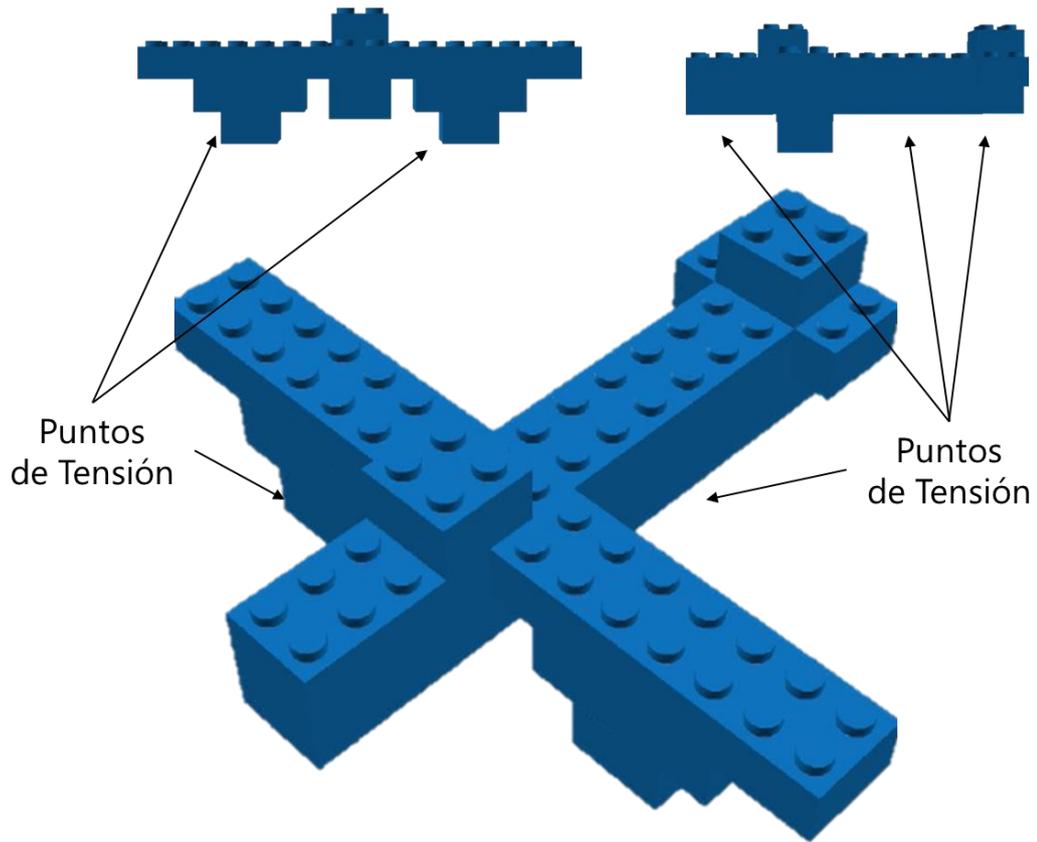
INSTRUCCIONES PARA LAS FASES 1 Y 2

ESTACIÓN DE TRABAJO 5



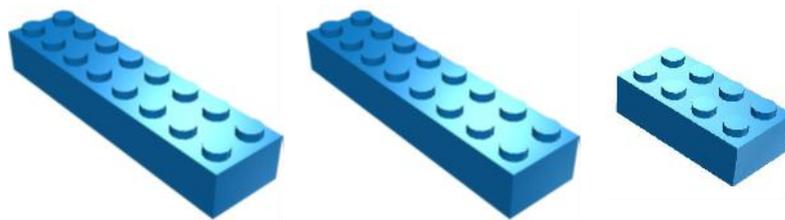
Inspección final y control de calidad:

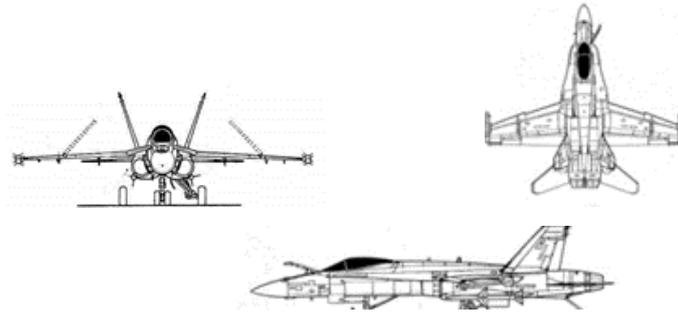
Todos los componentes deben estar en su sitio e instalados apropiadamente sin espacios horizontales entre bloques.



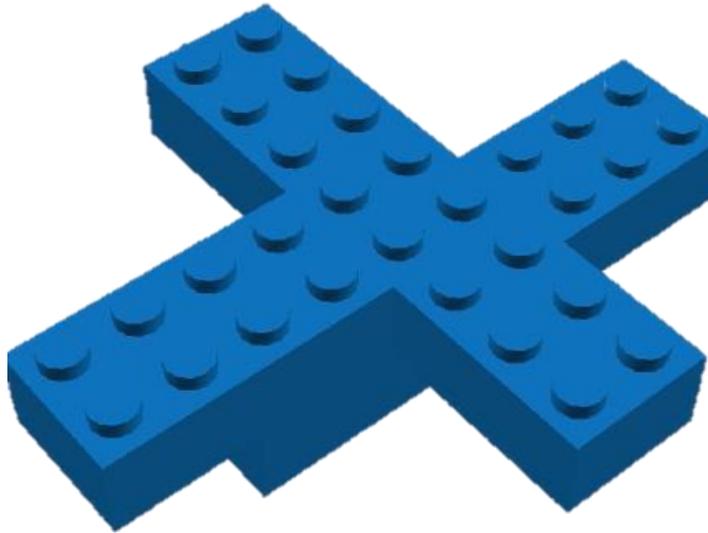
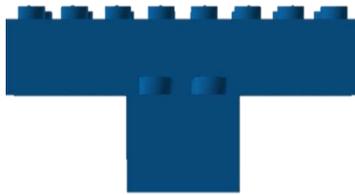
INSTRUCCIONES PARA LA FASES 3

ESTACIÓN DE TRABAJO 1



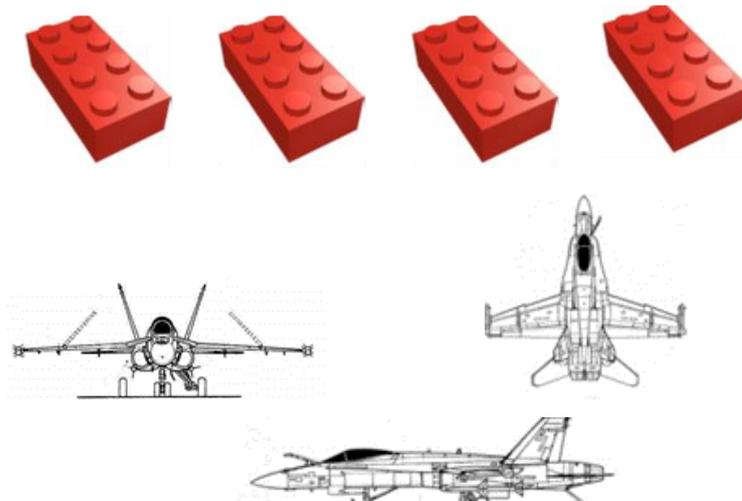


Ensamblaje de la sección primaria del fuselaje utilizando dos piezas de 16 bloques
Adicionar la sección de la nariz utilizando una pieza de 8 bloques

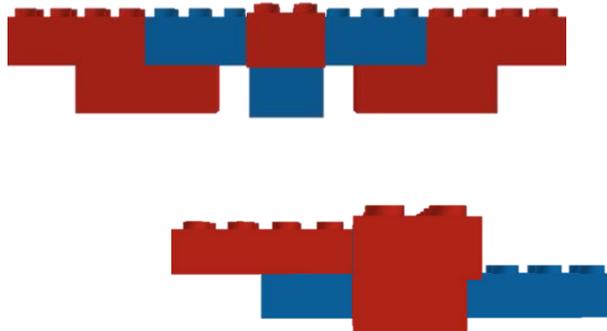


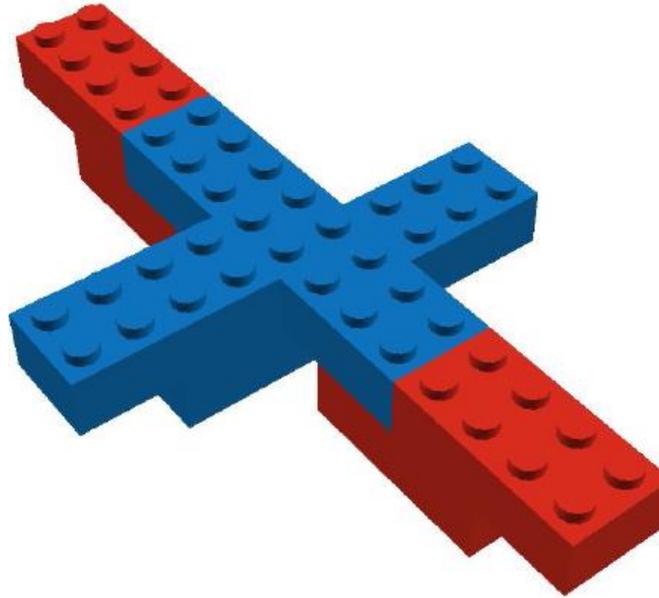
INSTRUCCIONES PARA LA FASES 3

ESTACIÓN DE TRABAJO 2



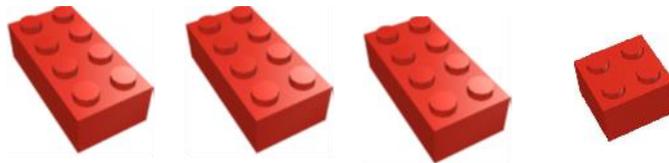
Ensamblaje de las dos secciones del ala utilizando cuatro piezas de 8 bloques

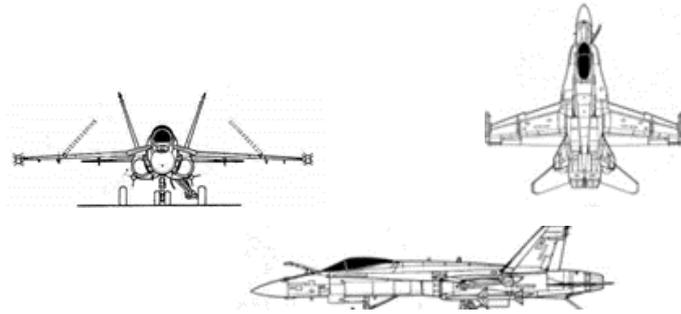




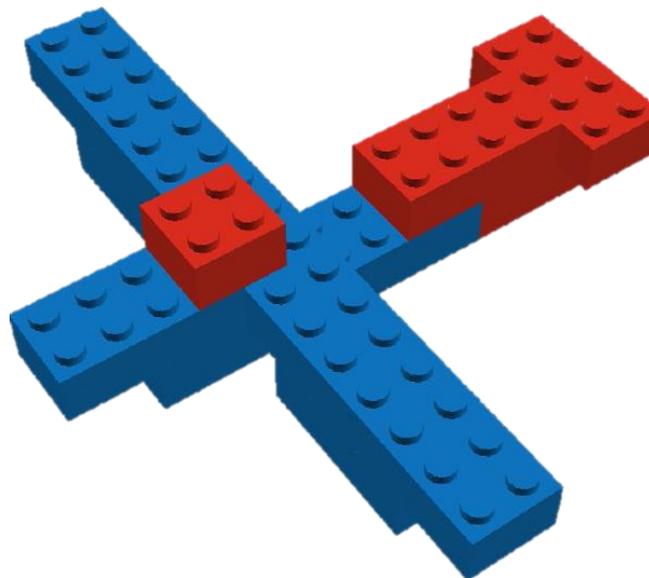
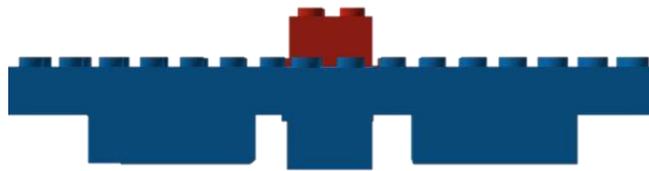
INSTRUCCIONES PARA LA FASES 3

ESTACIÓN DE TRABAJO 3



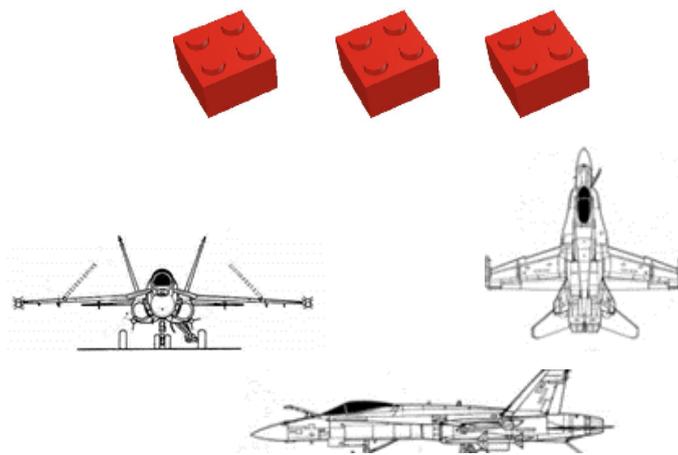


Ensamblaje de la sección de la cola utilizando tres piezas de 8 bloques
Adicionar la cabina utilizando una pieza de 4 bloques

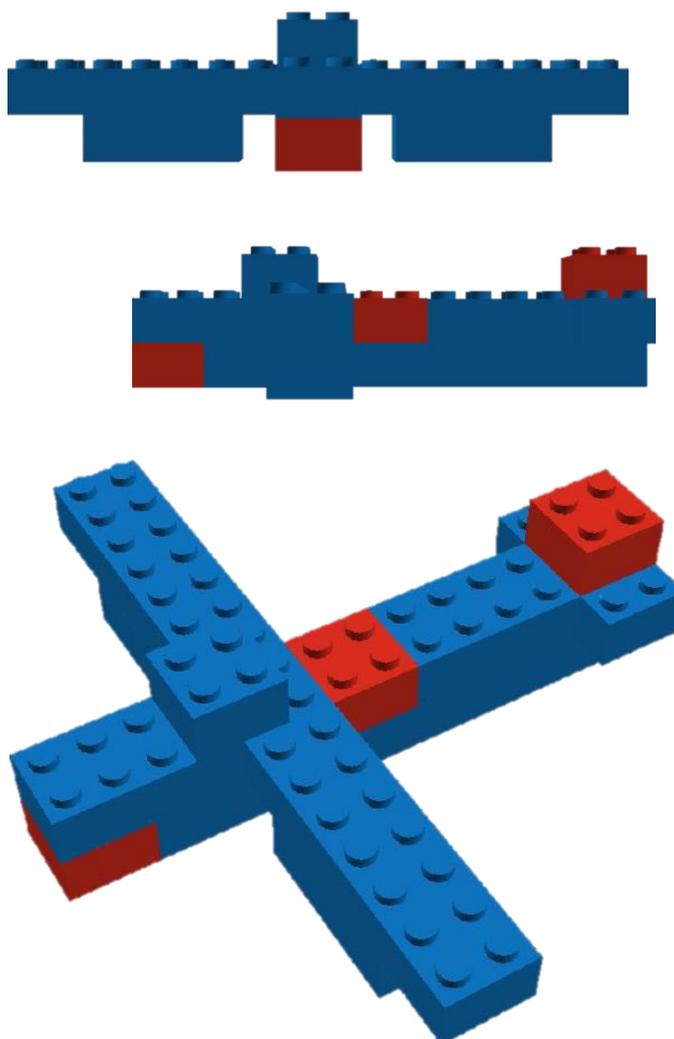


INSTRUCCIONES PARA LA FASES 3

ESTACIÓN DE TRABAJO 4

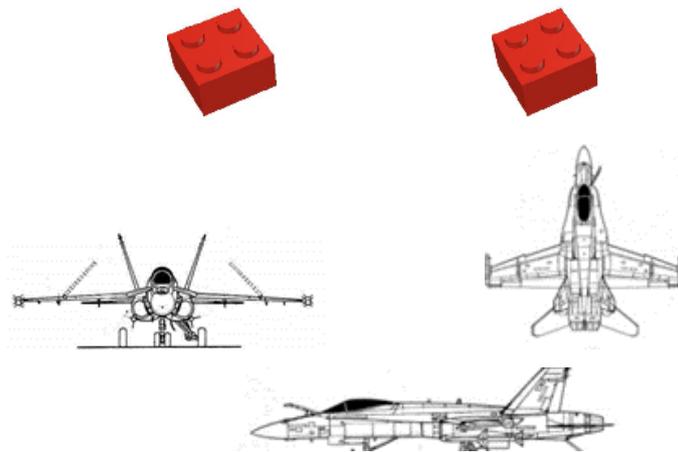


Ensamblaje de la nariz, fuselaje, cabina, cola y tren de aterrizaje utilizando tres piezas de 4 bloques



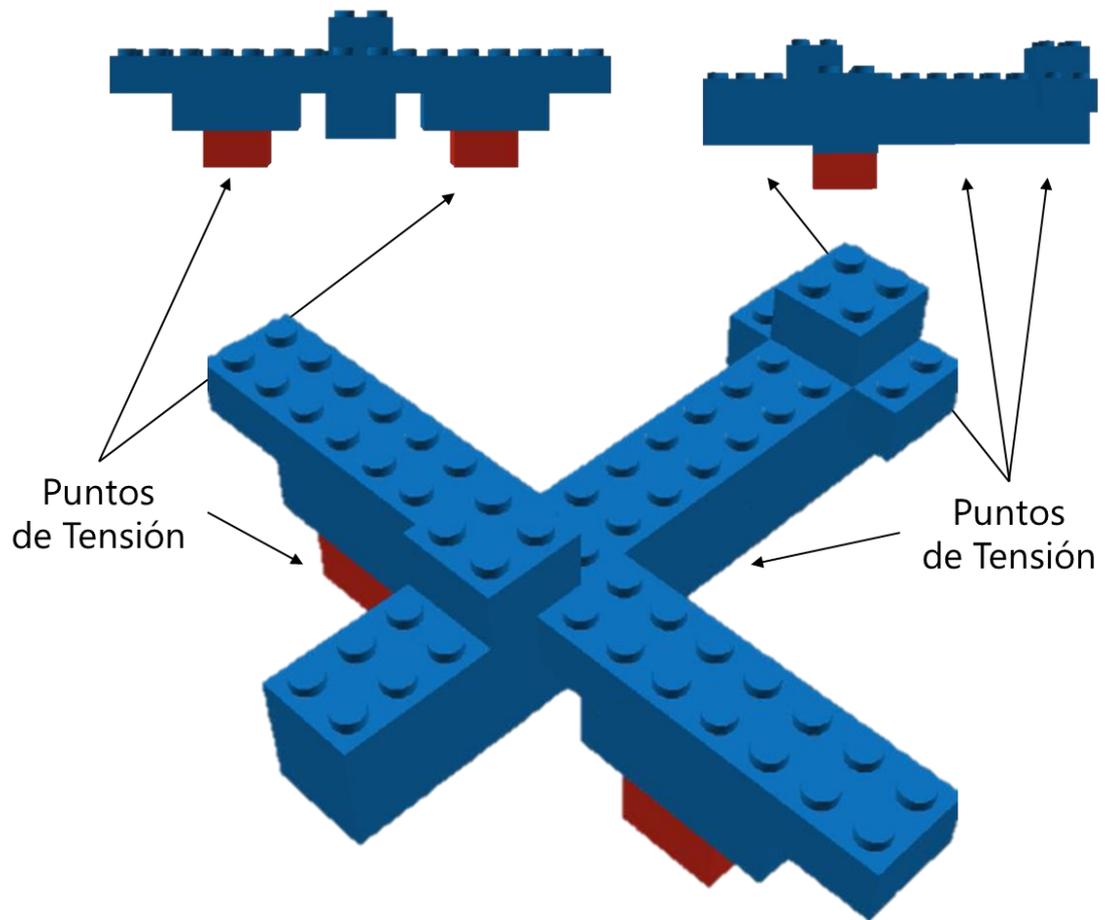
INSTRUCCIONES PARA LA FASES 3

ESTACIÓN DE TRABAJO 5



Instalación del tren de aterrizaje utilizando dos piezas de 4 bloques

Inspección final y control de calidad: todos los componentes deben estar en su sitio e instalados apropiadamente sin espacios horizontales entre bloques.



Resultados

Registro de datos en cada fase:

REAL		
ETAPA 1	GRUPO N° _____	
	AVIONES	
	TIEMPO 1ER AVIÓN	
	RECHAZO	
	TRABAJO EN PROCESO	

REAL		
ETAPA 2	GRUPO N° _____	
	AVIONES	
	TIEMPO 1ER AVIÓN	
	RECHAZO	
	TRABAJO EN PROCESO	

REAL		
ETAPA 3	GRUPO N° _____	
	AVIONES	
	TIEMPO 1ER AVIÓN	
	RECHAZO	
	TRABAJO EN PROCESO	

Anexo 3. Datos estadísticos de variabilidad

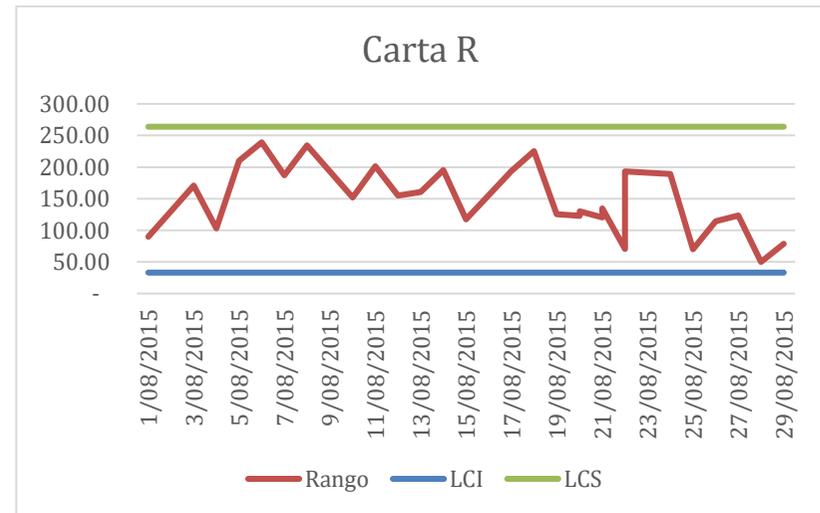
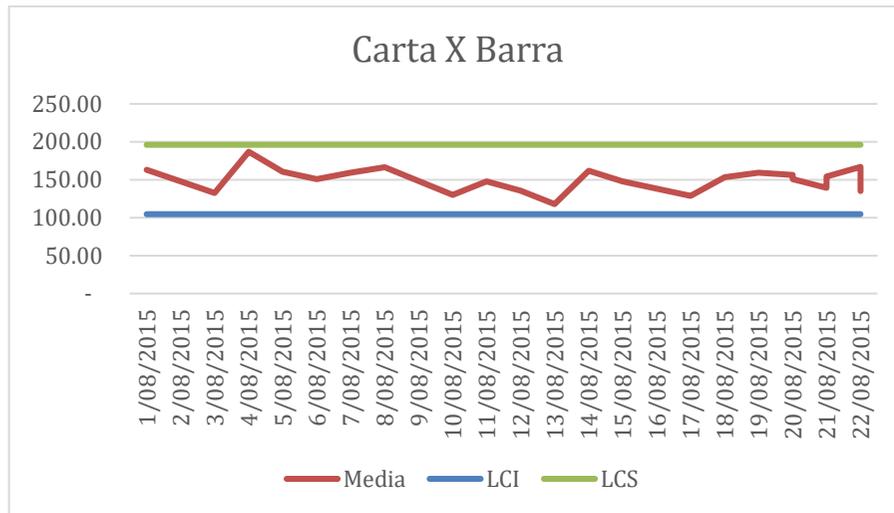
Datos para el análisis de variabilidad antes de la mejora

Nro de lote	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Media	Rango	LCI	LCS	LCI	LCS
01/08/2015	196	165	202	138	198	192	170	112	134	124	163.09	89.78	104.61	196.08	33.11	263.85
03/08/2015	137	77	98	138	121	226	196	193	56	82	132.41	170.67	104.61	196.08	33.11	263.85
04/08/2015	170	203	173	155	170	198	258	219	155	168	186.91	102.97	104.61	196.08	33.11	263.85
05/08/2015	280	98	188	146	70	149	120	195	209	155	160.76	210.09	104.61	196.08	33.11	263.85
06/08/2015	135	27	148	267	130	188	110	170	160	175	150.89	239.19	104.61	196.08	33.11	263.85
07/08/2015	119	211	125	107	105	218	288	114	101	207	159.44	187.01	104.61	196.08	33.11	263.85
08/08/2015	305	149	165	70	176	230	199	90	176	105	166.58	234.44	104.61	196.08	33.11	263.85
10/08/2015	194	140	150	156	122	79	120	42	151	147	130.17	151.77	104.61	196.08	33.11	263.85
11/08/2015	52	124	183	127	157	160	185	114	123	254	147.84	201.39	104.61	196.08	33.11	263.85
12/08/2015	170	95	86	171	52	148	207	129	122	174	135.52	155.08	104.61	196.08	33.11	263.85
13/08/2015	127	151	29	79	190	123	153	96	125	106	117.91	160.72	104.61	196.08	33.11	263.85
14/08/2015	121	167	192	57	190	252	222	157	92	170	162.00	195.10	104.61	196.08	33.11	263.85
15/08/2015	60	135	174	177	171	160	140	174	125	162	147.98	117.24	104.61	196.08	33.11	263.85
17/08/2015	86	90	114	142	128	254	145	128	61	137	128.61	193.58	104.61	196.08	33.11	263.85
18/08/2015	178	77	151	198	116	73	101	298	167	174	153.25	225.17	104.61	196.08	33.11	263.85
19/08/2015	168	176	91	177	204	216	138	180	134	107	159.12	125.62	104.61	196.08	33.11	263.85
20/08/2015	140	197	105	165	115	133	227	190	158	133	156.32	122.71	104.61	196.08	33.11	263.85
21/08/2015	78	130	167	111	95	105	133	179	198	197	139.31	120.45	104.61	196.08	33.11	263.85
22/08/2015	126	195	132	163	125	191	183	189	174	192	167.04	70.67	104.61	196.08	33.11	263.85
20/08/2015	113	191	104	191	151	214	170	83	134	157	150.71	130.19	104.61	196.08	33.11	263.85
21/08/2015	84	193	177	184	145	94	174	128	219	146	154.37	134.80	104.61	196.08	33.11	263.85

Optimización del proceso de movimiento de tierras disminuyendo la variabilidad del acarreo y relleno basados en la metodología DMAIC

Bach. Mamani Romero David Stiff

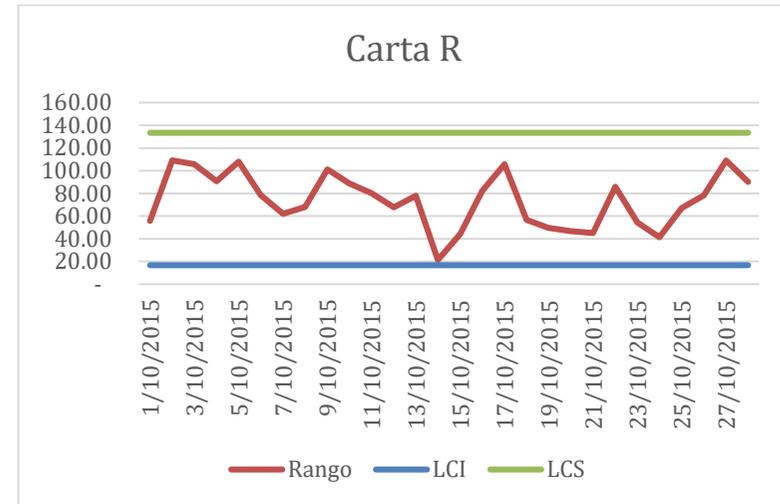
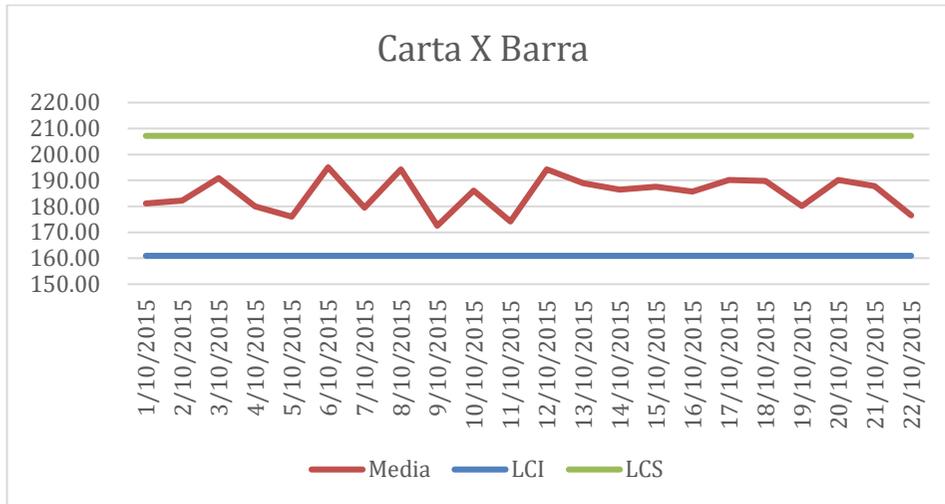
22/08/2015	139	82	19	171	112	195	143	153	212	124	134.99	193.33	104.61	196.08	33.11	263.85
24/08/2015	86	124	138	88	146	165	148	124	275	109	140.41	189.12	104.61	196.08	33.11	263.85
25/08/2015	173	114	130	134	140	174	108	161	146	104	138.40	69.93	104.61	196.08	33.11	263.85
26/08/2015	194	173	201	209	104	133	95	170	136	158	157.28	114.33	104.61	196.08	33.11	263.85
27/08/2015	197	165	124	211	122	179	88	187	116	89	147.84	123.35	104.61	196.08	33.11	263.85
28/08/2015	147	192	151	190	191	150	162	142	142	183	165.00	50.01	104.61	196.08	33.11	263.85
29/08/2015	131	155	135	182	198	172	197	130	136	119	155.55	78.68	104.61	196.08	33.11	263.85
											150.35	148.48				



Datos para el análisis de variabilidad después de la mejora

Nro de lote	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Media	Rango	LCI	LCS	LCI	LCS
01/10/2015	205	178	188	162	183	172	214	158	182	169	181.07	55.80	160.94	207.17	16.74	133.37
02/10/2015	175	168	210	159	151	157	163	184	259	196	182.22	108.95	160.94	207.17	16.74	133.37
03/10/2015	182	186	220	162	240	226	185	164	135	208	190.85	105.66	160.94	207.17	16.74	133.37
04/10/2015	174	196	214	143	169	148	158	206	158	234	180.02	90.80	160.94	207.17	16.74	133.37
05/10/2015	187	106	171	146	214	192	142	194	202	207	176.08	107.85	160.94	207.17	16.74	133.37
06/10/2015	163	193	147	226	193	222	207	198	196	204	195.06	78.53	160.94	207.17	16.74	133.37
07/10/2015	154	166	192	161	189	176	216	204	173	164	179.49	62.11	160.94	207.17	16.74	133.37
08/10/2015	230	199	177	191	215	204	180	210	174	162	194.23	67.86	160.94	207.17	16.74	133.37
09/10/2015	157	133	162	180	200	234	150	161	154	194	172.52	101.02	160.94	207.17	16.74	133.37
10/10/2015	167	208	182	154	224	215	187	135	198	190	186.13	88.68	160.94	207.17	16.74	133.37
11/10/2015	151	168	152	139	203	189	203	214	133	191	174.13	80.22	160.94	207.17	16.74	133.37
12/10/2015	172	219	165	205	213	158	200	225	216	169	194.22	67.60	160.94	207.17	16.74	133.37
13/10/2015	203	167	149	179	145	204	224	212	206	200	188.96	78.05	160.94	207.17	16.74	133.37
14/10/2015	193	185	185	194	186	185	182	189	172	193	186.43	21.33	160.94	207.17	16.74	133.37
15/10/2015	185	166	173	177	205	184	194	182	197	211	187.58	44.27	160.94	207.17	16.74	133.37
16/10/2015	168	146	188	202	228	176	204	193	173	178	185.73	82.06	160.94	207.17	16.74	133.37
17/10/2015	155	168	191	172	215	183	260	183	176	200	190.15	105.74	160.94	207.17	16.74	133.37
18/10/2015	165	177	216	165	222	205	172	191	201	185	189.84	56.73	160.94	207.17	16.74	133.37

19/10/2015	191	174	176	174	188	195	191	198	167	148	180.09	49.49	160.94	207.17	16.74	133.37
20/10/2015	181	206	170	173	207	190	216	195	196	169	190.15	46.65	160.94	207.17	16.74	133.37
21/10/2015	214	169	187	175	176	181	172	207	194	202	187.78	45.04	160.94	207.17	16.74	133.37
22/10/2015	190	169	175	163	133	218	153	167	219	178	176.52	85.92	160.94	207.17	16.74	133.37
23/10/2015	175	177	143	159	167	180	186	197	144	180	170.84	54.43	160.94	207.17	16.74	133.37
24/10/2015	193	166	181	208	169	175	208	203	189	168	186.01	41.25	160.94	207.17	16.74	133.37
25/10/2015	194	206	157	191	217	162	160	210	150	175	182.24	67.05	160.94	207.17	16.74	133.37
26/10/2015	221	161	186	146	163	145	143	184	178	199	172.79	78.18	160.94	207.17	16.74	133.37
27/10/2015	193	192	187	158	163	183	176	267	207	226	195.20	108.97	160.94	207.17	16.74	133.37
28/10/2015	133	167	202	172	223	164	164	205	192	209	183.11	90.11	160.94	207.17	16.74	133.37
29/10/2015	213	220	203	172	187	226	143	159	141	211	187.40	84.18	160.94	207.17	16.74	133.37
30/10/2015	145	199	143	172	162	186	215	133	160	191	170.61	82.55	160.94	207.17	16.74	133.37
31/10/2015	222	198	165	183	213	165	191	145	165	235	188.19	89.62	160.94	207.17	16.74	133.37
											184.05	75.05				



Anexo 4. Hoja de Cálculo de Rendimiento de Movimiento de Tierras

I. Datos Generales

1.1.0 Proyecto

1.1.1	Nombre del Proyecto	Chavimochic III
1.1.2	Ubicación del Proyecto	Chao-Virú-La Libertad
1.1.3	Cliente	Región la Libertad
1.1.4	Consorcio	Odebrecht-GyM
1.1.5	Fecha	4/09/2015

1.2.0 Equipo Implementación

1.2.1	David M.
1.2.2	Javier N.
1.2.3	Ronal V.
1.2.4	Julio G.

1.3.0 Alcance Relleno

	Relleno Presa	QTY	UOM
a.	Relleno Etapa 1	2,700,000.0	M3
b.	Relleno Etapa 2	4,200,000.0	M3
c.	Relleno Etapa 3	740,000.0	M3
d.	Relleno Etapa 4	304,000.0	M3
e.	Relleno Etapa 5	466,000.0	M3
f.	Relleno Etapa 6	16,000.0	M3
	Total	8,426,000.0	MM3

1.4.0 Datos Presa

1.4.1	Altura de la presa	97 metros
1.4.2	Número de Canteras	02 Aguas Arriba/ Abajo
1.4.3	Gerente Producción	Ernesto S.
1.4.4	R.A. Producción	Elvis C.
1.4.5	R.S. Producción	C. Barrantes/C. Donnet

1.5.0 Areas Involucradas

1.5.1	Producción
1.5.2	Comercial
1.5.3	Ingeniería
1.5.4	Equipos
1.5.5	Seguridad

II. Proceso Constructivo

2.1.0 Corte-Carguío

2.1.1 Datos Generales

Descripción	OBS.
Tipo de Material E1	3C/3B
Tipo de Material E2	3C/3B
Descripción	QTY
Numero de Canteras	2
Accesos por Cantera	2
Puntos de Carguío Actual	6

2.1.2 Equipos Actuales Cantera

Descripción	OBS.
Tractor D8	3
Excavadora PC 450	4
Excavadora Doosan	1
Cargador Frontal	2

2.2.0 Transporte

2.2.1 Datos Generales

Descripción	QTY	UOM
Distancia Cantera 1-Presa	1.2	Km
Distancia Cantera 2-Presa	1.6	Km
Velocidad Volquete Vacío	16	Km/h
Velocidad Volquete Lleno	14	Km/h
Accesos Principales	4	4

2.2.1 Equipos Actuales

Descripción	OBS.
Volquete Scania	20
Volquete Volvo	10

Descripción	CAP (m3)
Volquete Scania	22
Volquete Volvo	20

2.3.0 Relleno

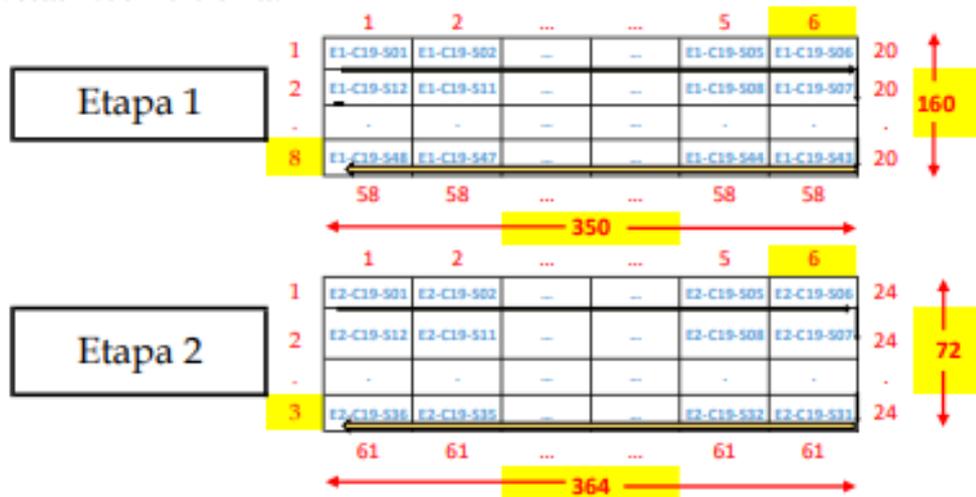
2.3.1 Datos Generales

Descripción	QTY	UOM
Área Promedio Trabajo E1	56,000.0	M2
Área Promedio Trabajo E2	26,208.0	M2
Altura Capa Compactada	1.0	M
Esponjamiento	20%	und
Ensayo Calidad	20,000.0	M3

2.3.2 Equipos Actuales

Descripción	OBS.
Tractor D8	1
Tractor D6	4
Rodillo Poligonal 26T	2
Retroexcavadora	1
Cargador Frontal	1

III. Sectorización Relleno Presa



3.1 Datos Generales Relleno

Descripción	UOM	QTY
(a) Numero de Capa E1	und	19
(a') Numero de Capa E2	und	1
(b) Numero de Columnas E1	und	6
(b') Numero de Columnas E2	und	6
(c) Numero de Filas E1	und	8
(c') Numero de Filas E2	und	3
(d) Largo Total Capa E1	m	350
(d') Largo Total Capa E2	m	364
(e) Ancho Total Capa E1	m	160
(e') Ancho Total Capa E2	m	72
(g) Largo Lote E1: (d)/(b)	m	58
(g') Largo Lote E2: (d')/(b')	m	61
(h) Ancho Lote E1: (e)/(c)	m	20
(h') Ancho Lote E2: (e')/(c')	m	24
(i) Altura Lote Compactado	m	1
(j) Días Laborables Mes*	Día	26
(k) Días Laborados	Día	18
(l) Horas Trabajadas Día	h	9.5
(m) Horas Trabajadas Noche	h	9.5
(n) Volumen Lote	m ³	1456.0
(o) Rendimiento Rodillo	m ³ /h	960
(p) Rendimiento Tractor	m ³ /h	500
(q) Vol. Efectivo Volquete	m ³	17

3.2 Tiempo de Ciclo Cantera A. Arriba

Descrip.	UOM	Teórico	Real
Carga	Min	2.5	3.5
Ida	Min	5.1	6.2
Descarga	Min	2.5	3.5
Vuelta	Min	4.5	5.0
Espera	Min	2	3
Total	Min	16.64	21.19

3.2 Analisis de Relleno

Descrip.	UOM	Teórico	Real
Volumen total Mes	m ³	505400	505400
Volumen Acumulado	m ³	338255	338255
Volumen Mes Saldado	m ³	167145	167145
Volumen Día	m ³	20893	20893
Volumen Turno	m ³	10447	10447
# Viajes Día	und	1229	1229
# Viajes Turno	und	615	615
# Viajes Hora	und	65	93
Ciclos por Hora	c/h	3.6	2.8
ciclos por Turno	c/t	34.2	27.0
N° Volquetes	Und	18	33
Volquetes PC	Und	6	6
Puntos de Carga	Pto	3	6

Anexo 5. Hoja de lotización

Etapa:	02
Capa:	
Área Lote (m2)	1456
Altura Lote (m)	1
V. Lote (m3)	1456
Área Capa (m2)	26208
V. Capa	26208
Cota Inicio:	
Cota Fin:	

V
Traslado Volquete

T
Conformación Tractor

R
Compactación Rodillo

C
Liberación Calidad

	1				2				3				4				5				6												
1	L-01				L-02				L-03				L-04				L-05				L-06				24								
	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C	24				
2	L-12				L-11				L-10				L-09				L-08				L-07				24								
	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C	24
3	L-13				L-14				L-15				L-16				L-17				L-18				24								
	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C	V	T	R	C	24
	61				61				61				61				61				61												

Descrip.	UOM	Teo	Real
Volumen Turno	m3	14212	
Volumen Hora	m3	1496	
Capacidad Volquete	m3	17	
# Viajes Turno	und	836	
# Viajes Hora	und	88	
Tiempo de Carga	Min	3	
Tiempo de Ciclo	Min	20	
Ciclos por Hora	c/h	3	
# Efectivo Volq	Und	30	
Volquetes PC	Und	6	
Puntos de Carguio	Pto	5	
Rendimiento Rodillo	m3/h	750	
Número de Rodillos	Und	2	
Rendimiento Tractor	m3/h	500	
Número de Tractor	Und	3	

Optimización del proceso de movimiento de tierras disminuyendo la variabilidad del acarreo y relleno basados en la metodología DMAIC

Bach. Mamani Romero David Stiff

LOOK AHEAD HORARIO		ETAPA 02 RELLENO PRESA																								N° Lote	# Volq	# Tract									
ACTIVIDAD / HORA		18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	L-01			
TRANS																																			L-02		
CONF																																			L-03		
COMPAC																																			L-04		
CALI																																			L-05		
																																			L-06		
																																			L-07		
																																			L-08		
																																			L-09		
																																			L-10		
																																			L-11		
																																			L-12		
																																			L-13		
																																			L-14		
																																			L-15		
																																			L-16		
																																			L-17		
																																			L-18		
																																			L-19		
																																			L-20		
																																			L-21		
																																			L-22		
																																			L-23		
																																			L-24		
																																			L-25		
																																			L-26		
																																			L-27		
																																			L-28		
																																			L-29		
																																			L-30		
																																			L-32		

Optimización del proceso de movimiento de tierras disminuyendo la variabilidad del acarreo y relleno basados en la metodología DMAIC

Bach. Mamani Romero David Stiff

