

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y
CIVIL**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS:

**Implementación de la metodología Lean Six Sigma para
mejorar el proceso de perforación y voladura del CX 4040
en la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025.**

Para optar el título profesional de:
INGENIERO DE MINAS

PRESENTADO POR:
Bach. Luis Fernando HUAMAN PALOMINO

ASESOR:
Msc. Ing. Kelvis BERROCAL ARGUMEDO

AYACUCHO - PERÚ

2025

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, Zenón y Bertha, por su amor incondicional, sus enseñanzas a lo largo de mi vida. Gracias por creer en mí incluso en los momentos más difíciles y por ser mi mayor motivación para seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a la Unidad Minera Catalina Huanca por la oportunidad de desarrollarme profesionalmente en el sector minero.

A los Ingenieros Reyder Quispe, Superintendente Mina, a Camilo Gutiérrez, Alex Purca y Víctor Flores, asistentes de superintendencia Mina, por compartirme sus experiencias y enseñanzas, que me guiaron en el proceso de aprender las operaciones unitarias de minado.

Al Ing. Wilson Salas, jefe de sección de la guardia A, por permitirme formar parte de su equipo de trabajo, quien me dio guío cada día en la unidad.

A los ingenieros, supervisores, operarios y maestros de labor de Catalina Huanca, por compartir conmigo sus conocimientos.

RESUMEN

La presente investigación tiene el objetivo de determinar la efectividad de la implementación de la metodología Lean Six Sigma, mejora el proceso de perforación y voladura del CX 4040 en la unidad minera Catalina Huanca, con el fin de mitigar los problemas que afectan al proceso de perforación y voladura, entre estos, deficiencia en metro de avance por disparo, exceso de sobrerotura y el elevado costo de perforación y voladura por metro de avance del CX 4040, por lo tanto se utilizó una metodología aplicada explicativa cuasiexperimental, donde la población se consideró el total de labores horizontales ejecutados por la Unidad Minera Catalina Huanca durante el año 2024, y la muestra fue no probabilística de los disparos realizados en el CX 4040 en la Unidad Minera Catalina Huanca durante el mes de Julio-noviembre del 2024. Los principales resultados obtenidos, son el incremento del metro de avance promedio por disparo de 2.57 a 3.85 metros, respecto a la sobrerotura se redujo de un promedio mensual de 17% a 0%, se disminuyó en el costo de perforación y voladura por metro de avance de \$ 361.3 a \$ 220.53.

Palabra clave: Lean Six Sigma, Perforación y voladura, metro de avance, Sobrerotura, costos de perforación y voladura.

ABSTRACT

The objective of this research is to determine the effectiveness of implementing the Lean Six Sigma methodology to improve the CX 4040 drilling and blasting process at the Catalina Huanca mining unit, in order to mitigate the problems affecting the drilling and blasting process, including deficiencies in meters advanced per blast, excessive overburden, and the high cost of drilling and blasting per meter advanced. Therefore, a quasi-experimental correlational methodology was used, where the population was considered to be the total horizontal work performed by the Catalina Huanca Mining Unit during 2024, and the sample was non-probabilistic of the blasts carried out in CX 4040 at the Catalina Huanca Mining Unit during the months of July-November 2024. The main results obtained are an increase in the average advance per blast from 2.57 to 3.85 meters, a reduction in overbreak from a monthly average of 11% to 0%, and a decrease in the cost of drilling and blasting per meter of advance from \$361.3 to \$220.53.

Keyword: Lean Six Sigma, Drilling and Blasting, Meter of Advance, Overbreaking, Drilling and Blasting Costs.

ÍNDICE

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.2.1. Problema general.....	4
1.2.2. Problemas específicos.....	4
1.3. OBJETIVOS	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	5
1.4. JUSTIFICACIÓN	5
1.4.1. Justificación Teórica	5
1.4.2. Justificación Práctica.....	5
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	6
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	6
2.1.1. Antecedentes Internacionales	6
2.1.2. Antecedentes Nacionales	7
2.1.3. Antecedentes Locales.....	9
2.2. BASES TEÓRICAS.....	9
2.2.1. Metodología LEAN.....	9
2.2.2. Metodología Lean Six Sigma.....	11
2.2.3. Historia Lean Six Sigma.....	11
2.2.4. Modelo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y controlar)	11
2.2.5. Etapas de la Metodología Lean Six Sigma	12
2.2.5.1. Etapa D (Definir).....	12
2.2.5.2. Etapa M (Medir)	13
2.2.5.3. ETAPA A (Analizar).....	13
2.2.5.4. ETAPA I (Mejorar)	14
2.2.5.5. ETAPA C (Controlar).....	15
2.2.6. Herramientas LSS para la resolución de problemas.	15
2.2.6.1. Diagrama de flujo.....	15

2.2.6.2.	Hoja de verificación.....	16
2.2.6.3.	Diagrama de Causa – Efecto.....	17
2.2.6.4.	Histograma.....	18
2.2.6.5.	Diagrama de Pareto.....	19
2.2.6.6.	Diagrama de dispersión.....	20
2.2.6.7.	Cuadro de control.....	22
2.3.	GENERALIDADES DE LA UNIDAD MINERA CATALINA HUANCA	23
2.3.1.	UBICACIÓN Y ACCESO.....	23
2.3.2.	GEOLOGÍA REGIONAL	24
2.3.3.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL.....	25
2.3.4.	GEOLOGÍA LOCAL.....	26
2.3.5.	ESTRATIGRAFÍA.....	26
2.3.6.	GEOLOGÍA ECONÓMICA	28
2.3.6.1.	Génesis.....	28
2.3.6.2.	Mineralización.....	28
2.3.6.3.	Zoneamiento	28
2.3.6.4.	Estructuras Mineralizadas	28
2.3.7.	CICLO DE MINADO U.M. CATALINA HUANCA EN FRENTES DE AVANCE.....	30
2.3.7.1.	Perforación.....	30
2.3.7.2.	Voladura	36
2.3.7.3.	Ventilación	44
2.3.7.4.	Regado	45
2.3.7.5.	Limpieza	46
2.3.7.6.	Desate.....	46
2.3.7.7.	Sostenimiento.....	48
2.3.8.	MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN UNIDAD MINERA CATALINA HUANCA.....	50
2.3.8.1.	Método de Corte y Relleno Ascendente Mecanizado en Mantos y Vetas. 51	
2.3.8.2.	Método de Corte y Relleno Ascendente Mecanizado con cámaras y pilares en cuerpos manteados.	52
2.3.8.3.	Método de Sublevel Stopping Mecanizado en vetas.....	53
2.3.8.4.	Método de Sublevel Caving Mecanizado en Cuerpos.....	54
2.4.	DEFINICIÓN DE TERMINOS	56
2.4.1.	Metodología Lean Six Sigma	56

2.4.2.	Modelo DMAIC	56
2.4.3.	Perforación.....	56
2.4.4.	Sobrerotura	56
2.4.5.	Malla de perforación.....	56
2.4.6.	Voladura	57
2.4.7.	Voladura Controlada	57
2.4.8.	ANFO	57
CAPÍTULO III MATERIAL Y MÉTODOS.....		58
3.1.	MARCO METODOLÓGICO	58
3.1.1.	Tipo de investigación	58
3.1.2.	Nivel de investigación	58
3.1.3.	Diseño de la investigación.....	58
3.2.	HIPÓTESIS	58
3.2.1.	Hipótesis general.....	58
3.2.2.	Hipótesis específicas	59
3.3.	VARIABLES E INDICADORES	59
3.3.1.	Operacionalización de variables	59
3.3.3.1.	Variable independiente.....	60
3.3.3.2.	Variable dependiente.....	60
3.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	61
3.5.	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	61
3.6.	POBLACIÓN	61
3.7.	MUESTRA.....	61
3.8.	DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA LEAN SIX SIGMA- MODELO DMAIC	62
3.8.1.	Etapa Definir.	62
3.8.1.1.	Información general de la empresa.....	62
3.8.1.2.	Definición del Problema	62
3.8.1.3.	Justificación del problema.....	64
3.8.1.4.	Objetivos planteados.....	66
3.8.1.5.	Mapa de participantes clave	66
3.8.1.6.	Análisis de Stakeholders	67
3.8.1.7.	Diagrama SIPOC	68

3.8.1.8.	Six Pack Summary.....	69
3.8.2.	Etapa Medir.	70
3.8.2.1.	Avance por disparo en frentes	71
3.8.2.2.	Sobrerotura en frentes	71
3.8.2.3.	Detalle estadístico	72
3.8.3.	Etapa Analizar.....	76
3.8.3.1.	Análisis Ishikawa	76
3.8.3.2.	Diagrama de Pareto	78
3.8.3.3.	Análisis FMEA.....	79
3.8.3.4.	Análisis de varianza ANOVA.....	83
3.8.4.	Etapa Mejorar.....	86
3.8.4.1.	Implementación de plan de trabajo	86
3.8.4.2.	Ejecución de plan de trabajo	88
3.8.4.3.	Resultados Fase Mejora.....	104
3.8.5.	Etapa Controlar.....	107
CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		112
4.1.	RESULTADOS INCREMENTO DE METROS DE AVANCE POR DISPARO- CX 4040.....	112
4.1.1.	Metros de avance por disparo del CX 4040	112
4.1.2.	Eficiencia de voladura del CX 4040	112
4.1.3.	Factor de carga lineal del CX 4040.....	113
4.2.	RESULTADO DE SOBROTURA – CX 4040.....	114
4.2.1.	Sobrerotura en el CX 4040	114
4.2.2.	Reducción de costos de sostenimiento	114
4.2.2.1.	Reducción en costo de materiales de sostenimiento	114
4.2.2.2.	Reducción en costo de Shotcrete	115
4.3.	REDUCCIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA.....	116
4.3.1.	Reducción de costos de Perforación y voladura del CX 4040	116
4.4.	COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS	117
4.4.1.	Hipótesis General	117
4.4.2.	Hipótesis Específico 1.....	118
4.4.3.	Hipótesis Específico 2.....	120
4.4.4.	Hipótesis Específico 3.....	123

4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	125
CONCLUSIONES	127
RECOMENDACIONES	128
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
LISTA DE ABREVIATURAS	131
GLOSARIO	132
ANEXO	133

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Sobrerotura del CX 4040 Julio 2024.....	4
Tabla 2	Accesibilidad de lima a mina Catalina Huanca	24
Tabla 3	Accesibilidad de Lima a mina catalina huanca	24
Tabla 4	Dimensiones Boomer S2.....	33
Tabla 5	Rendimiento Boomer S2	34
Tabla 6	Operacionalización de variables.....	59
Tabla 7	Sobrerotura del CX 4040 Julio 2024.....	66
Tabla 8	Resumen de sobrerotura del CX 4040 agosto 2024	72
Tabla 9	Análisis FMEA del proceso de perforación y voladura del CX 4040.....	81
Tabla 10	Plan de trabajo para mejorar el proceso de perforación y voladura.	87
Tabla 11	Resumen de sobrerotura del CX 4040 octubre 2024	106
Tabla 12	Porcentaje fuera de especificación – Sobrerotura por disparo.....	106
Tabla 13	Costo de perforación y voladura (4.50 X 4.50)	116
Tabla 14	Prueba de normalidad Hipótesis #01.....	118
Tabla 15	Prueba de normalidad Hipótesis #02.....	121
Tabla 16	Prueba de normalidad Hipótesis #03.....	123
Tabla 17	Matriz de consistencia	133

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Resultados de voladura Cx 4040 Julio 2024.....	3
Figura 2	Eficiencia de voladura CX 4040 julio 2024.....	3
Figura 3	Ciclo DMAIC.....	12
Figura 4	Diagrama de flujo	16
Figura 5	Hoja de verificación	17
Figura 6	Diagrama de Ishikawa	18
Figura 7	Histograma	19
Figura 8	Diagrama de Pareto	20
Figura 9	Diagrama de dispersión.....	21
Figura 10	Cuadro de control.....	22
Figura 11	<i>Ubicación Mina Catalina Huanca</i>	23
Figura 12	Plano Geológico Regional U.M. Catalina Huanca.....	25
Figura 13	Columa estratigráfica de la Unidad Minera Catalina Huanca	27
Figura 14	Ciclo de minado en frentes de avance.....	30
Figura 15	Jumbo 06 (Boomer S2) Perforando CX 4040	31
Figura 16	Jumbo Boomer S2 Epiroc.....	31
Figura 17	Dimensiones Jumbo Boomer S2	32
Figura 18	Radio de giro Exterior/Interior	33
Figura 19	Malla de perforación frente 4.5x4.5	35
Figura 20	Características técnicas Emulnor	36
Figura 21	Emulsión.....	37
Figura 22	Características técnicas.....	37
Figura 23	ANFO SUPERFAM 2.....	38
Figura 24	Especificaciones técnicas cordón detonante	38
Figura 25	Cordón detonante.....	39
Figura 26	Características Técnicas Mecha Rápida.....	39
Figura 27	Mecha Rápida	40
Figura 28	Características técnicas Carmex	41
Figura 29	Mecha lenta armada.....	41
Figura 30	Características técnicas Fanel.....	42
Figura 31	Fanel	44
Figura 32	<i>Ventilación TJ 2690</i>	45
Figura 33	Regado de la carga	45
Figura 34	Scoop R1600H 6 yd3	46
Figura 35	Desate mecanizado.....	47
Figura 36	Juego de barretillas	47
Figura 37	Tabla Geomecánica.....	48

Figura 38 Sección longitudinal del método corte y relleno ascendente con perforación en breasting.....	52
Figura 39 Sección longitudinal Camaras y Pilares.....	53
Figura 40 Ciclo de minado taladros largos.....	54
Figura 41 Isometrico Preparación Sublevel Caving.	55
Figura 42 Delimitación del área de estudio.....	63
Figura 43 Control de disparo real/programado CX 4040 Julio 2024	65
Figura 44 Eficiencia de voladura CX 4040 Julio 2024.....	65
Figura 45 Mapa de participantes clave	67
Figura 46 Análisis de stakeholders	68
Figura 47 Diagrama SIPOC.....	69
Figura 48 Six Pack Summary	70
Figura 49 Resultados de voladura del CX 4040 - Agosto del 2024	71
Figura 50 Grafico de control de metros de avance real por disparo CX 4040	73
Figura 51 Gráfico de control de sobrerotura del CX 4040	73
Figura 52 Histograma de metros de avance real CX 4040	74
Figura 53 Histograma de Sobrerotura real CX 4040.....	74
Figura 54 Capacidad del proceso de metros de avance por disparo	75
Figura 55 Capacidad del proceso de la sobrerotura del CX 4040.....	76
Figura 56 Diagrama Ishikawa proceso de perforación y voladura del CX 4040	77
Figura 57 Diagrama de pareto- Problemas que afectan al proceso de perforación y voladura del CX 4040.....	78
Figura 58 Causas Sobreexcavación del CX 4040.....	79
Figura 59 Resultados estadísticos de análisis de ANOVA (P value)	83
Figura 60 Análisis ANOVA para la variable de operador de Jumbo.....	84
Figura 61 Resultados estadísticos de análisis de ANOVA (R sq).....	84
Figura 62 Análisis ANOVA para la variable de operador de Jumbo.....	85
Figura 63 Resultados estadísticos de análisis de ANOVA (P value)	85
Figura 64 Resultados estadísticos de análisis de ANOVA (R sq).....	86
Figura 65 Pintado de rasante	88
Figura 66 Pintado de rasante	88
Figura 67 Sacando Punto centro y gradiente.....	89
Figura 68 Sacando Punto centro y gradiente.....	90
Figura 69 Cuaderno Geomecánico.....	90
Figura 70 Marcado de sección de labor.....	91
Figura 71 Pintado de cuadrículas malla de perforación.	92
Figura 72 Pintado de cuadrículas de malla de perforación	92
Figura 73 Malla de perforación CX 4040.	92
Figura 74 Plantilla Arranque	93

Figura 75	Arranque de 9.....	93
Figura 76	Arranque pintado.....	94
Figura 77	Arranque pintado en frente CX 4040.....	94
Figura 78	Pintado de Malla de perforación y arranque CX 4040.....	95
Figura 79	Jumbo 4 usando guiadores.....	96
Figura 80	Marcado en la manguera de perforación del Jumbo 4.....	96
Figura 81	Perforación en frentes.....	97
Figura 82	Perforación de taladros de alivio en la corona.....	97
Figura 83	Entubado de taladros.....	98
Figura 84	Entubado de taladros CX 4040.....	98
Figura 85	Lavado de taladros de arranque JUMBO S2.....	99
Figura 86	Limpieza y sopleteo de taladros.....	99
Figura 87	Uso de cucharillas.....	100
Figura 88	Explosivo recibido por bodeguero.....	100
Figura 89	Faneles PL.....	101
Figura 90	Distribución de faneles en frente.....	101
Figura 91	Marcado de mangueras de perforación.....	102
Figura 92	Uso de tacos de arcilla.....	102
Figura 93	Preparación de cañas.....	103
Figura 94	Colocando Cebo en la bolsa.....	103
Figura 95	Colocando bolsa en el taladro.....	104
Figura 96	Resultados voladura CX 4040 - Octubre de 2024.....	105
Figura 97	Porcentaje fuera de especificación – Metros de avance por disparo.....	105
Figura 100	Resumen de metros de avance y sobrerotura por disparo CX 4040....	107
Figura 101	Dashboard Kpis Perforación y voladura- UM Catalina Huanca.....	108
Figura 102	Formato de reporte de perforación y voladura.....	109
Figura 103	Retroalimentación controles de perforación y voladura.....	110
Figura 104	Retroalimentación al bodeguero.....	110
Figura 105	Porcentaje fuera de especificación – metro de avance por disparo.....	111
Figura 106	Porcentaje fuera de especificación – Sobrerotura por disparo.....	111
Figura 107	Promedio de avance por disparo del CX 4040.....	112
Figura 108	Promedio de eficiencia de voladura- CX 4040.....	113
Figura 109	Factor Carga Lineal CX 4040.....	113
Figura 110	Promedio de sobrerotura del CX 4040.....	114
Figura 111	Costos de materiales de sostenimiento CX 4040.....	115
Figura 112	Costo de shotcrete por mes CX 4040.....	115
Figura 113	Costos de perforación y voladura CX 4040.....	117
Figura 114	Comparación de resultados de voladura del CX 4040.....	117

Figura 115	Estimación de la diferencia de muestras.....	119
Figura 116	Prueba de hipótesis	120
Figura 117	Estimación de la diferencia de muestras-Minitab	122
Figura 118	Prueba de hipótesis - Minitab.....	122
Figura 119	Estimación de la diferencia de muestras.....	124
Figura 120	Prueba de hipótesis.....	124
Figura 121	Data Sobrerotura CX 4040 Mes Julio 2024.....	135
Figura 122	Plano del CX 4040.....	136
Figura 123	Costo de perforación y voladura CX 4040 - 12 FT	137
Figura 124	Costo de shotcrete (US\$/m3)	139
Figura 125	Costos de shotcrete CX 4040	140
Figura 126	Costo de sostenimiento por mes CX 4040-2024.....	141
Figura 127	Falta de simetría en arranque CX 4040	142

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las operaciones mineras, la perforación y voladura viene a ser el proceso más importante, por lo que es fundamental para cualquier empresa del sector minero. Obtener un buen avance por disparo y controlar la sobrerotura, se refleja como una reducción de costos y un menor tiempo para llegar a zona mineralizada.

Cuevas de México, (2021), señala en su estudio realizado en una unidad minera en el estado de sonora, que el problema más común que se presenta en el proceso de perforación y voladura es la deficiencia de los disparos, teniendo como promedio un 80% de eficiencia de voladura en los topes de desarrollo, la cual hace que incremente el costo del cuele de la obra.

Cortez de Chile, (2018), señala en su estudio realizado en el Teniente-Chile, que, la sobre excavación (22%), y la baja eficiencia de disparo (85%) son los principales problemas operacionales en el desarrollo de túneles y galerías, reduciendo la productividad y aumentando los costos de la operación.

Sánchez de Ecuador, (2012), señala en su estudio realizado en la rampa en la mina Bethzabeth – Ecuador, que el problema que conlleva a tener deficientes disparos en la Rampa, es el diseño de malla de perforación, siendo este elaborado empíricamente, la cual se plantea desarrollar una nueva malla de perforación con un modelo matemático.

Moreano de Perú, (2022), señala en su estudio realizado en la empresa IESA S.A. en la mina Porvenir, que el problema que conlleva a tener retrasos e incumplimiento en el programa mensual de avances, es el deficiente avance que se obtiene por disparo lo cual ocasiona pérdidas económicas donde cada metro perdido representa pérdidas de \$1.000, a su vez menciona que otro problema que afecta de manera negativa es la sobrerotura (mayor a 10%) que se tiene en los frentes de desarrollo.

Carrasco de Perú, (2016), señala en su estudio realizado en la Unidad Parcoy CIA. CONSORCIO MINERO HORIZONTE S.A, que el problema que conlleva a que se genere pérdidas económicas en el proceso de perforación y voladura son los disparos deficientes que se registran por mes (25 tiros soplados, 5 tiros cortados, 3 tiros anillados, 30 casos de taqueo), dando como resultado promedio a 70% de eficiencia de voladura.

Sosa de Perú, (2016), señala en su estudio realizado en la compañía Catalina S.A.C. que los problemas que destacan en las operaciones de perforación y voladura en los frentes de avance son, el incumplimiento de la malla de perforación, las desviaciones en el proceso de perforación (85%), las deficiencias en el orden de los tiempos de retardo y la no correcta asignación de explosivo en las labores, estos conllevan a que se incremente los costos de perforación y voladura (627.17 \$/m).

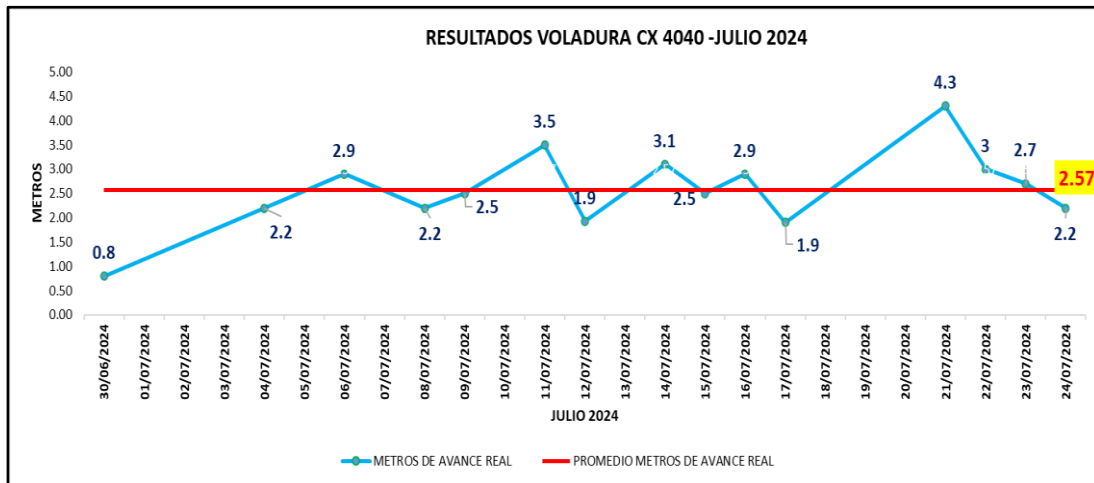
En la unidad Minera Catalina Huanca, la ejecución del CX 4040, es prioridad de la alta gerencia debido a que permitirá llegar a zona de mineral (Melissa), zona de recursos minerales aprobados por la gerencia de geología, la cual cuenta con leyes de 8% de Zinc y 0.5% Pb, posteriormente para ser minado por taladros largos.

Durante el mes de julio del 2024, mes que inicia la construcción del proyecto CX 4040, se registraron incidencias de disparos y sobrerotura en los frentes de avance, los disparos con una eficiencia de voladura promedio de un 80%, siendo esta menor a 91% que es la eficiencia mínima de voladura que se tiene como estándar en la Unidad Minera Catalina Huanca. A su vez se observa en la figura 1, que el avance por disparo promedio es de 2.57 metros, cuando el avance por disparo mínimo debe ser 3.70 metros, si nos basamos en las barras de perforación que se cuenta en la unidad que son de 14 y 16 pies. En cuanto a la sobrerotura, se observa en la tabla 1 que la sobrerotura real es mayor a la estimada que es 10%.

Por lo tanto, es importante mejorar estos problemas que afectan en los retrasos de los metrajes mensuales programados y a pérdidas de costos en los procesos.

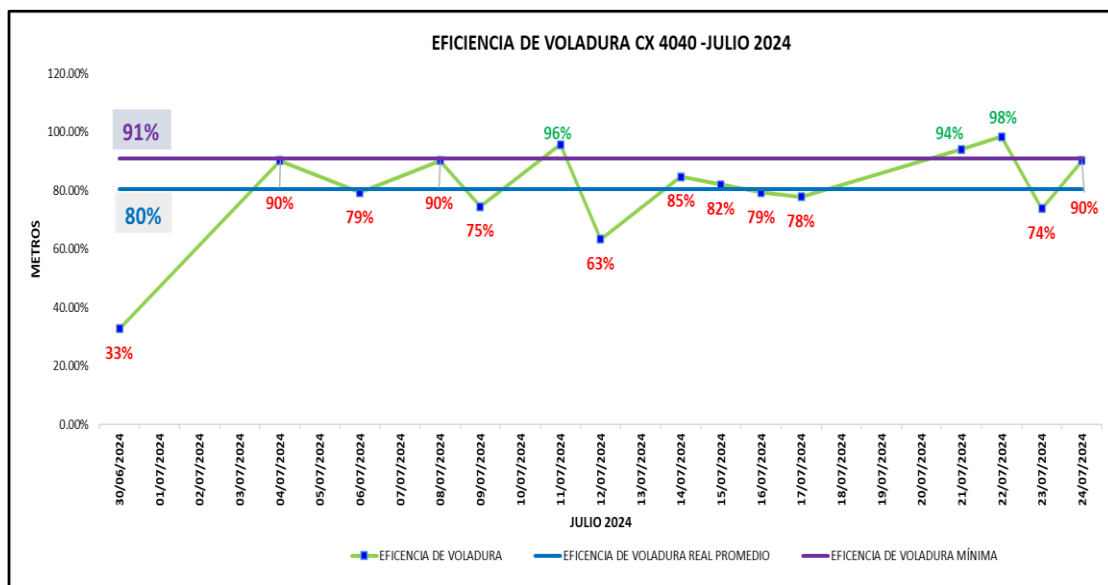
Por tal razón se realiza este proyecto de investigación con el objetivo de determinar la efectividad de la implementación Lean Six Sigma en el proceso de perforación y voladura del CX 4040 de la Unidad Minera Catalina Huanca.

Figura 1
Resultados de voladura Cx 4040 Julio 2024



Nota: La figura muestra los resultados de voladura realizados en el CX 4040 durante el mes de julio, donde se obtiene una media de 2.57 metros por disparo (m/disp).

Figura 2
Eficiencia de voladura CX 4040 julio 2024



Nota: La figura muestra las eficiencias de voladura obtenidas en el CX 4040 durante el mes de julio, donde se obtiene una media de 80% siendo esta debajo del 91% (Eficiencia mínima como estandar).

Tabla 1

Sobrerotura del CX 4040 Julio 2024

SOBREROTURA CX 4040 MES JULIO		
SEMANA	BUDGET PROM	REAL PROM
1	10%	17%
2	10%	20%
3	10%	12%
4	10%	19%
PROMEDIO		17%

Nota: La Tabla muestra los resultados de sobrerotura por semanas obtenidas en el CX 4040 durante el mes de julio, donde se obtiene una media de 17% siendo esta mayor del 10% (Sobrerotura maxima como estandar que se maneja en la Unidad).

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿En qué medida la implementación de la metodología Lean Six Sigma, mejora el proceso de perforación y voladura del CX 4040 en la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿En qué medida la implementación de la metodología Lean Six Sigma, mejora el avance por disparo del CX 4040 en la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025?
- ¿En qué medida la implementación de la metodología Lean Six Sigma, reduce la sobre rotura en el frente de avance del CX 4040 en la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025?
- ¿En qué medida la implementación de la metodología Lean Six Sigma, reduce el costo de perforación y voladura en el frente de avance del CX 4040 en la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Determinar la efectividad de la implementación de la metodología Lean Six Sigma para mejorar el proceso de perforación y voladura del CX 4040 de la Unidad Minera Catalina Huanca-2025.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la efectividad de la implementación de la metodología Lean Six Sigma, para mejorar el avance por disparo del CX 4040 de la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025.
- Determinar la efectividad de la implementación de la metodología Lean Six Sigma, para reducir la sobre rotura en el frente de avance del CX 4040 de la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025.
- Determinar la efectividad de la implementación de la metodología Lean Six Sigma, para reducir el costo de perforación y voladura en el frente de avance del CX 4040 de la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025.

1.4. JUSTIFICACIÓN

1.4.1. Justificación Teórica

Esta investigación se realiza con el fin de aportar al conocimiento existente sobre la metodología Lean Six Sigma, basado en el modelo DMAIC, la cual se implementará en el proceso de perforación y voladura del CX 4040 en la Unidad Minera Catalina Huanca- Ayacucho 2024, asimismo la metodología Lean Six Sigma (Modelo DMAIC), ha sido investigada y utilizada en varias industrias de todo el mundo, lo que ha dado lugar a una reducción de tiempos y al consumo de recursos, un aumento de la productividad y un ahorro de costos.

1.4.2. Justificación Práctica

Esta investigación se realiza por que existe la necesidad de mejorar el proceso de perforación y voladura del CX 4040 en la unidad Minera Catalina Huanca con el uso y/o aplicación de la metodología Lean Six Sigma.

La implementación de metodologías de mejora continua, ha sido aplicada a diversas unidades mineras logrando resultados alentadores, como mencionan Infantas, Espinoza, Cuevas, Moreano entre otros, en sus correspondientes trabajos de investigación, obteniendo mejoras en los avances por disparo, reducción de la sobrerotura y obtener ahorro de costos. La unidad minera Catalina Huanca presenta rasgos parecidos a los antecedentes mencionados, en consecuencia, sería totalmente posible aplicar esta práctica en esta circunstancia específica.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Según los antecedentes indagados respecto a la investigación “Implementación de la metodología Lean Six Sigma en el proceso de perforación y voladura” se pudo recopilar fuentes de información (tesis), entre los más importantes se tiene los siguientes:

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Abisai et al. (2023), realizaron una investigación denominada, “Aplicación de Lean Six Sigma para mejorar el rendimiento de la separación por medio denso en una planta de procesamiento de diamantes en Namibia”, cuyo objetivo fue aplicar este estudio Lean Six Sigma para mejorar el rendimiento de la separación por medio denso en una planta de procesamiento de diamantes. Metodología: responde a un tipo aplicada. La población la Zona 5, ya que este es un yacimiento de mineral con alto contenido de arcilla y vetas de arcilla grasa. Resultados: En este estudio, LSS se implementó con éxito en una planta de procesamiento de diamantes para mejorar el rendimiento del DMS, un componente crítico en la mina de diamantes

Ingar (2023), realizaron una investigación denominada, “Lean Six Sigma y mejora de la productividad en el servicio de reparación de equipos de minería en una empresa metalmecánica”, cuyo objetivo fue reducir los defectos de reparación de los componentes de maquinaria pesada para la actividad minera. Metodología: se adoptó un enfoque cuantitativo porque se recogieron datos. La población fue un taller de una empresa metalmecánica. Resultados: Mediante la correcta implementación de la metodología Lean Six Sigma, las empresas metalmecánicas pueden ser más competitivas, La aplicación de la metodología Lean Six Sigma conduce a la mejora de la productividad en los procesos de reparación de los componentes y maquinaria pesada, pues mejora la eficacia y reduce el índice de producto no conforme.

Cuevas (2021), realizó una investigación denominada “Metodología Lean Six Sigma aplicada a un caso real de barrenación y voladura en la minería subterránea-México”, cuyo objetivo fue: Crear una base teórica para aplicar la metodología estadística y administrativa Lean Six Sigma a las operaciones de perforación y

voladura de la minería subterránea. Metodología: responde a un tipo proyectiva. La población fueron todos los topes de la unidad minera subterránea, la muestra fue los topes de las zonas rebaje 1 y rebaje 2. Resultados: Se concluyó que los recesos en el desarrollo darían lugar a una disminución del 7 % en los costos de construcción (4664,40 dólares al mes). Por otro lado, en cuanto al metraje mensual de desarrollo este se cumpliría con 21 disparos porque estos tendrían una media de avance de 4.4 m (anteriormente 3.5 m).

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Mendoza y Liberato (2023) realizaron una investigación denominada “Evaluación de la etapa de perforación de taladros largos en vetas angostas mediante el enfoque Lean Six Sigma para incrementar la productividad operacional de una mina subterránea al sur del Perú”, cuyo objetivo fue: Mejorar la productividad operativa en una mina subterránea en el sur de Perú, evaluando la etapa de perforación de pozos largos en vetas estrechas utilizando la metodología Lean Six Sigma. Metodología: responde a un tipo integral. La población fueron las diferentes labores de explotación, como muestra se tuvo el Tj 117. Resultados: se determinó que, dentro del proceso de perforación, el 58.7% de las pérdidas operativas es debido al atascamiento de barrenos, la cual se optó por disminuir la velocidad de perforación. Implementando la metodología Lean Six Sigma, se disminuyó las horas improductivas por fallas del equipo de perforación, logrando una disponibilidad mecánica (89%) del equipo de perforación.

Espinoza y Carreño (2022) realizaron una investigación denominada “Control operativo de los metros de avance por disparo mediante la metodología Lean Six Sigma”, cuyo objetivo fue: Incrementar los ingresos mensuales de la empresa en la partida de valorización de avances para el año 2021 respecto al 2020. Metodología: responde a un tipo Cuantitativa-Cualitativa y Experimental. La población fueron los disparos realizados en los meses de marzo hasta octubre 2020, se tuvo dos muestras de metros de avance por disparo; la primera con un n igual a 30 datos y la segunda con un n igual a 45 datos. Resultados: Se obtuvieron mejoras en los metros de avance por disparo desde 3.12 m/disp a 3.44 m/disp., que representa un incremento del 10.25%. A su vez, la aplicación del proyecto de mejora continua, teniendo en cuenta los ingresos, los gastos y las inversiones de capital incurridos

entre octubre de 2020 y diciembre de 2021, dio como resultado un saldo neto positivo de 71 571,21 dólares, con una evaluación económica de la relación costo-beneficio del proyecto sin piloto y con piloto, y una proyección hasta julio de 2021.

Moreano (2022), realizó una investigación denominada “Mejora en la gestión de los procesos de perforación y voladura para incrementar el cumplimiento de los programas de preparación y desarrollo a cargo de la empresa IESA S.A. en la mina El Porvenir”, cuyo objetivo fue: La mejora en la gestión de los procesos de perforación y voladura, desde la creación de las cuadrículas de perforación hasta su implementación y control de campo mediante las herramientas de gestión sugeridas, permitirá un mayor cumplimiento del calendario de avances del contratista IESA S.A. en la mina El Porvenir. Metodología: responde a un tipo Cuantitativa. La población fueron las voladuras realizadas durante el año 2020, la muestra fue voladuras realizadas durante el mes de Julio a octubre del año 2020. Resultados: En cuantos al número de voladuras mayores a 3.3. metros se incrementó favorablemente de tener un 23.21% del total de voladuras en el mes de agosto del 2020 a 62.25% en el mes de junio del 2021.

Giraldo, Rojas (2020) realizaron una investigación denominada “Optimización del sistema de acarreo y transporte en labores de preparación de las zonas de profundización mediante la metodología Six Sigma operada por la E.C.M. Zicsa en la Unidad Minera Inmaculada”, cuyo objetivo fue: Aplicar Lean Six Sigma para reducir el tiempo de inactividad en el proceso de transporte y acarreo, mientras se prepara la zona de profundización que E.C.M. Zicsa opera en la unidad minera Inmaculada. Metodología: responde a un tipo Explicativo cuantitativo. La población fue el sistema de acarreo y transporte, conformado por 5 volquetes y 3 Scoops que se utilizan para la zona de profundización, de la Unidad Minera Inmaculada laborada por la E.C.M. Zicsa, Para la muestra se considera los tiempos del ciclo de acarreo de los meses de enero a febrero del año 2020, la cual consta de 30 días, desde la zona de profundización hasta la cancha de minerales o a la desmontera. Resultados: Se logró disminuir los tramos y reducir los tiempos productivos de transporte, acortándolo a 1.25 horas por ciclo, lo cual logro el aumento de 1 viaje más, de 7 a 8 viajes, por consiguiente, una producción de 1200 toneladas / guardia.

2.1.3. Antecedentes Locales

Romani (2024), realizó una investigación denominada “Diseño de malla de perforación aplicando el método de Roger Holmberg para reducir deficiencias de voladura en la RP (-) 3837 - Unidad Minera Catalina Huanca, 2024.”, cuyo objetivo fue, determinar de qué manera el diseño de la malla de perforación aplicando el método de Roger Holmberg influye en la reducción de las deficiencias de voladura en Rp (-)3837 - Unidad Minera Catalina Huanca, 2024. Metodología: responde a un tipo Aplicativa. La población estará constituida por las labores de desarrollo del cuerpo mineralizado Melissa 3 Catalina Huanca. Resultados: Se logra mejorar el avance lineal de un promedio de 3.65 m/disparo (malla anterior) a un avance promedio de 3.76 m/disparo (malla por el método de Roger Holmberg). Con una eficiencia de disparo de 95%. Estos resultados se demuestran con el cumplimiento del plan semanal y mensual que se ejecutó la Rp(-)3837 de la Unidad Minera Catalina Huanca.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Metodología LEAN.

Cuevas, (2021), menciona que:

Lean surge después de la Segunda Guerra Mundial como un sistema que es mucho más eficiente que la producción en masa. Este es un método de trabajo que se basa en la experiencia de la compañía automotriz Toyota, que desde los años cincuenta encontró una forma de mejorar su proceso de producción, obteniendo mejores resultados (en calidad, producción, flexibilidad, etc.) usando menos recursos (como esfuerzo humano, herramientas, espacio físico, etc.). El enfoque Lean es un proceso activo, guiado por el conocimiento y centrado en el cliente, donde todas las personas en una empresa trabajan continuamente para reducir desperdicios y generar valor. (p. 9)

Asu vez menciona que:

La filosofía LEAN se basa en 5 principios:

- **Valor:** implica concentrarse en las tareas o procedimientos de fabricación que benefician al consumidor final.

- **Cadena de Valor:** implica analizar los procesos desde el punto de vista de lo que quiere el consumidor final, al tiempo que se tienen en cuenta los procesos como proveedores del proceso posterior y clientes del anterior.
- **Flujo:** es eliminar el desperdicio, manteniendo al mismo tiempo el más alto nivel de continuidad entre los numerosos procesos y actividades de producción.
- **Producción:** basándose en las necesidades del consumidor final, con el fin de evitar el exceso de producción y mantener bajos los niveles de inventario.
- **Perfección:** busca siempre mejorar cada uno de los procesos que existen.

Entre sus postulados básicos se cuentan:

- **Calidad:** Metodología de cero defectos, identificando y resolviendo los problemas desde su raíz.
- **Desperdicios:** optimización de los recursos y eliminación de actividades que no generan valor.
- **Mejora continua:** Mejora de la comunicación, aumento de la producción, reducción de costos y mejora de la calidad.
- **Producción:** impulsado por las necesidades de la próxima actividad del proceso o la demanda del cliente final.
- **Flexibilidad:** Se pueden producir rápidamente diversas combinaciones de productos sin sacrificar la eficiencia.

A grandes rasgos, la Filosofía LEAN busca la:

- Estandarización de procesos, con el foco en la optimización de recursos.
- Detección y análisis de errores o problemas.
- Solución de errores o problemas.

2.2.2. Metodología Lean Six Sigma.

Espinoza (2022) menciona que: “Lean Six Sigma es un enfoque diseñado para optimizar procesos, disminuir la variabilidad en ellos con la meta de aumentar la eficiencia y las ganancias. Para lograr esto, utiliza varias herramientas estadísticas basadas en el modelo DMAIC”. (p. 21)

Uribe (2019) define: “Lean Six Sigma utiliza el enfoque de Six Sigma junto con una combinación de herramientas Lean y estadísticas. Seis Sigma establece cinco etapas clave en la mejora de la calidad, siendo el Método DMIAC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar) la guía principal del proceso. Al seguir estos pasos, se logra una mejora.”. (p. 22)

2.2.3. Historia Lean Six Sigma

Rodríguez (2016) menciona:

El método de Six Sigma es una filosofía que comenzó en los años ochenta como una estrategia de mercado y mejora de calidad en la compañía Motorola. En ese tiempo, el ingeniero Mikel Harry propuso que la organización debería enfocarse en examinar y analizar la variación de los procesos en Motorola, para que pudieran adaptarse mejor a la realidad. Durante este periodo, con el crecimiento de la globalización, las empresas en los sectores industrial y comercial empezaron a crear métodos más eficaces para optimizar sus procesos y así aumentar su competitividad y productividad. El objetivo principal era disminuir la variabilidad de los factores o elementos críticos que, de alguna manera, afectaban el rendimiento normal de los procesos. Por eso, se utilizó la evaluación de la desviación estándar, simbolizada por σ , como una medida estadística confiable para evaluar el rendimiento y, al mismo tiempo, determinar la efectividad de la empresa. (p. 9)

2.2.4. Modelo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y controlar)

Según Socconini y Reato (2019):

Lean Six Sigma es una forma de pensar que se centra en hacer felices a los clientes. Emplea un enfoque que disminuye las pérdidas al disminuir la variabilidad de los procesos, usando herramientas estadísticas y de gestión, para lograr mejoras notables en cualquier procedimiento. La base de su

metodología se llama DMAIC, que se enfoca en mejorar proyectos a través de los pasos de definir, medir, analizar, mejorar y controlar.

Según Cuevas, (2021) “Six Sigma define cinco pasos fundamentales en el proceso de mejora de calidad, el Método DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar) marca el rumbo del funcionamiento del método. Con esta sucesión de pasos se consigue mejorar el proceso”. (p. 10)

Cuevas (2021) define que:

Los pasos que componen el modelo DMAIC son los siguientes: definir el problema, medir los fallos y los procedimientos operativos, analizar los datos para determinar la causa raíz, mejorar el proceso para eliminar las causas del defecto y controlar el proceso para evitar que vuelva a ocurrir.

Figura 3
Ciclo DMAIC



Nota: La figura muestra el ciclo del modelo DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar), tomado de Espinoza, 2022, (p.10).

2.2.5. Etapas de la Metodología Lean Six Sigma

2.2.5.1. Etapa D (Definir)

Vizcarra 2021: “Se trata de establecer el proyecto o, en su defecto, identificar un problema de calidad que implica la recopilación de información suficiente para entender las necesidades del cliente” (p. 32)

La fase inicial de la Metodología DMAIC, es la etapa de Definir en el que se definen o establecen los requerimientos del proveedor y cliente, y se lleva a cabo un diagnóstico del proceso. Durante esta fase, se consideran los siguientes aspectos.

- Información general sobre la empresa
- identificación del Problema
- Justificación del problema
- Mapa de participantes clave
- Análisis de interesados
- Diagrama SIPOC
- Resumen Six Pack

2.2.5.2. Etapa M (Medir)

Vizcarra 2021: “Como su nombre lo indica, consiste en medir las condiciones del problema, considerar los aspectos de capacidad del proceso según la información obtenida en la primera etapa.” (p. 32)

El paso más importante es la medición, ya que implica recopilar información crucial para evaluar la eficiencia del proceso tal y como está ahora y proporcionar los datos necesarios para las fases posteriores.

Esta etapa incluye los siguientes pasos:

- Seleccionar el KPI que se va a medir
- Desarrollar un plan de recolección de datos
- Desarrollar un mapa de procesos
- Calcular un nivel estadístico Sigma del proceso.

2.2.5.3. ETAPA A (Analizar)

Vizcarra, 2021: “Se analizan las causas del problema mediante la

aplicación de herramientas estadísticas y consistentes como puede ser el diseño experimental, contraste de hipótesis y modelos lineales”. (p. 32)

A partir de los datos recopilados y los procesos (primarios y secundarios) que se han examinado, ahora se pueden encontrar, confirmar y medir las causas subyacentes del problema. Además, se establecen objetivos de mejora.

En el análisis de datos se examinan la distribución, la tendencia y otras mediciones derivadas de la recopilación de datos. Este análisis puede plantear, respaldar o refutar teorías sobre las causas del problema. Entre los métodos habituales se incluyen:

- Diagrama de Ishikawa.
- Diagrama de Pareto.
- Análisis FMEA.
- Análisis de varianza.
- Análisis de regresión.

2.2.5.4. ETAPA I (Mejorar)

Vizcarra, 2021: “Al determinar y medir las variables identificadas como cruciales para el proceso evaluado, se mejoran las condiciones del proceso. posteriormente, se aplica la solución adecuada para cada una de las causas previamente determinadas y, una vez evaluados los resultados, se pone en práctica.” (p. 32)

Si en la fase previa se reconocen los motivos que causan los problemas de rendimiento; en este paso se sugiere una respuesta para ofrecer diferentes opciones para resolver el problema sin causar daños a otras partes del sistema. En otras palabras, se deben comprobar y guiar las respuestas ofrecidas para poder ejecutar el plan de mejora. Normalmente, las soluciones que se presentan se centran en la utilización de métodos como:

- Simplificación de procesos

- Procesos paralelos
- Eliminación de los procesos “cuello de botella”
- Implementación de un plan de mejora.

2.2.5.5. ETAPA C (Controlar)

Vizcarra, 2021: “Consiste en gestionar las variables claves y/o críticas de tal manera que el problema de calidad no vuelva a aparecer”.

El objetivo de esta fase es asegurar que las mejoras logradas en la etapa anterior se sostengan y que los procesos se estandaricen. Por eso, se registran los cambios y se toman en cuenta los siguientes aspectos:

- Si las mejoras fueran realizadas con la aplicación de técnicas como la simplificación de procesos, es necesario establecer los nuevos estándares del proceso.
- Una vez que se ha eliminado el bajo rendimiento atacando la causa raíz, es crucial mantener un control de las variables clave del proceso usando gráficos de control.

2.2.6. Herramientas LSS para la resolución de problemas.

Cuevas, (2021) menciona que: “Hay una amplia gama de herramientas administrativas y estadísticas que se emplean para llevar a cabo un proyecto de implementación Lean Six Sigma” (p.15).

2.2.6.1. Diagrama de flujo.

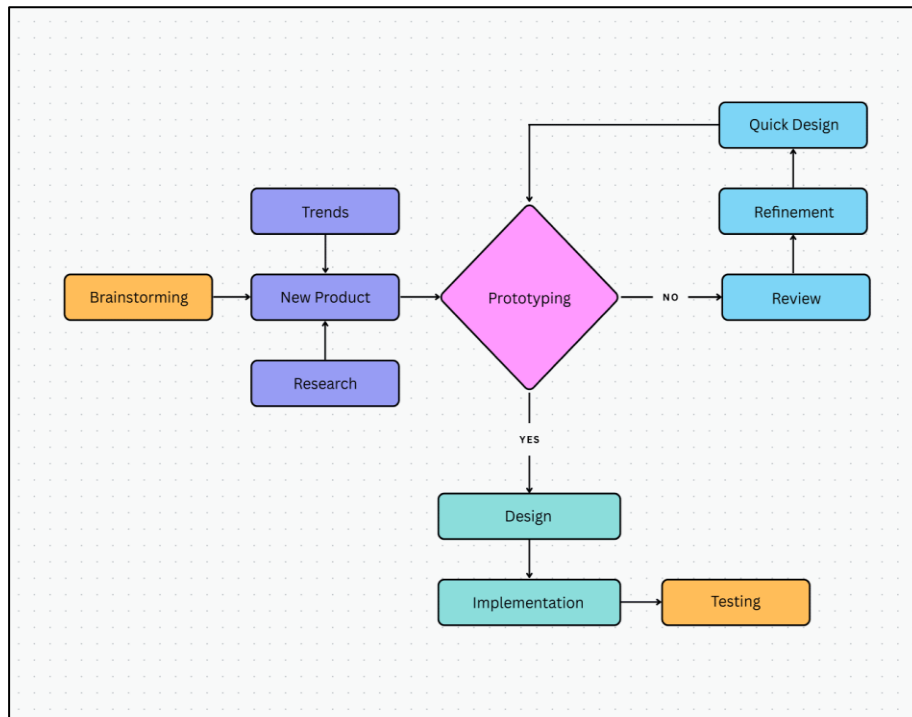
Cuevas, (2021) menciona que: “Es una herramienta específica y personal que se adapta a diversas necesidades u objetivos para mejorar la calidad del producto o proceso que se está evaluando” (p.16).

Consiste en una representación visual que ilustra distintos tipos de flujos como procesos, datos o el propio producto, lo que ofrece las siguientes ventajas:

- Facilita la comunicación entre los usuarios

- Permite el análisis de los procesos
- Identifica las necesidades de documentación
- Contribuye a la depuración de los procesos no productivos

Figura 4
Diagrama de flujo



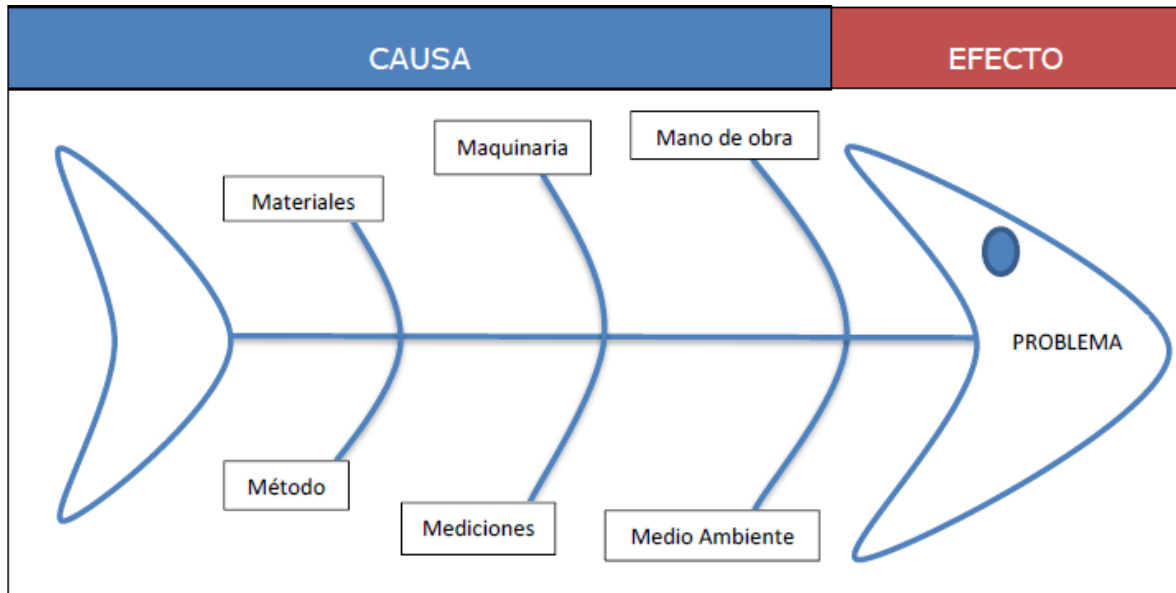
Nota: La figura muestra un ejemplo de un diagrama de flujo, tomado de pagina web CANVA, 2025.

2.2.6.2. Hoja de verificación.

Es un conjunto de taras que deben realizarse al inicio o al cierre de estas y puede usarse para recoger información importante del proceso.

Adicional, una hoja de verificación realizada al terminar una tarea refleja el desempeño de un proceso.

Figura 6
Diagrama de Ishikawa



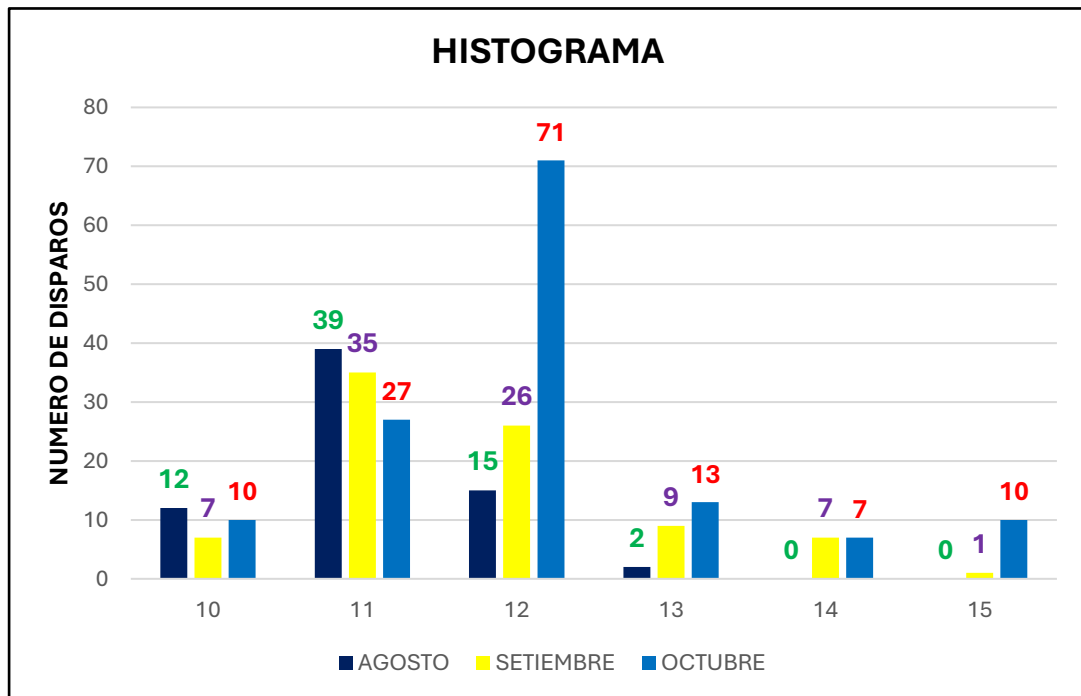
Nota: La figura muestra un ejemplo de un diagrama de ishikawa, tomado de Cuevas, 2021.

2.2.6.4. Histograma.

Cuevas, (2021), menciona:

El histograma es una herramienta especializada de gráficos de barras para resumir y mostrar conjuntos de datos. Para identificar rápidamente las medidas de tendencia central (media, moda y mediana) y las medidas de dispersión (rango y desviación estándar), también facilita la visualización de la distribución de los datos de un proceso. Dado que puede mostrar las especificaciones deseadas (por ejemplo, los límites de control de avance de disparo) y proporcionar información sobre la distribución de frecuencias para una población de datos determinada, esta herramienta resulta muy útil en el enfoque LSS. Además, una medida razonable de la capacidad del proceso es la extensión de la distribución. (p,19)

Figura 7
Histograma



Nota: La figura muestra un ejemplo de un histograma basado en numero de disparos realizados.

2.2.6.5. Diagrama de Pareto.

Vilfredo Pareto, un economista italiano, creó este instrumento para caracterizar la distribución de frecuencias. También se le conoce como la regla del 80-20.

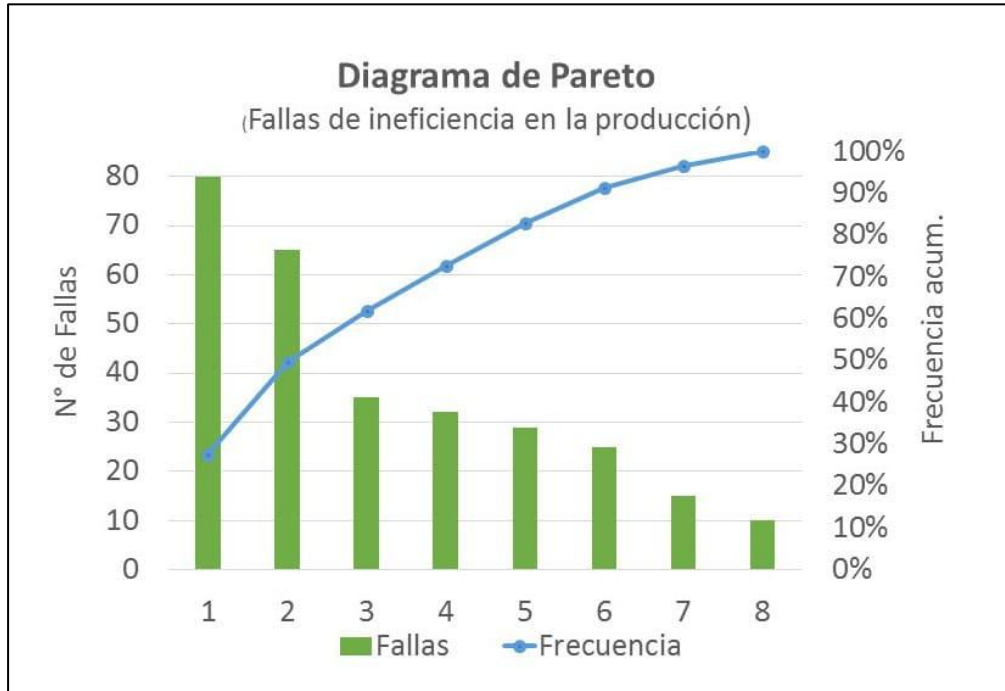
Dado que ninguna empresa tiene los recursos para gestionar todos los problemas, el objetivo de esta herramienta es priorizar los problemas para que puedas elegir cuáles abordar y resolver.

A continuación, se muestran los pasos a seguir para elaborar un diagrama de Pareto:

1. Preparar los datos
2. Ordenar los elementos
3. Calcular el porcentaje acumulado de cada elemento

4. Seleccionar los elementos pocos vitales y los muchos triviales
5. Rotular el diagrama de Pareto

Figura 8
Diagrama de Pareto



Nota: La figura muestra un ejemplo de un diagrama de Pareto basado en número de fallas que afectan a la producción, tomado de Pagina Web de Google, 2025

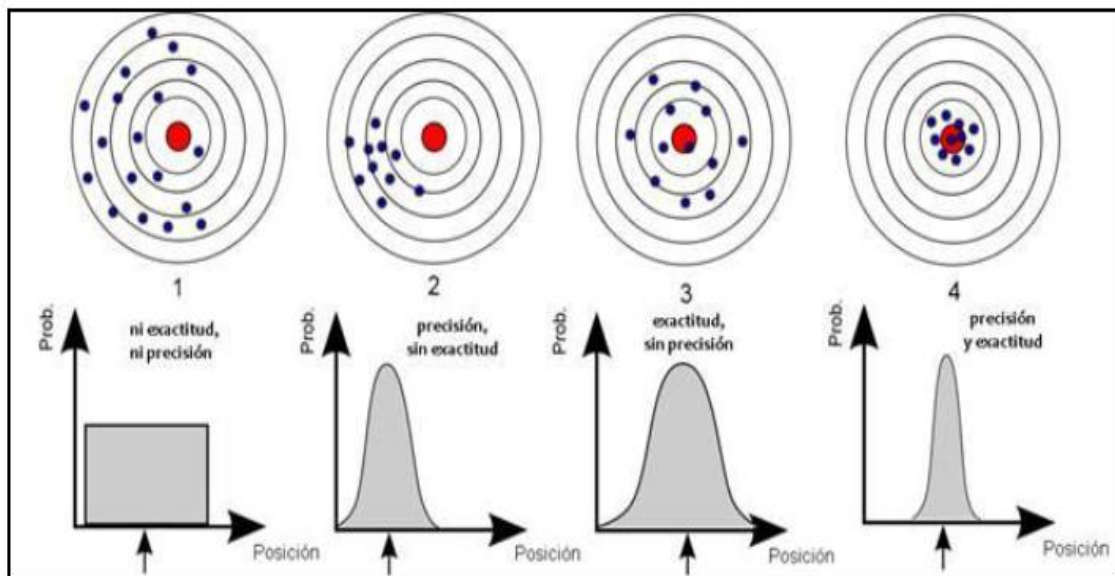
2.2.6.6. Diagrama de dispersión.

Cuevas, (2021), conceptúa a diagrama de dispersión como:

Una herramienta estadística que permite comparar dos variables y determinar si existe una relación entre ellas, la cual puede ser positiva, negativa o inexistente. En una correlación positiva fuerte, los datos se agrupan estrechamente alrededor de una línea de tendencia con pendiente ascendente, lo que indica que ambas variables aumentan simultáneamente. Por el contrario, una correlación negativa fuerte se caracteriza por una pendiente descendente, donde el aumento de una variable implica la disminución de la otra. Cuando no existe correlación, los datos se distribuyen de manera aleatoria, asemejándose a una ráfaga de escopeta. El gráfico de dispersión resulta útil para identificar la posible relación entre variables; sin embargo, la presencia de

correlación no implica necesariamente una relación de causa y efecto. Generalmente, la variable que puede ser controlada se considera independiente y se representa en el eje horizontal, mientras que la variable dependiente se ubica en el eje vertical. Asimismo, para interpretar adecuadamente los resultados obtenidos mediante los diagramas de dispersión, es fundamental distinguir entre los conceptos de precisión y exactitud, a fin de evitar interpretaciones erróneas. La precisión se relaciona con la variabilidad de los valores obtenidos al medir una propiedad; cuanto menor sea dicha variabilidad, mayor será la precisión de la medición. La desviación estándar es una medida estadística utilizada para cuantificar esta variabilidad. Por otro lado, la exactitud hace referencia al grado en que una medición se aproxima al valor real o de referencia. En términos estadísticos, la exactitud se asocia con el error absoluto entre el valor real y el valor experimental, y está vinculada al sesgo presente en la distribución de los datos. (p, 23).

Figura 9
Diagrama de dispersión



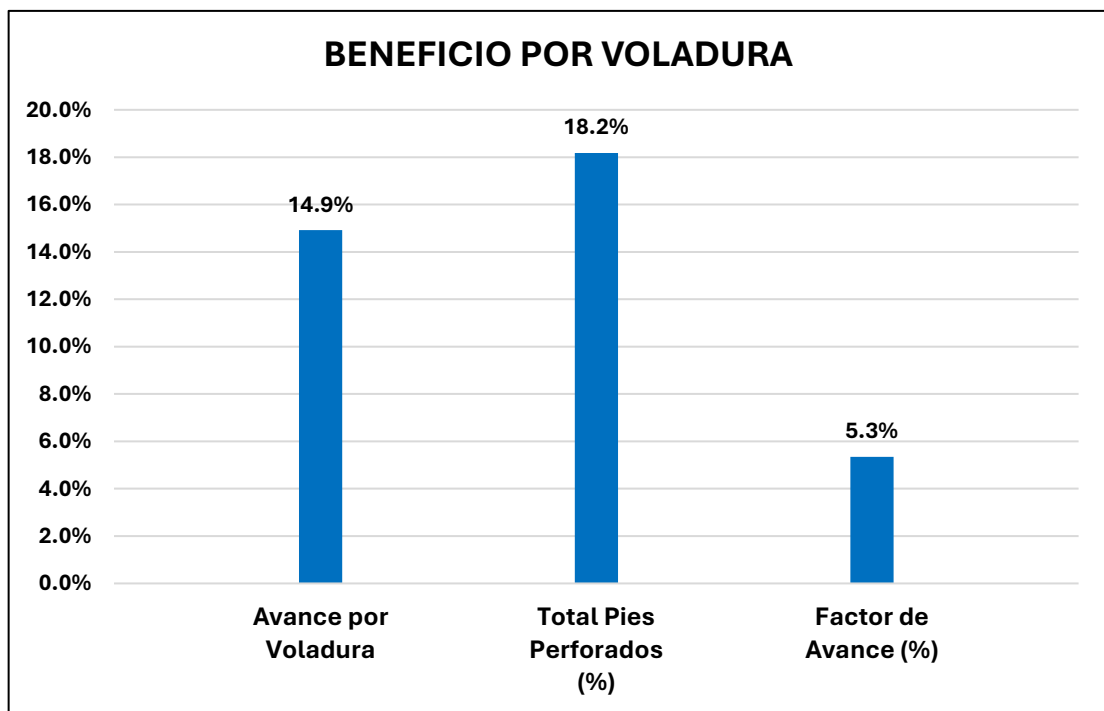
Nota: La figura muestra un ejemplo de un diagrama de dispersión, tomado de, Cuevas, 2021.

2.2.6.7. Cuadro de control.

Cuevas, (2021), conceptúa a cuadros de control de la siguiente manera:

Se emplean para asegurar que el procedimiento cumpla con las normas fijadas y observar la variación de manera constante. Edwards Deming hizo famosos estos gráficos, y ahora se utilizan en todo el mundo para verificar si un proceso está controlado y anticipar los resultados futuros. Los gráficos que representan el proceso estudiado a lo largo del tiempo se denominan gráficos de control. Sin embargo, es necesario comprender la varianza y la variación cercana.

Figura 10
Cuadro de control



Nota: La figura muestra un ejemplo de cuadro de control adaptado a los beneficios de voladura, teniendo como información en porcentaje a los kpis, de avance de voladura, total pies perforados y factor avance.

2.3. GENERALIDADES DE LA UNIDAD MINERA CATALINA HUANCA

2.3.1. UBICACIÓN Y ACCESO

La Unidad Minera Catalina Huanca, se ubica en el centro de Perú, en las estribaciones orientales de la Cordillera Occidental de los Andes, a una altitud media de 3200 metros sobre el nivel del mar, está situada políticamente en el departamento de Ayacucho, provincia de Víctor Fajardo y distrito de canaria.

Sus coordenadas geográficas son:

- 73° 56' 15" Longitud Oeste
- 13° 58' 45" Latitud Sur
- Sus coordenadas UTM son:
 - 8 454 200 Norte
 - 615200 Este

Figura 11

Ubicación Mina Catalina Huanca



Nota: La figura muestra la localización de la unidad minera en la región Ayacucho. Adaptado de Ministerio de Energía y Minas (2022).

Se puede acceder por carretera desde Lima; los tiempos de viaje y las distancias hasta la operación minera se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2
Accesibilidad de lima a mina Catalina Huanca

Destino	Distancia	Accesibilidad	Horas
Lima-Nazca		Carretera asfaltada	07 Horas
Nazca-pampa galeras	715 Km	Carretera afirmada	09 Horas
pampa galeras -Mina		Carretera afirmada	
TOTAL			16 Horas

Nota: La Tabla muestra la forma de llegar desde Lima a la Unidad Minera Catalina Huanca

Tabla 3
Accesibilidad de Lima a mina catalina huanca

Destino	Distancia	Accesibilidad	Horas
Lima - Pisco			02 Horas
Pisco - Ayacucho			07 Horas
Ayacucho - Cangallo	1022 Km	Carretera asfaltada	02 Horas
Cangallo - Huancapi			01 Hora
Huancapi - Canaria			02 Horas
Canaria - Mina			01 Hora
TOTAL			15 Horas

Nota: La Tabla muestra la forma de llegar desde Lima-Ayacucho a la Unidad Minera Catalina Huanca

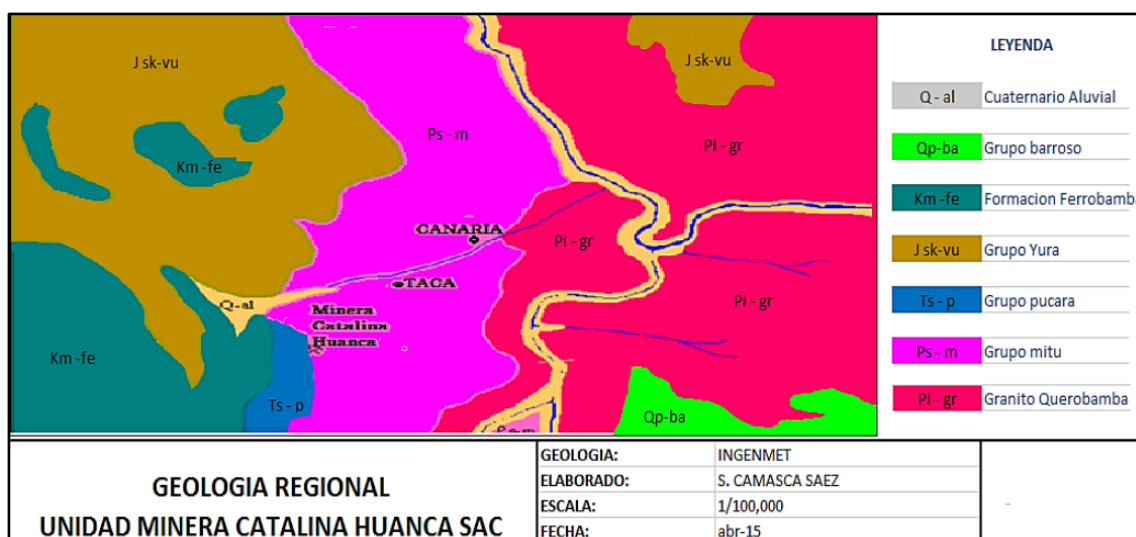
2.3.2. GEOLOGÍA REGIONAL

Pillaca, (2017), en su trabajo de investigación da a conocer que:

La unidad minera Catalina Huanca se encuentra sobre una serie litológica que está constituida de rocas de naturaleza sedimentaria, cuya época de formación abarca desde el final del permiano superior (paleozoico), incluyendo rocas del período Cuaternario hasta las eras Triásica y Jurásica Inferior de la

era Mesozoica, representadas por los grupos Mitu (Ps-m) y Pucara (Tr-jr). De noroeste a sureste, estas unidades rocosas forman una franja. Las pendientes pronunciadas y los valles interandinos, por donde discurren los ríos de la cuenca de la Pampa (Cangallo), son características de la topografía de la región. Estos ríos fluyen de oeste a este y son afluentes del río Apurímac. La formación Labra está en concordancia con la formación Gramadal, mientras que la formación Socosani del grupo Chunumayo está en contacto discordante con el grupo Pucara. Además de rocas intrusivas dioríticas, como la diorita Ccasccabamba (Nm-ca/di) y la monzonita cuarzosa (Tms-qm), la parte oriental de la región minera presenta afloramientos de facies graníticas (PS-q/gr). (P.10)

Figura 12
Plano Geológico Regional U.M. Catalina Huanca.



Nota: En la figura se identifican unidades del Cuaternario Aluvial, Grupo barroso, Grupo Yura, Formación Ferrobamba, Grupo Mitú, Grupo Pucará y el Granito Querobamba. Tomado de INGEMMET (2017).

2.3.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL

Como parte de la geología estructural regional, se tiene a las calizas y conglomerados que presentan suaves plegamientos, Sosa, (2016), menciona:

La estructura más significativa es la "Falla Principal", la cual exhibe un rumbo y un buzamiento promedio de N55°E/85°SE, y puede ser observada en

afloramientos a lo largo de una longitud media de 600 metros. Esta falla, que influye en la mineralización de las vetas, ha formado un notable cimoide en profundidad, donde en su extremo "NE" las vetas convergen para dar lugar a una única veta. En el extremo opuesto "SW", se dispersan en una forma similar a una cola de caballo, formando así las vetas (Principal, Piedad, Roció, Vilma y Lucero), hasta que se encuentran con la caliza del grupo pucara. Otra estructura relevante es la "Falla Chumbilla", situada al suroeste de la mina, que se define por la línea de contacto entre la caliza pucara, el stock monzonítico y el conglomerado Mitu. Desde el punto de vista estructural, esta falla presenta un rumbo y buzamiento promedio de N40°E/32°NW. (p.16)

2.3.4. GEOLOGÍA LOCAL

La mina Catalina Huanca contiene yacimientos tipo: "vetas fallas", "mantos de reemplazamiento" y "brechas de colapso", asociado a intrusiones ígneas.

2.3.5. ESTRATIGRAFÍA

La columna estratífica generalizada de la Unidad Minera Catalina Huanca se conforma de las siguientes unidades litológicas, de acuerdo con Pillaca, 2017:

- a) **GRUPO MITU.** Esta secuencia comienza a una altitud de 2,800 metros sobre el nivel del mar, y está formada por capas de fragmentos que son predominantemente sub-redondeados, incluyendo areniscas, cuarcitas, calizas, lutitas y rocas volcánicas, todos ellos intercalados en una matriz de arcilla de tonalidad rojiza. Estos estratos exhiben una dirección y una inclinación promedio de S10°E /30°SW.
- b) **GRUPO PUCARA.** Desde los 3,450 metros sobre el nivel del mar hasta la cima del cerro Hatun Orco, se encuentran afloramientos de calizas pertenecientes al grupo Pucará. Dichos estratos presentan una dirección y un ángulo de inclinación promedio de N20°E / 27°NW. A nivel local, se estima que el grosor de las capas de caliza alcanza hasta 500 metros, lo que representa un objetivo significativo para la exploración de metales básicos, especialmente en las cercanías del contacto con el conglomerado y el stock monzonítico.
- c) **ROCAS INTRUSIVAS.** Entre las rocas que se consideran intrusivas,

destacan las siguientes unidades:

- **Complejo Querobamba.** En la base, cerca del nivel del río Mishca a 2,400 metros sobre el nivel del mar, se presentan las rocas del complejo granítico Querobamba, que consisten en extensas afloraciones de granito donde se pueden observar numerosos trabajos antiguos y cateos que siguen vetas de cuarzo blanco y limonitas con estructuras que tienen una dirección promedio de N32°W.
- **Stock Cuarzo Monzonítico.** Se trata de un stock de cuarzo-monzonítico que afloran en el cerro Monteruyoc, próximo al contacto entre caliza y conglomerado. Se cree que este intrusivo fue responsable de transportar las soluciones mineralizantes y de generar los efectos de alteración hidrotermal en las rocas circundantes.

Figura 13

Columna estratigráfica de la Unidad Minera Catalina Huanca

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD	GROSOR (m)	COLUMNA
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	DEP. ALUVIAL		
			DEP. COLUVIAL		
		PLEISTOCENO	DEP. FLUVIOGLACIAR		
			DEP. MORRENICO		
MESOZOICO	JURASICO	SUPERIOR	GRO. YURA	>750	
PALEOZOICO	PERMICO	SUPERIOR	GPO. MITU	>800	

Nota: La figura muestra las principales unidades litoestratigráficas desde el Paleozoico hasta el Cenozoico, incluyendo el Grupo Mitu, Grupo Yura y depósitos cuaternarios. Adaptado de Pillaca (2017).

2.3.6. GEOLOGÍA ECONÓMICA

La presencia de la falla principal y la falla chumbilla, controlan la mineralización en vetas y mantos, las cuales se presentan en la unidad.

2.3.6.1. Génesis

Sosa (2016) menciona que la “génesis es de origen hidrotermal, la mineralización adopta la forma de cajas dispersas, relleno intersticial y relleno de fracturas. En términos genéticos, se trata de un yacimiento mesotérmico que se produce a temperaturas entre 200 y 300 grados Celsius bajo presión” (P.18).

2.3.6.2. Mineralización

Sosa (2016) menciona que la “Fluorita (F₂Ca), calcita (CCbCa), rodocrosita (CCbMn), pirita (S₂Fe), hematita (Fe₂<C₃), cuarzo (SiCte) y los minerales de gran valor económico galena (SPb), argentita (S_{Ag}2), esfalerita (SZn) y calcopirita (S₂FeCu) conforman el conjunto mineralógico” (P.18).

2.3.6.3. Zoneamiento

En la zona de la Unidad Minera Catalina Huanca, se observa como esta distribuida los minerales. Cerca de la superficie se encuentran plomo, plata y zinc las cuales son los más comunes. Al descender, se encuentra valores de cobre y oro.

2.3.6.4. Estructuras Mineralizadas

De acuerdo con Sosa (2016), en la Unidad Minera Catalina Huanca se reconocen las siguientes estructuras mineralizadas:

- a) **VETA PRINCIPAL.** Con 600 metros de longitud y entre 0,40 y 4,50 metros de espesor, es la mayor de las estructuras vetiformes. Geométricamente, es una estructura tabular y homogénea. Está regida por la falla principal y tiene una orientación y una inclinación medias de N55°E/83°SE estructuralmente. En cuanto a minerales, incluye cuarzo, fluorita, galena y esfalerita.
- b) **VETA PIEDAD.** Se identifica como una ramificación de 350 metros de largo de la veta principal. Los espesores mineralizados oscilan entre 0,40 metros y 3,50 metros, y su rumbo y buzamiento medios son N45°E/75°SE. En cuanto a los minerales, incluye cuarzo, fluorita, pirita, galena y

esfalerita. El stock monzonítico contiene esta veta en su totalidad.

- c) **VETA ROCIO.** Esta veta se encuentra totalmente dentro del conglomerado del grupo Mitu y es una ramificación de la veta Piedad. Su espesor varía entre 0,30 m y 1,10 m, y su rumbo y buzamiento medios son N77°E/85°NW. En cuanto a minerales, incluye cuarzo, fluorita, pirita, galena y esfalerita.
- d) **VETA VILMA.** Esta veta no aflora en la superficie, sino que se encuentra totalmente contenida dentro del conglomerado del grupo Mitu. Su rumbo y buzamiento medios son N75°O/72°NO estructuralmente. Se ha identificado a lo largo de 400 metros, y la veta se encuentra con las calizas de Pucara al suroeste. Su espesor varía entre 0,40 y 2,50 metros. Entre sus componentes minerales se encuentran la galena, la esfalerita, la fluorita, la pirita, la hematita y el cuarzo. Lo que distingue a esta veta es su alto contenido de galena sobre esfalerita. Presenta un prominente patrón de ramificación cimóide a lo largo de su extensión, lo cual es muy significativo desde el punto de vista económico.
- e) **VETA LUCERO.** Esta veta, que mide más de 200 metros de largo y tiene la mejor exposición geomecánica en el nivel 3190, es una ramificación significativa de la veta principal. Los espesores mineralizados oscilan entre 0,40 y 1,60 metros, y su rumbo y buzamiento medios son N88°E/89°SE. Entre sus componentes minerales se encuentran la esfalerita, la galena, la calcopirita, la fluorita, la pirita, la hematita y el cuarzo.
- f) **MANTO AMANDA.** Su potencial geológico la convierte en una estructura importante. Se extiende por toda la zona minera a lo largo de unos 1000 metros y está situada donde la caliza del Grupo Pucara se encuentra con el conglomerado del Grupo Mitu. Se encuentra entre 50 y 70 metros por encima del plano de falla de Chumbilla en términos de espacio. Estas vetas, compuestas por horizontes de caliza tufácea mineralizada y caliza brechificada, tienen un espesor mineralizado de 4,0 a 6,0 metros. La dirección y el buzamiento medios de los mantos son N25°E/25°NO estructuralmente. La esfalerita, la galena, la calcopirita, la pirita, la rodocrosita y el cuarzo son los minerales que componen los mantos.

g) **CUERPO MELISSA.** Con mineralización principalmente de zinc, es una estructura mineralizada situada entre 2700 y 2800 metros sobre el nivel del mar. Se encuentra en arenisca con gran contenido de arcilla y un espesor que varía entre 3 y 40 metros cerca del contacto con el conglomerado.

2.3.7. CICLO DE MINADO U.M. CATALINA HUANCA EN FRENTE DE AVANCE.

El ciclo de minado en la Unidad Minera Catalina Huanca en frentes de avance es el siguiente.

Figura 14
Ciclo de minado en frentes de avance



Nota: La figura muestra el ciclo de minado en frentes de avance en la Unidad Minera Catalina Huanca, la cual inicia con la perforación, voladura, ventilación, limpieza, desate y sostenimiento.

2.3.7.1. Perforación

La perforación es el inicio de las operaciones unitarias y del cual depende el éxito de las demás operaciones unitarias. La finalidad de la perforación es realizar orificios donde se pueda alojar la carga explosiva a usarse en la voladura.

Actualmente en la Catalina Huanca la perforación es 100 % mecanizada contando con 3 jumbos electrohidráulicos de la marca Epiroc, dos de modelo Boomer S1D (1 brazo) y un Boomer S2 (2 brazos). Como estándar en frentes de sección 4.5 x 4.5 se realiza la perforación de 35 taladros cargados , 4 taladros de recorte y 6 taladros rimados (alivio), para tipos de roca II a III que son los tipos de roca más comunes en unidad minera catalina huanca.

Figura 15

Jumbo 06 (Boomer S2) Perforando CX 4040



Nota: La figura muestra al Jumbo S2/06 perforando en el CX 4040, lugar donde se realiza la presente investigación.

Figura 16

Jumbo Boomer S2 Epiroc



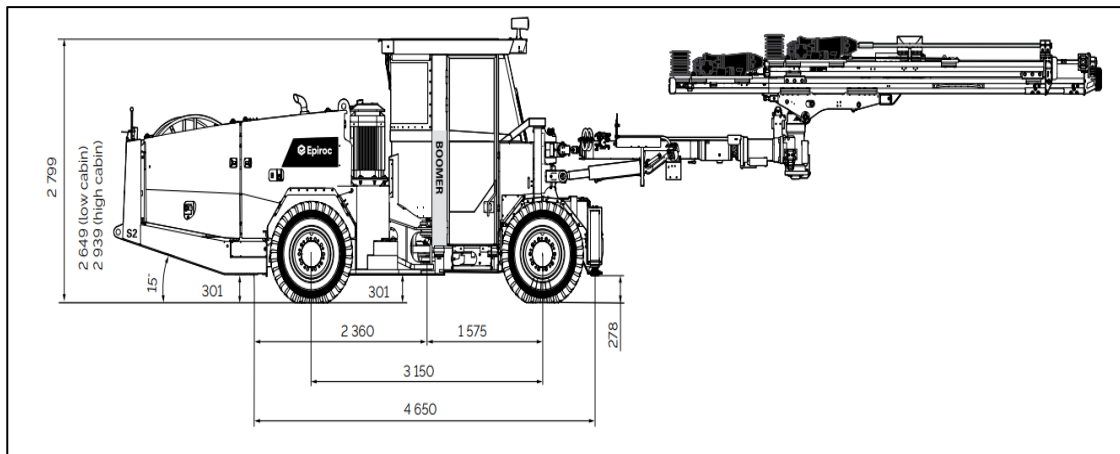
Nota: La figura muestra al Jumbo Boomer S2, tomado de Pagina Web Epiroc, 2025.

Especificaciones técnicas del Jumbo Boomer S2

✓ **Dimensiones**

Figura 17

Dimensiones Jumbo Boomer S2

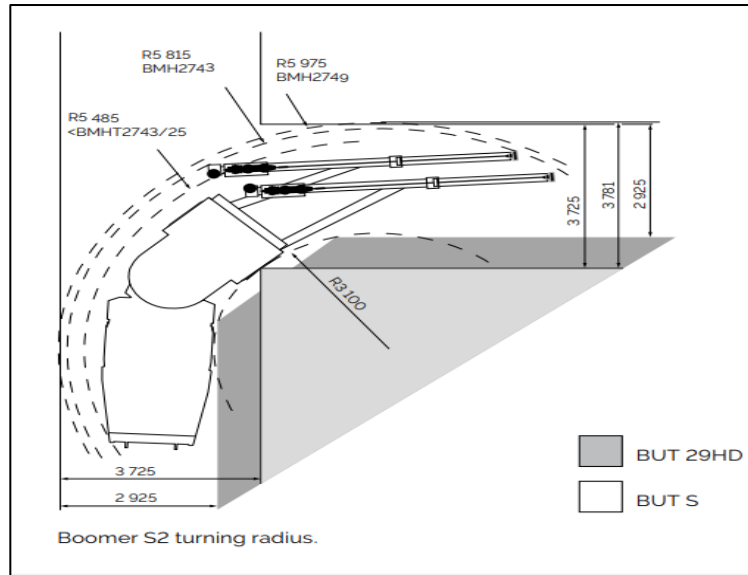


Nota: La figura muestra las dimensiones del Jumbo Boomer S2, tomado de Pagina Web Epiroc, 2025.

✓ **Radio de giro exterior/interior**

Figura 18

Radio de giro Exterior/Interior



Nota: La figura muestra el radio de giro exterior/interior del Jumbo Boomer S2, tomado de Pagina Web Epiroc, 2025.

✓ **Datos técnicos Boomer S2**

Tabla 4

Dimensiones Boomer S2

DIMENSIONES BOOMER S2	
Equipo	BOOMER S2
Longitud	13-14 m
Ancho	2 m
Altura de techo de prot.	2.2-2.9 m
Altura, cabina	2.8 m
Altura libre sobre el suelo	278 mm
Radio de giro exterior	5.815 m
Radio de giro interior	3.100 m

Nota: La tabla muestra las dimensiones del Jumbo Boomer S2, tomado de Pagina Web Epiroc, 2025.

Tabla 5
Rendimiento Boomer S2

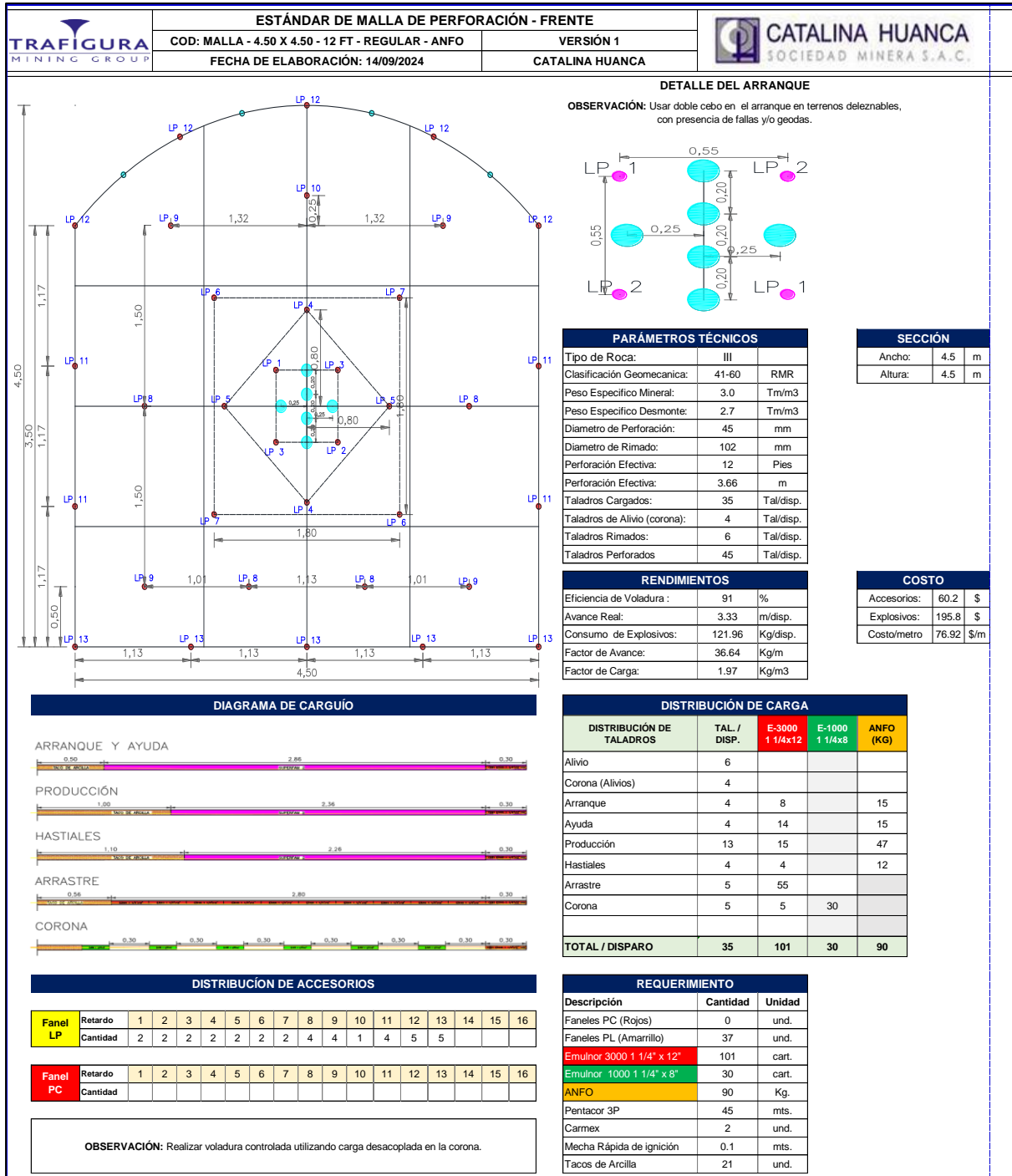
RENDIMIENTO BOOMER S2	
Equipo	BOOMER S2
Capacidad Máxima de aire	12,5 l/s a 9 bar
Capacidad Máxima de agua	15 bar 200l/m
Presión de entrada de agua	2 bar l/min
Martillo hidráulico	COP MD20
Capacidad de energía instalada	260-1000VAC
Voltaje	440VAC
Frecuencia	60Hz
Temperatura Ambiente	0°C a 40°C

Nota: La tabla muestra el rendimiento del Jumbo Boomer S2, tomado de Pagina Web Epiroc, 2025.

Malla de perforación

La malla de perforación estándar consta de 35 taladros cargados, 4 taladros de alivio en la corona y 6 rimados, con un total de 45 taladros.

Figura 19
Malla de perforación frente 4.5x4.5



Nota: La Figura muestra la malla de perforación estándar para una sección de 4.50 m X 4.50

m, tomado del Área de Operaciones Mina de Unidad Minera Catalina Huanca, 2024.

2.3.7.2. Voladura

El carguío y voladura de la perforación mecanizado se realiza después de cada perforación, para el respectivo carguío se emplea emulnor 1000,3000 y ANFO, como accesorios de voladura Fanel, cordón detonante, Carmex y mecha rápida.

Explosivos y agentes de voladura

Famesa, (2025), Menciona respecto a los explosivos y agentes de voladura que “Son aquellas sustancias químicas que por causas externas ya sea roce, calor, etc., producen gases liberando calor, presión o radiación”.

✓ **Emulsión**

Famesa, (2025), menciona “Es una emulsión explosiva recubierta de plástico con buena calidad de gas de detonación, potencia, resistencia al agua y características de seguridad.”.

Figura 20
Características técnicas Emulnor

Características Técnicas		EMULNOR® 500	EMULNOR® 1000	EMULNOR® 3000	EMULNOR® 5000
DENSIDAD RELATIVA (g/cm³)		0,90	1,13	1,14	1,16
VELOCIDAD DE DETONACIÓN (m/s)	CONFINADO *	4 400	5 800	5 700	5 500
	S/CONFINAR **	3 500	4 500	4 400	4 200
PRESIÓN DE DETONACIÓN (kbar)		44	95	93	88
ENERGÍA (kcal/kg)		628	785	920	1010
VOLUMEN NORMAL DE GASES (L/kg)		952	920	880	870
POTENCIA RELATIVA EN PESO *** (%)		63	85	100	105
POTENCIA RELATIVA EN VOLUMEN *** (%)		75	120	145	155
SENSIBILIDAD AL DETONADOR		Nº 8	Nº 8	Nº 8	Nº 8
RESISTENCIA AL AGUA		Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
CATEGORÍA DE HUMOS		Primera	Primera	Primera	Primera

* Velocidad de detonación en tubo de 1 ½ pulgadas de diámetro.
 ** Velocidad de detonación como cartucho de 1 pulgada de diámetro.
 *** Potencias relativas referidas al ANFO con potencia convencional de 100.

Nota: La Figura muestra las características técnicas del Emulnor, entre estas características se tiene densidad relativa, velocidad de detonación, energía entre otros, tomado de Pagina Web Famesa, 2025.

Figura 21
Emulsión



Nota: La Figura muestra al emulnor, tomado de Pagina Web Famesa, 2025.

✓ **ANFO (SUPERFAM 2)**

Famesa, (2025), Menciona que “Un combustible líquido, un colorante y gránulos de nitrato de amonio de grado ANFO componen SUPERFAM DOS, un agente explosivo granular.”

Figura 22
Características técnicas

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:			
		UNIDAD	SUPERFAM DOS
Densidad aparente		g/cm ³	0,80 ± 0,05
Velocidad de detonación	Confinado en tubo de fierro de 2"	m/s	3 000 ± 300
	Confinado en tubo de fierro de 4"	m/s	4 000 ± 300
Energía teórica por peso		kcal/kg	932
Volumen normal de gases		l/kg	1056
Energía relativa	Por peso	%	100
	Por volumen	%	100
Presión de detonación		kbar	51
Resistencia al agua		---	Nula
Diámetro crítico		mm	38

Los valores expresados son resultados a condiciones normales (20°C y 1 atm).

Nota: La Figura muestra las características técnicas del ANFO, entre estas características se tiene densidad relativa, velocidad de detonación, energía entre otros, tomado de Pagina

Web Famesa, 2025.

Figura 23
ANFO SUPERFAM 2



Nota: La Figura muestra al ANFO (Superfam 2), tomado de Pagina Web Famesa, 2025.

Accesorios de voladura.

Dispositivos requeridos para la iniciación del explosivo.

✓ **Cordón detonante**

Famesa, (2025), menciona que “Es un cordón cilíndrico y flexible, cuyo núcleo central contiene pentrita (5 g/m), cubierto de tejidos, materiales a prueba de agua, y plástico que le dan protección. Su velocidad de detonación es de 7000 m/s”.

Figura 24
Especificaciones técnicas cordón detonante

Características Técnicas		3 P	3 PE	5 P	5 PE	8 P	8 PE	10 P	10 PE
PESO DE CARGA	(g/m)	4	4	5	6	8	8	10	10
	(granos/pie)	19	19	24	28	38	38	47	47
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	(kg)	60	70	60	70	60	70	60	70
	(lb)	132	154	132	154	132	154	132	154
VELOCIDAD DE DETONACIÓN	(m/s)	6 800	6 800	7 000	7 000	7 000	7 000	7 000	7 000
	(pie/s)	22 309	22 309	22 965	22 965	22 965	22 965	22 965	22 965

Nota: La Figura muestra las características técnicas del cordón detonante, entre estas

características se tiene peso de carga, resistencia a la tracción y velocidad de detonación, tomado de Pagina Web Famesa, 2025.

Figura 25
Cordón detonante



Nota: La Figura muestra el cordón detonante, tomado de Pagina Web Famesa, 2025.

✓ **Mecha rápida:**

Según Famesa (2025) esta “Produce una llama incandescente durante su combustión con la suficiente temperatura para activar la masa pirotécnica del Conector para mecha rápida, lo que asegura el eficiente encendido de la mecha de seguridad”.

Figura 26
Características Técnicas Mecha Rápida

	UNIDAD	MECHA RÁPIDA Z-18
Color de la Mecha Rápida	---	Rojo
Material de la cobertura exterior	---	Plástico
Tiempo de combustión a.n.m.	s/m	35 ± 5
Diámetro externo	mm	2 ± 0,3
Peso total	g/m	Min. 6,0
a.n.m. = a nivel del mar		
Los valores expresados son resultados a condiciones normales (20°C y 1 atm).		

Nota: La Figura muestra las características técnicas de la mecha rápida, entre estas características se tiene color de la mecha rápida, material de la cobertura exterior, tiempo de combustión, diámetro externo y peso total, tomado de Pagina Web Famesa, 2025.

Figura 27
Mecha Rápida



Nota: La Figura muestra la mecha rápida, tomado de Pagina Web Famesa, 2025.

✓ **Mecha lenta armada (Carmex de 8 ft)**

Se utiliza para iniciar los taladros en la minería tradicional o para iniciar la voladura de manera segura y eficiente. Es ensamblado por personal especializado, mediante el uso de máquinas fijadoras neumáticas, garantizando con ello la hermeticidad del Fulminante – Mecha de Seguridad – Conector. (Famesa, 2025)

Figura 28
Características técnicas Carmex

• DEL FULMINANTE COMÚN		
	UNIDAD	CARMEX
Diámetro del Fulminante	mm	6,3
Longitud del Fulminante	mm	45
Prueba de esopo, diámetro de perforación	mm	Min. 9,0
Volumen trauzl	cm ³	Min. 23
Resistencia al impacto 2kg/1m	---	No detona
• DE LA MECHA DE SEGURIDAD		
	UNIDAD	CARMEX
Color de recubrimiento plástico	---	Verde
Núcleo de pólvora	g/m	6,1 ± 0,7
Tiempo de combustión a.n.m.	s/m	160 ± 10
Diámetro externo	mm	5,2 ± 0,2
a.n.m.= a nivel del mar		

• DEL CONECTOR		
	UNIDAD	CARMEX
Diámetro del Conector	mm	6,3
Longitud del Conector	mm	45
Ancho de la ranura	mm	2,3 ± 0,3
Carga de material pirotécnico	g	0,5 ± 0,1
Altura de carga	mm	11,0 ± 3,0
• DEL BLOCK DE SUJECIÓN		
	UNIDAD	CARMEX
Diámetro del block de sujeción	mm	10 ± 0,3
Longitud total	mm	14 ± 0,2
Color del block de sujeción	---	Anaranjado
Material	---	Plástico
Los valores expresados son resultados a condiciones normales (20°C y 1 atm).		

Nota: La Figura muestra las características técnicas del carmex, entre estas características se tiene diámetro, longitud entre otros, tomado de Pagina Web Famesa, 2025.

Figura 29
Mecha lenta armada



Nota: La Figura muestra el carmex, tomado de Pagina Web Famesa, 2025.

✓ **Detonador no eléctrico (Fanel)**

Famesa (2025), afirma que el Fanel “Es un sistema eficaz de iniciación, que ofrece los beneficios de sincronización sin riesgo, eliminando posibilidad de conexiones erróneas”.

Figura 30
Características técnicas Fanel

• DEL FULMINANTE DE RETARDO			
		UNIDAD	FANEL
Diámetro		mm	7,3
Longitud		mm	60 / 68 / 88 / 92
Prueba de esopo, diámetro de perforación		mm	Min. 11,0
Volumen trauzl		cm ³	Min. 34,0
Resistencia al impacto 2kg/1m		---	No detona
• DE LA MANGUERA FANEL			
		UNIDAD	FANEL
Material		---	Termoplástico flexible y de gran resistencia mecánica
Diámetro		mm	3,3 ± 0,2
Longitud		m	Variable
Color	Periodo corto	---	Rojo o Naranja
	Periodo largo	---	Amarillo
Velocidad de onda		m/s	2 000 ± 200
• DE LA ETIQUETA			
		UNIDAD	FANEL
Material		---	Plástico
Color de letra		---	Negro
Color de fondo		---	Blanco
• DEL CONECTADOR PLÁSTICO TIPO "J"			
			FANEL LSEF
Material		---	Plástico
Color	Periodo corto	---	Rojo
	Periodo largo	---	Azul
Los valores expresados son resultados a condiciones normales (20°C y 1 atm).			

Nota: La Figura muestra las características técnicas del detonador no eléctrico, entre estas características se tiene diámetro, longitud entre otros, tomado de Pagina Web Famesa, 2025.

Figura 31
Fanel



Nota: La Figura muestra el detonador no eléctrico (Fanel), tomado de Pagina Web Famesa, 2025.

2.3.7.3. Ventilación

Los ventiladores inyectores y/o extractores de aire viciado se utilizan para la ventilación artificial después de la voladura, colocando los ventiladores en las entradas de la mina para aspirar aire fresco. Dependiendo de las necesidades, estos ventiladores pueden tener diferentes capacidades, hasta 30 000 CFM. Los frentes están equipados con mangueras de 24, 30, 32 y 36 pulgadas de largo y emplean un sistema de impulsor. Después de la voladura, habrá al menos 30 minutos de ventilación en los frentes.

Figura 32
Ventilación TJ 2690



Nota: La figura muestra el ventilador V 40-27 de 40,000 cfm ubicado del TJ 2690.

2.3.7.4. Regado

El regado se realiza con mangueras de 1", esto con la finalidad de disminuir la polución al momento de realizar el carguío, poder visualizar si hay tiros cortados y para poder visualizar y realizar un adecuado desatado de la corona y hastiales.

Figura 33
Regado de la carga



Nota: La figura muestra el regado de carga del CX 4050.

2.3.7.5. Limpieza

La limpieza del mineral roto se extrae de los frentes con los equipos Scoop de 6 yd³, 7 yd³ y 9 yd³, estos recorren una distancia económica hasta las cámaras de acumulación.

Figura 34

Scoop R1600H 6 yd³



Nota: La figura muestra al Scoop R1600H 6 yd³, tomado de Pagina Web de CATerpillar, 2025.

2.3.7.6. Desate

Desate Mecanizado

Desate de rocas sueltas realizados con equipos mecanizados conocidos como Scaler.

Figura 35
Desate mecanizado



Nota: La figura muestra al Scaler realizando desate mecanizado en el CX 4050.

Desate Convencional

Hace referencia al desate de rocas sueltas realizado de forma manual con la ayuda de barretillas de 6,8,10 y 12 pies.

Figura 36
Juego de barretillas



Nota: La figura muestra el juego de barretillas de la RP 522.

2.3.7.7. Sostenimiento

Los Cuerpos en la unidad minera Catalina Huanca, poseen diversas competencias de acuerdo con la clasificación GSI, por lo que se definen varios tipos de sostenimiento.

Figura 37
Tabla Geomecánica

CATALINA HUANCA SOCIEDAD MINERA SAC		CARTILLA GEOMECÁNICA DE SOSTENIMIENTO SEGÚN G.S.I				
A. LABORES MINERAS TEMPORALES SECCIÓN 3.5m a 6.0m PERNO PUNTALES DE 7' FRICCIÓN O COMPRESIÓN (E: 1.5 x 1.5 m - rómbica) TIEMPO DE AUTOSOORTE: 1 MES MALLA ELECTROSOLDADA + PERNO SISTEMÁTICO DE 7' FRICCIÓN O COMPRESIÓN (E: 1.5 x 1.5 m - rómbica) TIEMPO DE AUTOSOORTE: 1 MES MALLA ELECTROSOLDADA + P. SISTEMÁTICO DE 7' FRICCIÓN O COMPRESIÓN (E: 1.5 x 1.5 m - rómbica) TIEMPO DE AUTOSOORTE: 7 DÍAS SHOT (e=2") + MALLA ELECTROSOLDADA + P.SIST. DE 7' DE COMPRESIÓN O FRICCIÓN (E: 1.5 x 1.5 m - rómbica) TIEMPO DE AUTOSOORTE: 2 DÍAS SHOT (e=2") + MALLA + P. SISTEMÁTICO DE COMPRESIÓN DE 7' (E: 1.5 x 1.5 m - rómbica) + SHOT (e=1") SOBRE MALLA. TIEMPO DE AUTOSOORTE: 12 HORAS ARCO NORUEGO o SHOT (e=2") + MALLA + P. SIST. DE COMPR DE 7' (E: 1.5 x 1.5 m - rómbica) + SHOT (e=2") SOBRE MALLA. TIEMPO DE AUTOSOORTE: SOSTENIMIENTO INMEDIATO		CONDICIONES SUPERFICIALES	BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA) SUPERFICIE DE LAS DIS CONTINUIDADES MUY RUGOSAS E INALTERADAS, CERRADAS. (Rc 100 A 250 Mpa) (SE ROMPE CON TRES O MAS GOLPES DE BARRETILLA)	REGULAR (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES RUGOSAS, LEVEMENTE ALTERADA, MANCHAS DE OXIDACION, LIGERAMENTE ABIERTA (Rc 50 A 100 Mpa) (SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE BARRETILLA)	POBRE (MODERADA RESISTENTE, LEVE A MODERADAMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES LISAS, MODERADAMENTE ALTERADA, LIGERAMENTE ABIERTAS (Rc 25 A 50 Mpa) (SE INDENTA SUPERFICIALMENTE CON GOLPE DE BARRETILLA)	MUY POBRE (BLANDA, MUY ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA O CON ESTRIACIONES, MUY ALTERADA, RELLENO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA (Rc 5 A 25 Mpa) (SE INDENTA MAS DE 5 mm. O DISREGGA CON GOLPE DE BARRETILLA)
B. LABORES MINERAS PERMANENTES SECCIÓN 4.0m a 5.5m PERNO PUNTALES DE 7' FRICCIÓN O COMPRESIÓN (E: 1.5 x 1.5 m - rómbica) TIEMPO DE AUTOSOORTE: 1 MES MALLA ELECTROSOLDADA + PERNO SISTEMÁTICO DE 7' FRICCIÓN O COMPRESIÓN (E: 1.5 x 1.5 m - rómbica) TIEMPO DE AUTOSOORTE: 1 MES SHOT (e=2") + MALLA ELECTROSOLDADA + P.SIST. DE 7' COMPRESIÓN (E: 1.5 x 1.5 m - rómbica) TIEMPO DE AUTOSOORTE: 7 DÍAS SHOT (e=2") + MALLA + P. SIST. DE COMPRESIÓN DE 7' (E: 1.5 x 1.5 m - rómbica) + SHOT (e=1") SOBRE MALLA. TIEMPO DE AUTOSOORTE: 2 DÍAS ARCO NORUEGO o SHOT (e=2") + MALLA + P. SIST. DE COMPR DE 7' (E: 1.5 x 1.5 m - rómbica) + SHOT (e=2") SOBRE MALLA. TIEMPO DE AUTOSOORTE: SOSTENIMIENTO INMEDIATO SHOT (e=2") PREVENTIVO + P. COMPRESIÓN DE 7' + CIMBRAS METÁLICAS H6 (E: 0.8 a 1.5m) TIEMPO DE AUTOSOORTE: SOSTENIMIENTO INMEDIATO			CONDICIONES ESTRUCTURALES	RMR	80	70
	LEVEMENTE FRACTURADA TRES A MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI. (RQD 75 - 90) (2 A 6 FRACT. POR METRO) (RQD = 115 - 3.3 Jn.)		—	LF/R	LF/P	—
	MODERADAMENTE FRACTURADA MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA, BLOQUES CUBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES. (RQD = 50 - 75) (6 A 12 FRACT. POR METRO)		F/B	F/R	F/P	F/MF
	MUY FRACTURADA. MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MAS SIST. DE DISCONTINUIDADES. (RQD = 25 - 50) (12 A 20 FRACT. POR METRO)		MF/B	MF/R	MF/P	MF/MF
	INTENSAMENTE FRACTURADA. PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO, CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES. (RQD = 0 - 25) (MAS DE 20 FRACT. POR METRO)	60	—	IF/R	IF/P	IF/MF
		RMR	40	30	20	0

Nota: La Figura muestra la cartilla geomecánica de sostenimiento según G.S.I., tomado del Área de Geomecánica de la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025.

La unidad minera catalina huanca abarca terrenos con tipo de roca tipo III A, III B, y IV . Para las cuales según la tabla geomecánica se debe realizar distintos tipos de sostenimiento dependiendo el tipo de roca.

Las cuales se describen a continuación:

Sostenimiento con Shotcrete:

✓ **Concreto lanzado – shotcrete.**

Según lo recomendado por Geomecánica, se realiza lanzado de hormigón proyectado con un espesor de 2" en los frentes de avance de la unidad minera Catalina Huanca como medida preventiva.

Las edades tempranas, que se estandarizaron dentro de los siguientes rangos mínimos: a las tres horas, 45 kg/cm², a las veinticuatro horas, 120 kg/cm², a los tres días, 210 kg/cm², a los siete días, 300 kg/cm², y a los veintiocho días, más de 380 kg/cm², se consideran resistentes.

✓ **Shotcrete vía húmeda más fibra.**

El Shotcrete Vía Húmeda es aquel que se expulsa a una gran velocidad mediante aire a presión a la superficie que se quiere revestir. Mezclas íntegramente confeccionadas en planta, listas para ser proyectadas en puntos de descarga.

Se aplica shotcrete ($f_c=240\text{kg/cm}^2$) con fibra de 1", 2" y 3" en labores temporales y shotcrete ($f_c=320\text{kg/cm}^2$) con fibra de 2", 3" y 4" en labores permanentes. Para su correcta colocación se deberá tomar en cuenta: el diseño de la mezcla, la limpieza de la excavación, la distancia de la tobera de 1.0 a 1.5 m la superficie de excavación y la presión de colocación entre 4 a 5 bares. La tobera deberá mantenerse en forma perpendicular a la superficie. Al finalizar el lanzado de shotcrete se coloca los calibradores que nos indican el espesor lanzado (2").

Sostenimiento con perno y malla

✓ **Sostenimiento con pernos de compresión Swellex más malla electrosoldada.**

El perno Swellex es un tubo de acero sellado plegado sobre sí mismo que, tras la instalación, se expande con agua a alta presión, ofreciendo un gran rendimiento e interacción con el macizo rocoso.

En la unidad minera catalina huanca se utiliza pernos de swellex de 7 pies para las labores de 4.5 m x4.5 m., esto según recomendación geomecánica.

✓ **Sostenimiento con pernos de Split sets más malla electrosoldada**

Unarec, (2025) menciona que “Los pernos Split set están constituidos por un tubo de acero, al instalarse ejercen una presión radial contra la roca, provee de manera inmediata refuerzo al macizo rocoso previniendo el movimiento o separación de los bloques a soportar”.

En la unidad minera catalina huanca se utiliza pernos split set de 7 pies para las labores de 4.5 m x4.5 m., esto según recomendación geomecánica.

2.3.8. MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN UNIDAD MINERA CATALINA HUANCA.

Los métodos de minado que se utilizan en Mina Catalina Huanca, son:

- ✓ Método de Corte y Relleno Ascendente Mecanizado en Vetas.
- ✓ Método de Corte y Relleno Ascendente Mecanizado con cámaras y pilares en cuerpos manteados.
- ✓ Método de Sublevel Stopping Mecanizado en vetas.
- ✓ Método de Sublevel Caving Mecanizado en cuerpos.

2.3.8.1. Método de Corte y Relleno Ascendente Mecanizado en Mantos y Vetas.

En este método de explotación se define la altura de los niveles principales que generalmente es 50 m, posteriormente se construye una rampa negativa (-15%) con una sección de 4.5 m x 4.5 m, al cortar la estructura se inicia la galería con una sección de 4,5 m x 4,5 m durante el desarrollo de la rampa se viene ejecutando también la infraestructura como: cámara de carguío para volquetes, poza de bombeo, cámara de acumulación, refugios peatonales, refugio para tableros eléctrico, subestación, y chimeneas.

Una vez concluida la galería, se continua con el relleno detrítico en retirada dejando una luz de 1 m respecto a la corona de la galería, concluido el relleno se inicia con otro corte en breasting, así sucesivamente hasta tener una rampa positiva de (+15%).

Condiciones de aplicación

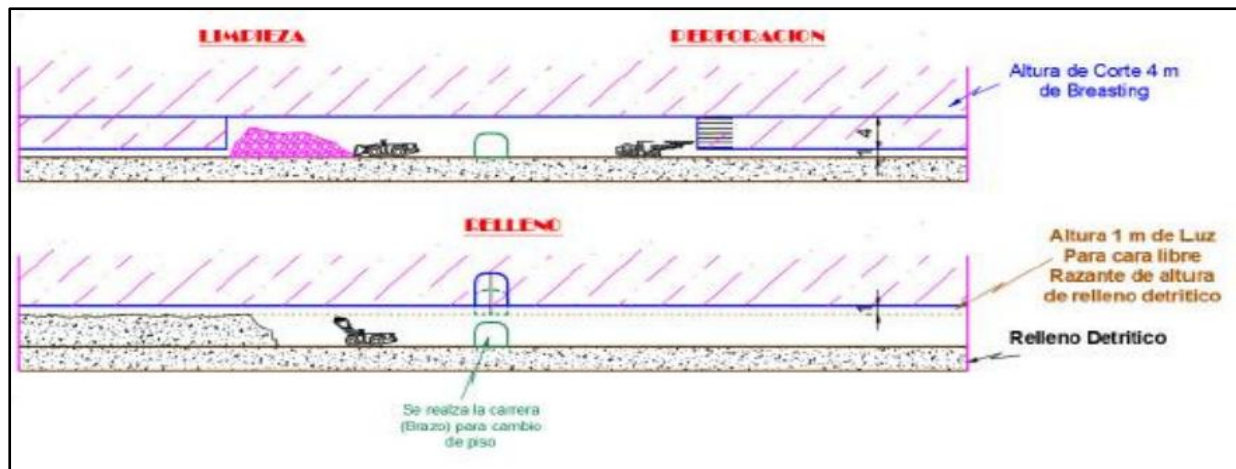
- Yacimiento tipo filoniano.
- Yacimientos con buzamiento pronunciado $>65^\circ$.
- Cajas medianamente competentes.
- El mineral debe ser de buenas leyes.
- Buena disponibilidad de relleno.

Equipos Utilizados

- Jumbo 1-2 brazo. (Perforación).
- Scoop 6-7-9 yd3 (Limpieza y carguío).
- Alpha-Bolter (Sostenimiento).
- Volquete 8x4 (Transporte).

Figura 38

Sección longitudinal del método corte y relleno ascendente con perforación en breasting.



Nota: La Figura muestra la sección longitudinal del método corte y relleno ascendente con perforación en breasting, tomado Tuncar, 2020.

2.3.8.2. Método de Corte y Relleno Ascendente Mecanizado con cámaras y pilares en cuerpos manteados.

Se emplea este método en cuerpos manteados que están formados dentro de las calizas, con dimensiones que van desde los 4.0 a 120.0 m, con cámaras de 6.0 x 4.0 m y pilares de 4.0 x 4.0 m, hasta cámaras de 8.00 x 5.00 y pilares de 5.00 x 5.00

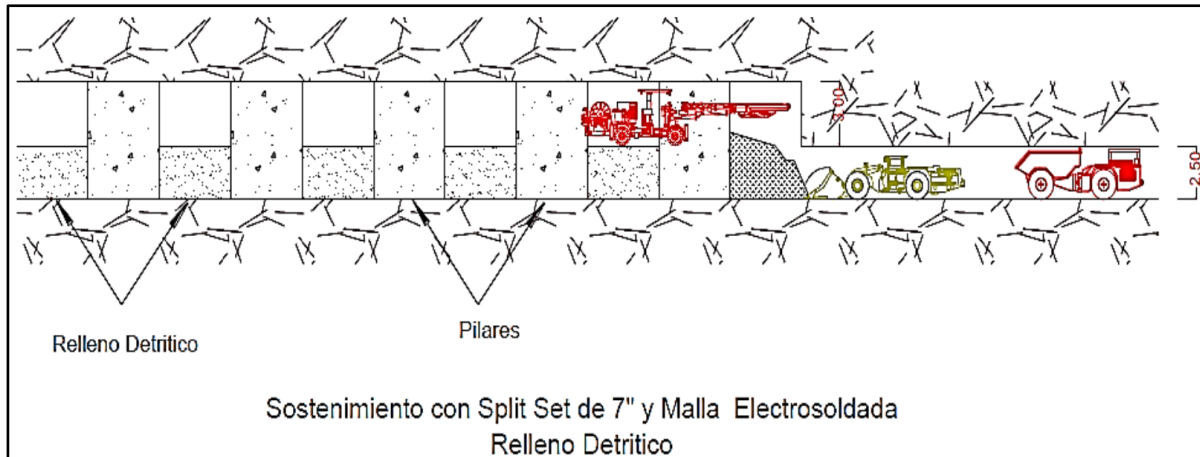
Condiciones de aplicación:

- Yacimientos tipo filoniano.
- Yacimientos con buzamiento pronunciado $> 65^\circ$.
- Cajas competentes.
- El mineral debe ser de buenas leyes.
- Buena disponibilidad de relleno.

Equipos Utilizados

- Jumbo 1-2 brazo. (Perforación).
- Scoop 6-7-9 yd³ (Limpieza y carguío).
- Alpha-Bolter (Sostenimiento).
- Volquete 8x4 (Transporte).

Figura 39
Sección longitudinal Camaras y Pilares



Nota: La Figura muestra la sección longitudinal del método cámaras y pilares, tomado Pillaca, 2017.

2.3.8.3. Método de Sublevel Stopping Mecanizado en vetas.

Este método es con taladros largos, se emplea ocasionalmente en vetas, cuando las cajas de la estructura se muestran competentes, ya sea en intrusivo o conglomerado, que tenga uniformidad en la vertical, con un buzamiento mayor a 65° y un ancho mayor a 1.50.

Consiste en delimitar el tajo con una longitud de 50 m., y luego preparar subniveles intermedios entre 02 niveles principales, como los niveles principales están separados en 50 m., estos subniveles lo estarán cada 15 m.; la sección de estos subniveles es de 4.00 x 4.00 m, que es la sección mínima que requiere el equipo de perforación. En el nivel base de extracción, se prepara un By Pass paraleló a la estructura con una separación de 10 m. y con una sección de 4.5 x 4.5 m, gradiente de 0.7%; luego se prepara cruceros o Drawpoints desde el By Pass hacia la veta, con sección de 4.00 x 4.00 y espaciados cada 10.00 m. entre sí.

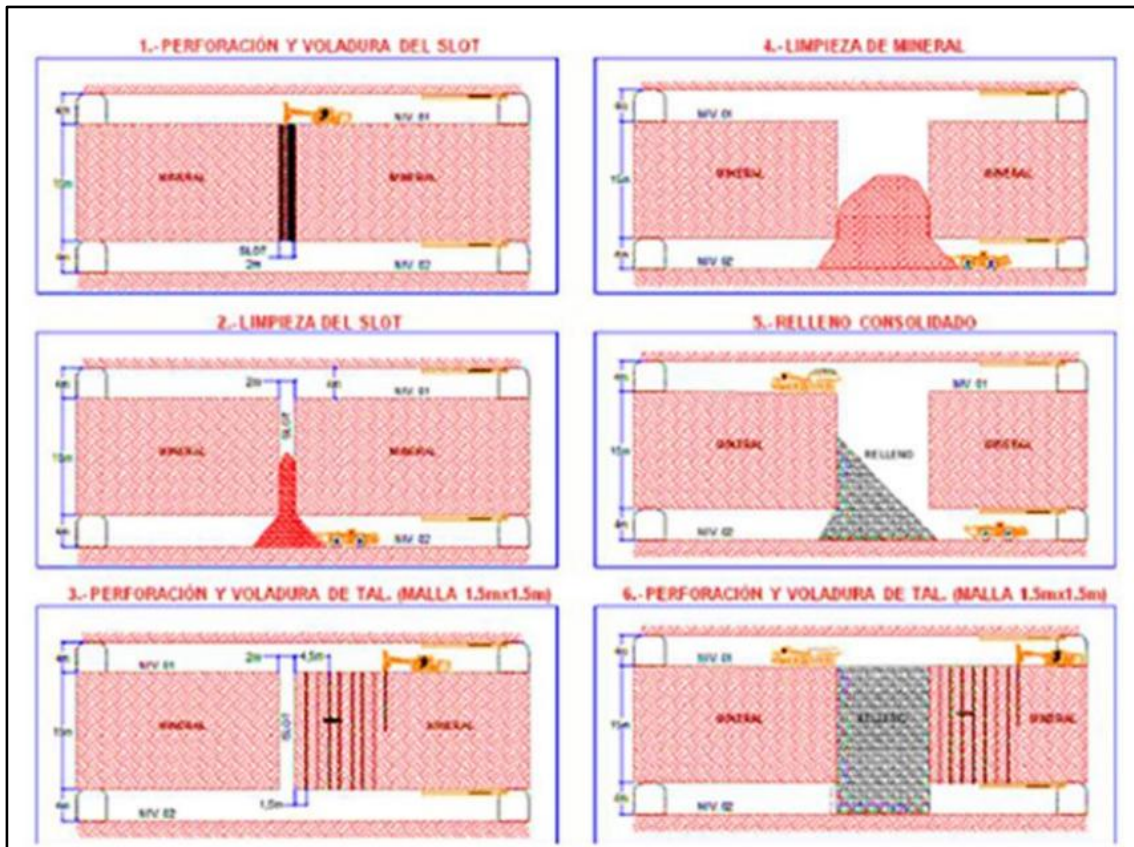
Condiciones de aplicación

- Yacimientos con buzamiento mayor a 50° .
- Buena resistencia del mineral.
- Cajas altas a medianamente competentes.
- El mineral debe tener forma tabular o lenticular.

Equipos Utilizados

- Simba. (Perforación).
- Scoop 6 yd3 (Limpieza y acarreo hacia los ores pass).
- Volquete 8x4 (Transporte).

Figura 40
Ciclo de minado taladros largos



Nota: La Figura muestra la sección longitudinal del ciclo de minado del método Sublevel Stopping Mecanizado en vetas, tomado Comun, 2018.

2.3.8.4. Método de Sublevel Caving Mecanizado en Cuerpos.

El método de explotación Sublevel caving (hundimiento por subniveles) se aplica principalmente en yacimientos de gran volumen y potencia, con cuerpos mineralizados de alta ley y buzamiento pronunciado. Se caracteriza por la fragmentación de la roca mediante voladura y la recuperación del mineral por gravedad, utilizando una serie de subniveles paralelos.

Se delimita el tajo con una longitud de 50 m., En el nivel inferior se prepara un By Pass paralelo a la estructura con una sección de 4.5 x 4.5 m, luego se prepara los cruceros en cada nivel, la sección será de 4.5 x 4.5 m espaciados cada 10 m. entre sí. La perforación se realiza en positivo desde los cruceros en retirada.

Condiciones de aplicación

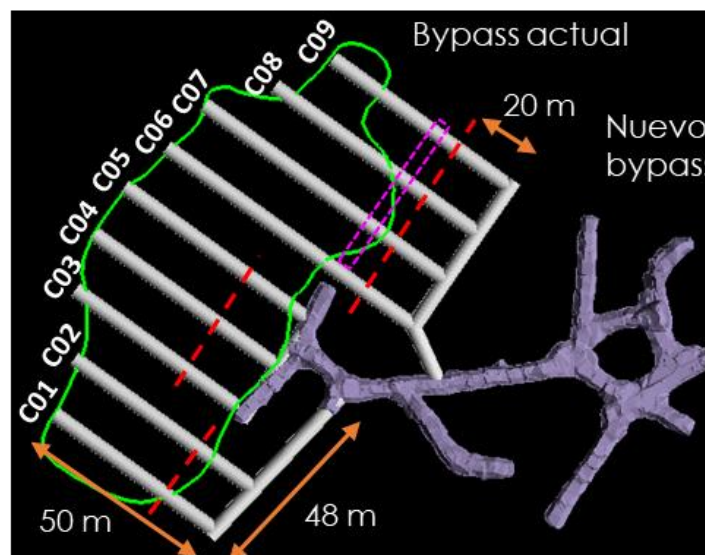
- Yacimientos con masivos y potentes
- Resistencia media del mineral.
- Se requiere un buen entendimiento de las propiedades mecánicas de la roca para diseñar la estrategia de hundimiento y controlar el flujo del mineral.
- El mineral debe tener forma regular o irregular.

Equipos Utilizados

- Simba. (Perforación).
- Scoop 6 yd3 (Limpieza y acarreo hacia los ore pass).
- Volquete 8x4 (Transporte).

Figura 41

Isométrico Preparación Sublevel Caving.



Nota: La Figura muestra el isométrico del laboreo del método de explotación Sublevel caving.

2.4. DEFINICIÓN DE TERMINOS

2.4.1. Metodología Lean Six Sigma

Lean Six Sigma es un enfoque que se dedica a optimizar procedimientos con el objetivo de elevar la eficiencia y la rentabilidad. Su fundamento proviene del método Six Sigma, el cual tiene como meta disminuir la variabilidad en los procesos utilizando métodos estadísticos y siempre poniendo en primer lugar las necesidades del consumidor. De acuerdo con esta perspectiva, cada procedimiento debe alinearse con lo que el cliente exige; de no ser así, se considera un defecto que requiere rectificación.

2.4.2. Modelo DMAIC

El modelo DMAIC es un sistema organizado para la mejora constante, fundamental en Six Sigma, que representa las etapas de definición, medición, análisis, mejora y control.

2.4.3. Perforación

La perforación de rocas constituye un procedimiento fundamental en sectores como la minería, la construcción y la ingeniería, ya que permite crear aberturas cilíndricas en formaciones geológicas. Se emplean técnicas como la percusión, rotación o el uso de diamantes para insertar explosivos, tomar muestras o formar túneles, lo cual es vital para la recuperación de recursos y el progreso de infraestructuras. Este proceso demanda maquinaria especializada y una planificación adecuada para enfrentar la resistencia de las rocas y conseguir la fragmentación deseada.

2.4.4. Sobrerotura

La sobrerotura en los frentes de las minas subterráneas ocurre cuando se excava más allá del área prevista, debido a errores en el diseño de perforación, uso de demasiada carga explosiva o un tipo de roca muy malo. Esto lleva a un aumento en los costos de sostenimiento, como pernos y shotcrete, junto con el uso excesivo de explosivos.

2.4.5. Malla de perforación

Es el patrón o disposición de los taladros que se perforan en una mina para

la voladura. La malla de perforación incluye la ubicación, espaciamiento y el ángulo de los taladros.

2.4.6. Voladura

La voladura o también conocida en algunos lugares de Sudamérica como tronadura o barreno en Europa, es una operación donde se utilizan los explosivos para la trituración o fragmentar el macizo rocoso, piedra natural, terrenos duros u materiales sólidos, incluido el concreto, utilizando materiales explosivos. La voladura puede ser superficial y subterráneas.

2.4.7. Voladura Controlada

La voladura controlada en el sector minero es un método específico que implica el uso de explosivos en perforaciones muy próximas y cargadas con exactitud para romper la roca, generando un perfil de excavación uniforme y predecible, reduciendo el impacto en la roca adyacente (sobrerotura) y disminuyendo gastos, a través de un manejo cuidadoso del plan, la perforación y la voladura para aumentar la seguridad y la eficacia en trabajos tanto bajo tierra como en la superficie.

2.4.8. ANFO

Es un explosivo industrial a granel comúnmente utilizado en minería y construcción. Sus siglas significan "Amonium Nitrate Fuel Oil" (Nitrato de Amonio/Fuel Oil). En el Perú, ANFO es una mezcla de nitrato de amonio poroso y combustible, generalmente petróleo diésel, y se utiliza ampliamente en voladuras en minería a cielo abierto y subterránea, así como en obras civiles.

CAPÍTULO III

MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. MARCO METODOLÓGICO

3.1.1. Tipo de investigación

Se conoce como investigación aplicada, ya que requiere objetivos prácticos inmediatos claramente definidos. En otras palabras, la investigación se lleva a cabo para actuar, transformar, modificar o generar cambios en un área concreta de la realidad. (Díaz,2005, p. 43)

3.1.2. Nivel de investigación

Nivel Explicativa, Hernández (2006), define que la investigación se centra en identificar las causas que subyacen a un fenómeno y proporciona datos claros y coherentes sobre cómo y por qué ocurren ciertos resultados.

La investigación es de nivel explicativo, ya que busca determinar la efectividad de la implementación de la metodología Lean Six Sigma en la mejora del proceso de perforación y voladura, analizando los resultados obtenidos antes y después de su aplicación.

3.1.3. Diseño de la investigación

Diseño Cuasiexperimental, dado que los grupos de trabajo ya están establecidos, es decir, existen antes del experimento, los diseños cuasi-experimentales no asignan aleatoriamente a las personas a los grupos de control y experimentales ni los emparejan. (Díaz,2005, p. 71)

3.2. HIPÓTESIS

3.2.1. Hipótesis general

La implementación de la metodología Lean Six Sigma, mejorará significativamente el proceso de perforación y voladura del CX 4040 en la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025.

3.2.2. Hipótesis específicas

- La implementación de la metodología Lean Six Sigma, mejorará significativamente el avance por disparo del CX 4040 en la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025.
- La implementación de la metodología Lean Six Sigma, reducirá notablemente la sobre rotura en el frente de avance del CX 4040 en la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025.
- La implementación de la metodología Lean Six Sigma, reducirá significativamente el costo de perforación y voladura en el frente de avance del CX 4040 en la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025.

3.3. VARIABLES E INDICADORES

3.3.1. Operacionalización de variables

Parella y Martins definen, “El proceso de identificar los indicadores que definen las variables de un estudio con el fin de que sean fáciles y precisas de observar y medir se conoce como operacionalización de variables.”

Tabla 6
Operacionalización de variables

Variables	Definición	Dimensiones	Indicadores
Variable Independiente: Metodología Lean Six Sigma.	Metodología enfocada en mejorar los procesos para aumentar su rentabilidad y productividad.	Definir	% Delimitación de área de estudio
			% de participantes clave identificados
			% de stakeholders identificados y analizados
			% de cumplimiento del diagrama SIPOC del proceso
			% de problemas del proceso claramente identificados
		Medir	Metro de avance por disparo (m)
			Porcentaje de sobrerotura (%)
		Analizar	Capacidad del proceso (Cp, Cpk)
			Numero de causas identificadas
			Valor F y p-valor del ANOVA
		Mejorar	Coeficiente R-sq del modelo de regresión
			Incremento de metro de avance por disparo
			Reducción de sobrerotura (%)

			(%) Capacidad del proceso - fuera de especificación – Metros de avance por disparo
			(%) Capacidad del proceso - fuera de especificación – Metros de avance por disparo
		Controlar	(%) Cumplimiento del estándar del metro de avance por disparo
			(%) Cumplimiento del estándar máximo de sobrerrotura
			Metro de avance (m)
		Metros de avance/disparo	Eficiencia de voladura (%)
			Factor de carga lineal real Vs Programado (Kg/m)
			Porcentaje de sobrerrotura (%)
		Sobrerrotura frentes de avance	Costo de materiales de sostenimiento Real Vs Programado (\$)
			Costo de shotcrete Real Vs Programado (\$)
		Costos de perforación y voladura	Costo de perforación y voladura Real Vs Programado (\$)
Variable Dependiente: Proceso de perforación y voladura.	Pilar fundamental de las operaciones mineras, desempeñando un papel vital en la extracción de minerales.		

Nota: La tabla muestra la operacionalización de variables, donde se muestran el tipo de variables, dimensión e indicadores.

3.3.3.1. Variable independiente

Metodología Lean Six Sigma.

Indicadores: En la tabla 6 se muestra la operacionalización de variables, donde se muestra los indicadores de esta variable, que está compuesta por el modelo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), este fundamental seguir los pasos del modelo DMAIC. para mejorar el proceso de perforación y voladura.

3.3.3.2. Variable dependiente

Proceso de perforación y voladura.

Indicadores: La medición del proceso de perforación y voladura es a través de los metros de avance por disparo, la sobrerrotura en los frentes de avance y el costo de perforación y voladura. Estos indicadores muestran la efectividad de implementar la metodología Lean Six Sigma en el proceso de perforación y voladura.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se tienen los siguientes:

- Seguimiento en campo.
- Observación directa.
- Búsqueda de información
- Entrevistas

3.5. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Se tienen los siguientes:

- Estadística Básica
- Diagrama de Ishikawa
- Diagrama de Pareto
- Análisis de Varianza – ANOVA
- Análisis FMEA/AFME
- Análisis de Regresión

3.6. POBLACIÓN

Carrasco Díaz, define a la población como el conjunto de todos los elementos (unidad de análisis) que pertenecen al ámbito espacial donde se desarrollara el trabajo de investigación. (p. 237)

La investigación considera como población al **Total de labores horizontales ejecutados por la Unidad Minera Catalina Huanca durante el año 2024.**

3.7. MUESTRA

Carrasco Díaz, define a la muestra como una porción representativa o subconjunto de la población, con las cualidades fundamentales de objetividad y representación veraz, lo que permite extrapolar los resultados de la muestra a todos los componentes de la población. (p. 237)

Carrasco Díaz, comenta que las muestras no probabilísticas, son aquellas que no todos los elementos de la población tienen la probabilidad de ser elegidos para formar parte de la muestra, por ello no son representativos, a la vez menciona que las muestras no probabilísticas intencionadas, es aquella donde el investigador

selecciona según su propio criterio, sin ninguna regla matemática o estadística.
(p.243)

La muestra es no probabilística intención debido a que se consideró los **Disparos realizados del CX 4040 en la Unidad Minera Catalina Huanca durante el mes de Julio-noviembre del 2024.**

3.8. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA LEAN SIX SIGMA- MODELO DMAIC

3.8.1. Etapa Definir.

La etapa de definición de la metodología DMAIC es el primer paso en el que se establecen las necesidades del proveedor y del cliente y se diagnostica el proceso. Abarca los siguientes puntos:

3.8.1.1. Información general de la empresa

El presente caso estudio abarca a una empresa peruana que tiene como actividad principal la exploración y explotación de denuncios mineros, principalmente, de plomo, zinc y cobre.

Tras constituirse el 21 de julio de 2004, la empresa comenzó a generar ingresos en abril de 2005. Las concesiones en las que opera la empresa se encuentran en el distrito de Canarias, en la provincia de Víctor Fajardo, en la región de Ayacucho.

En la presente investigación, se analiza la deficiencia de los metros de avance por disparo, la sobrerotura y el costo de perforación y voladura del CX 4040 ejecutándose en Julio del 2024.

3.8.1.2. Definición del Problema

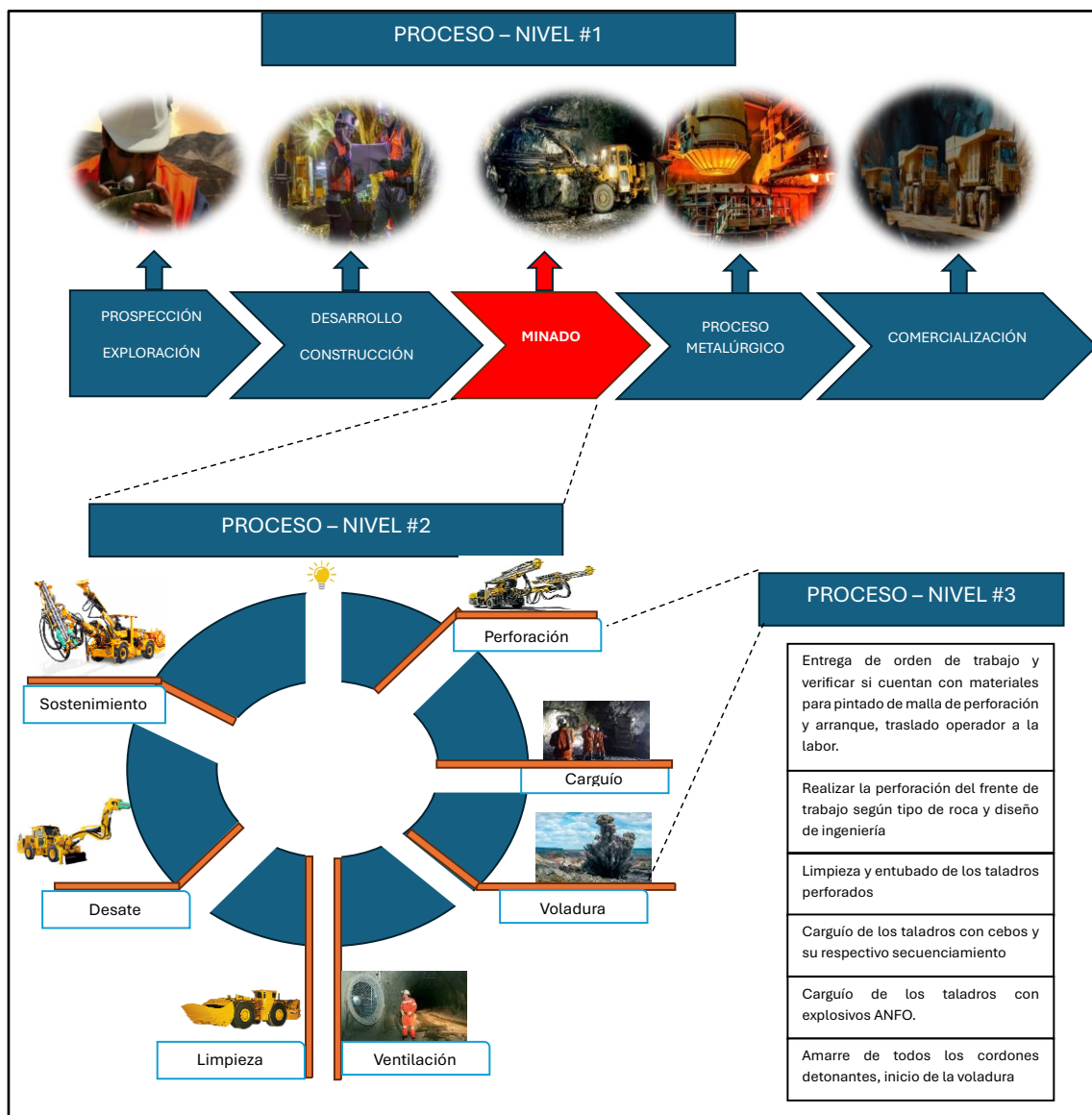
A partir de la revisión del control de factores diarios de la perforación y voladura del CX 4040, se ve una alta variabilidad en los metros de avance, la cual afecta a que no se cumplan con los metrajes mensuales trazados. Al igual que los metros de avance, la sobrerotura en los frentes de avance viene siendo mayor al budget ya sea mayor a 10% o 15%, estos afectan directamente a que los costos de operación sean mayores.

Para el mes de julio del 2024, la empresa ha sufrido pérdidas en costos de perforación y voladura de \$994.82, por la deficiencia en los metros de avance por disparo del CX 4040.

a) Delimitación del área de estudio.

Los niveles del proceso se desarrollaron a partir de un estudio a nivel macro hasta un nivel específico con el fin de determinar el alcance del proyecto de mejora utilizando la metodología Lean Six Sigma. A continuación, se detalla lo mencionado:

Figura 42
Delimitación del área de estudio.



Nota: La Figura muestra la delimitación del área de estudio, esta delimitación se realiza en base de procesos (Nivel 1,2 y 3) para entender mejor nuestro caso estudio.

- **Proceso Nivel 1:** Para definir el problema se parte del panorama global, la cadena de valor, para lo cual nuestro presente caso de estudio se enfoca en la etapa de Minado, en la que la empresa Catalina Huanca realiza actividades de desarrollo y preparación de frentes de avance.
- **Proceso Nivel 2:** Los principales factores que afectan a la variación en los indicadores de avance por disparo y sobrerotura del CX 4040 se encuentran en las actividades de perforación y voladura de la unidad, que son el objeto de este estudio a partir de la etapa de minería.
- **Proceso Nivel 3:** Existe una lista de tareas y/o actividades relacionadas con las operaciones de perforación y voladura que ayudarán a identificar la causa o los factores que más influyen en el problema. Estas consisten en pintar la malla inicial y perforar, limpiar, insertar cebos y explosivos ANFO a granel en los agujeros, conectar los cables detonantes e iniciar la voladura.

3.8.1.3. Justificación del problema

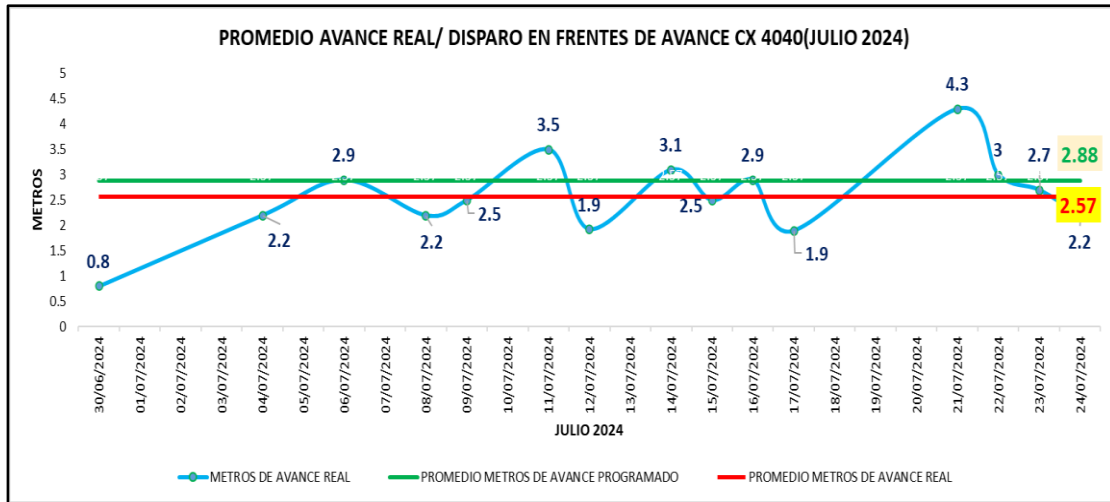
La deficiencia del proceso de perforación y voladura del CX 4040 se ve reflejado por 2 factores clave: Metros de avance por disparo y Sobrerotura en los frentes de avance, que influyen en el proceso de perforación de voladura.

a) Metros de avance por disparo del CX 4040 -Julio 2024

El caso a estudiar considera la información de datos del mes de julio del 2024. Para considerar la línea base se tomó en cuenta este periodo, debido a que se tuvo una alta variabilidad respecto al KPI que es el metro de avance por disparo, teniendo una eficiencia de voladura de 80% y un avance promedio por disparo de 2.57 metros.

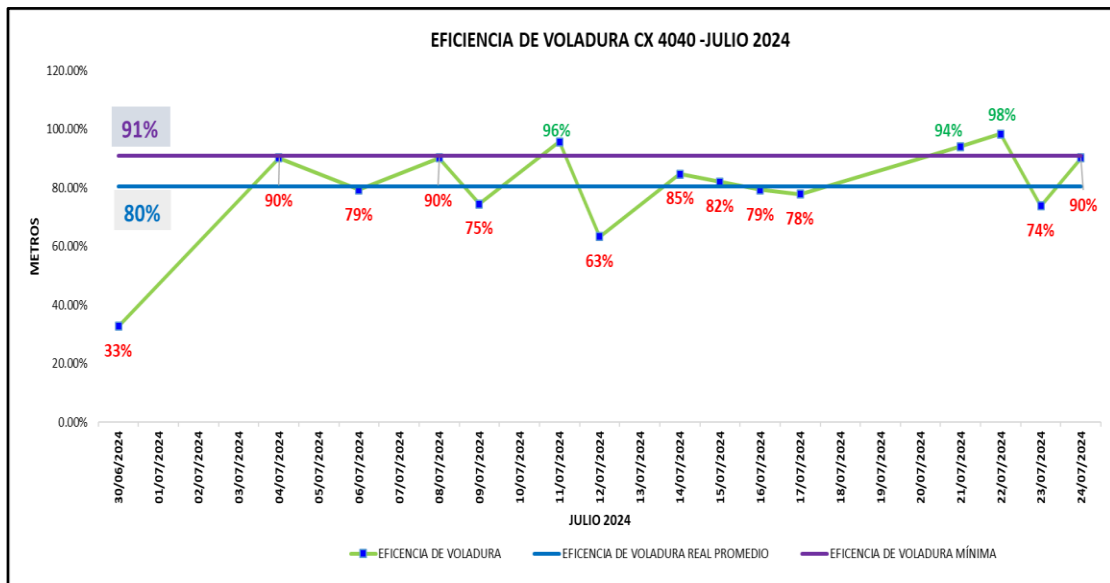
Los metros lineales de avance promedio por disparo de la línea base o mes de julio del 2024 son menores al programado. (2.57 m/disparo vs 2.88 m/disparo)

Figura 43
Control de disparo real/programado CX 4040 Julio 2024



Nota: La Figura muestra el control de disparo realizado en el CX 4040 durante el mes de julio del 2024, donde se muestra una media de avance por disparo de 2.57 metros.

Figura 44
Eficiencia de voladura CX 4040 Julio 2024



Nota: La Figura muestra la eficiencia de voladura del CX 4040 de julio del 2024, teniendo como promedio un 80% de eficiencia.

b) Sobrerotura del CX 4040-Julio 2024

Se muestra una variabilidad por semana en la sobrerotura del CX 4040 correspondiente al mes de julio del 2024, superando en 3 semanas

el promedio (10%) y estando debajo en una semana, estos conllevan a subir en el costo de sostenimiento.

En costos de materiales de sostenimiento se tiene un aumento (Real vs Programado) de **\$ 658.1** correspondiente al mes de julio del 2024 del CX 4040, esto debido a no cumplir con la sección programada de la labor (4.50 m x 4.50 m).

En shotcrete se tiene un aumento de **\$ 904.19** (Real vs Programado) que corresponde al mes de julio del 2024 del CX 4040.

Durante el mes de julio por problemas con la sobrerotura, incrementó el costo de sostenimiento en un **\$ 1,562.29**.

Tabla 7
Sobrerotura del CX 4040 Julio 2024

SOBREROTURA CX 4040 MES JULIO		
SEMANA	BUDGET PROM	REAL PROM
1	10%	17%
2	10%	20%
3	10%	12%
4	10%	19%

Nota: La tabla muestra los resultados de sobrerotura del CX 4040 del mes de julio del 2024.

3.8.1.4. Objetivos planteados

Se plantea como objetivos incrementar el metro de avance por disparo y reducir la sobrerotura en el CX 4040, esto a través de la implementación de la metodología Lean Six Sigma en el proceso de perforación y voladura.

3.8.1.5. Mapa de participantes clave

Se identificaron los participantes clave que están directamente o indirectamente involucrado en el presente proyecto, así como su impacto y su influencia.

Figura 45
Mapa de participantes clave

CLASIFICACIÓN	Nro	PUESTO	NOMBRE Y APELLIDO	IMPACTO	INFLUENCIA
EXTERNOS	1	GERENTE GENERAL	JHONY ORIHUELA	MEDIO	MEDIO
	2	GERENTE OPERACIONES	GORKI ROMAN	ALTO	MEDIO
INTERNOS	4	SUPERINTENDENTE MINA	REYDER QUISPE	ALTO	ALTO
	5	ASISTENTE SUPERINTENDENTE MINA	CAMILO HUAMAN	ALTO	ALTO
	6	ASISTENTE SUPERINTENDENTE MINA	VICTOR FLORES	ALTO	ALTO
	7	ASISTENTE SUPERINTENDENTE MINA	ALEX PURCA	ALTO	ALTO
	8	TECNICO FAMESA	BRYAN CALLE	ALTO	ALTO
	9	JEFE GUARDIA A	WILSON SALAS	ALTO	MEDIO
	10	JEFE GUARDIA B	MIGUEL CASTAÑEDA	ALTO	MEDIO
	11	JEFE GUARDIA C	MICHEL AQUINO	ALTO	MEDIO
	12	SUP. OPERACIÓN A	SAUL POMALAYA	MEDIO	MEDIO
	13	SUP. OPERACIÓN A	MILLER BARRIOS	MEDIO	BAJO
	14	SUP. OPERACIÓN B	BENIGNO CONDORI	MEDIO	MEDIO
	15	SUP. OPERACIÓN B	ALDO ORDOÑEZ	MEDIO	BAJO
	16	SUP. OPERACIÓN C	DELFIN APAZA	MEDIO	MEDIO
	17	SUP. OPERACIÓN C	DIEGO VELA	MEDIO	BAJO
	18	ING. PERFORACIÓN Y VOLADURA	CLINVER ROMANI	ALTO	ALTO
	19	ING JR. P&V GUARDIA A	LUIS HUAMAN	MEDIO	ALTO
	20	ING JR. P&V GUARDIA C	JOSEP CARRASCO	MEDIO	ALTO

Nota: En la figura se identifican diez personas con gran influencia en el cambio y ocho con gran influencia en el proyecto; cuatro de estos participantes se describen como apasionados (apoyan al 100 % la iniciativa).

Esto nos permite colaborar con las partes interesadas importantes que apoyan el proyecto y comprender cómo proponemos y ejecutamos la metodología para tomar medidas preventivas en caso de que surjan obstáculos tanto antes como después de la implementación.

3.8.1.6. Análisis de Stakeholders

A partir de la identificación de los stakeholders se evaluó y analizó el interés en la implementación, de las cuales la mayoría presenta una posición neutral.

Figura 46
Análisis de stakeholders

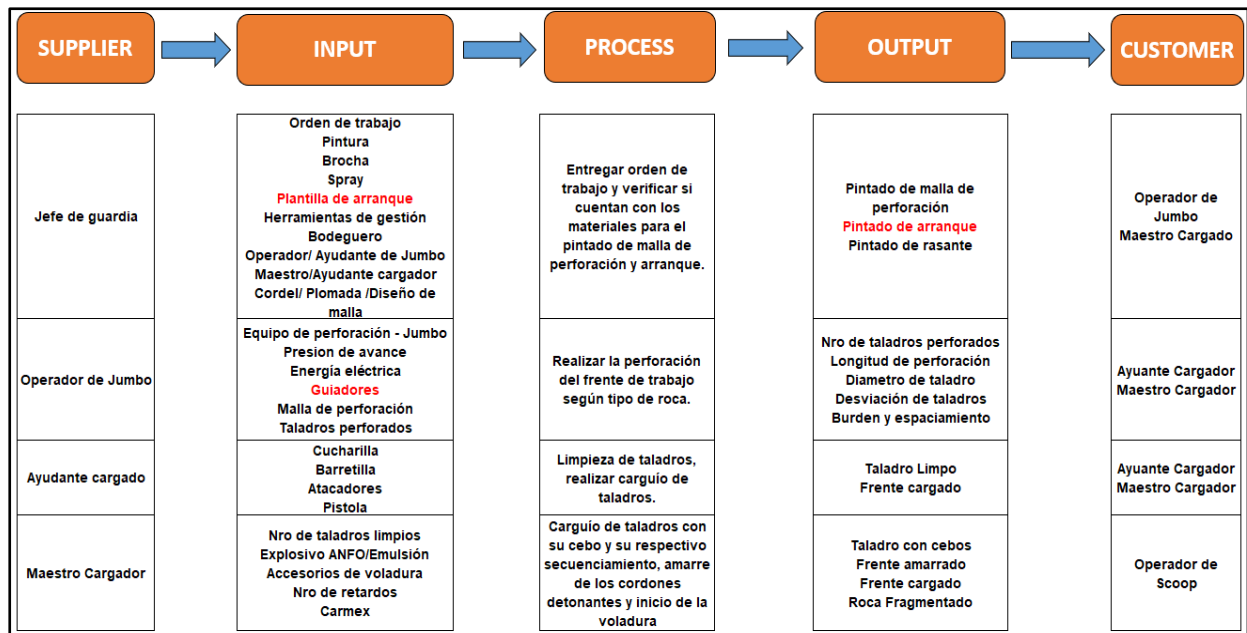
STAKEHOLDERS		STRONGLY AGAINST	MODERATE AGAINST	NEUTRAL	MODERATE SUPPORT	STRONGLY SUPPORT
GERENCIA	JHONY ORIHUELA				X	
	GORKI ROMAN				X	
SUPERINTENDENCIA MINA	REYDER QUISPE				X	
	CAMILO HUAMAN				X	
	VICTOR FLORES				X	
	ALEX PURCA				X	
TECNICO FAMESA	BRYAN CALLE					X
JEFE GUARDIA	WILSON SALAS				X	
	MIGUEL CASTAÑEDA				X	
	MICHEL AQUINO				X	
SUPERVISORES OPERACIÓN	SAUL POMALAYA			X		
	MILLER BARRIOS			X		
	BENIGNO CONDORI			X		
	ALDO ORDOÑEZ			X		
	DELFIN APAZA			X		
	DIEGO VELA			X		
ING. PERFORACIÓN Y VOLADURA	CLINVER ROMANI					X
ING. JR. PERFORACIÓN Y VOLADURA	LUIS HUAMAN					X
	JOSEP CARRASCO					X

Nota: En la figura se muestra el interés de cada uno de los Stakeholders, donde 4 personas muestran gran interés en el proyecto.

3.8.1.7. Diagrama SIPOC

El análisis de diagrama SIPOC representa gráficamente el proceso de gestión de la operación unitaria de perforación y voladura. A partir de esta operación se identifica una serie de actividades, de las cuales se establece la entrada de los procesos (recursos necesarios), se da a conocer los proveedores, las salidas de los procesos y el cliente de cada una de las salidas obtenidas.

Figura 47
Diagrama SIPOC

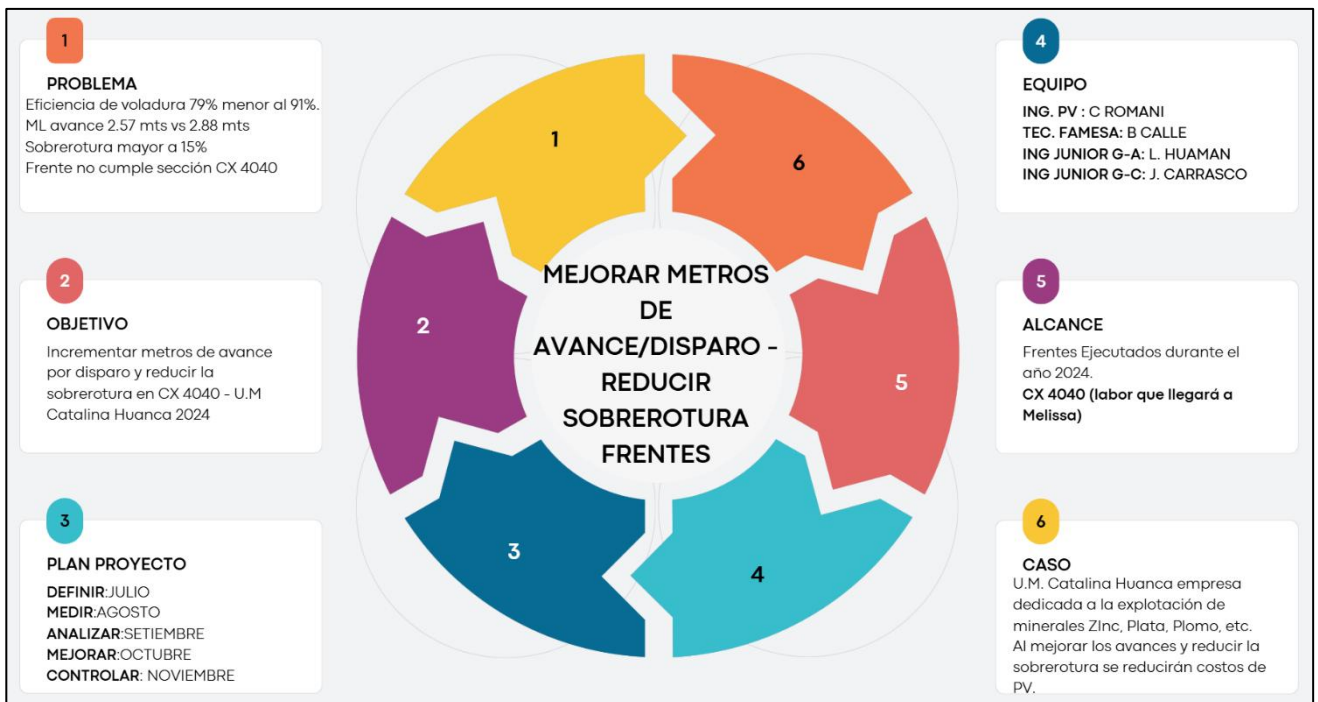


Nota: En la figura se muestra el diagrama SIPOC (Supplier, Input, Proces, Output, Customer) del proceso de perforación y voladura.

3.8.1.8. Six Pack Summary

La Etapa definir de la Metodología DMAIC, se resume en los siguientes 6 puntos (Problema, Objetivo, Plan Proyecto, Caso, Alcance, Equipo de Trabajo) que se muestran en la figura.

Figura 48
Six Pack Summary



Nota: En la figura se muestra el Six Pack Summary, donde se tiene 6 puntos importantes (Problema, Objetivo, Plan Proyecto, Equipo, Alcance y Caso) para desarrollar el proyecto Lean Six Sigma.

3.8.2. Etapa Medir.

En la etapa definir se ha identificado los problemas que se desean mejorar, los cuales son el avance por disparo y la sobrerotura. Estos problemas han generado que la empresa tenga un impacto negativo en los costos de perforación de voladura y sostenimiento, es por ello que se identificó que el proceso clave a analizar son la perforación y voladura.

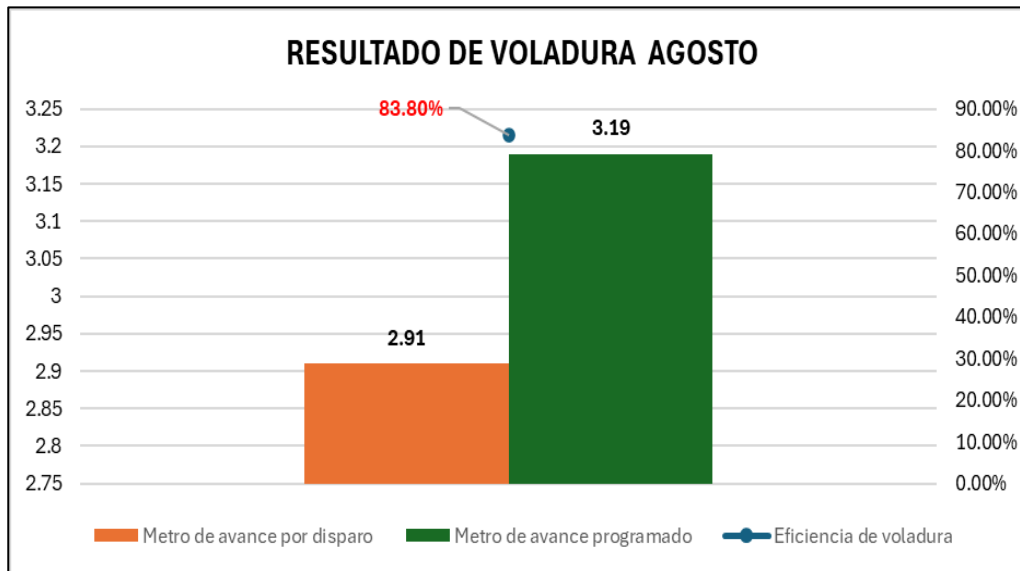
Los indicadores clave a mejorar son el avance por disparo y la sobrerotura en los frentes de avance.

3.8.2.1. Avance por disparo en frentes

Este KPI indica la situación actual del proceso, es decir de la perforación y voladura.

Figura 49

Resultados de voladura del CX 4040 - Agosto del 2024



Nota: En la Figura se muestra los resultados de voladura del CX 4040 durante el mes de agosto del 2024, reflejando una variación en los metros de avance obtenidos, obteniendo como promedio de avance real un 2.91 metros, siendo este debajo de lo programado (3.19 metros) con una eficiencia de 83.8%, se tiene como objetivo mejorar este indicador y lograr un avance de 3.60 metros.

3.8.2.2. Sobrerotura en frentes

Esta medida indica el estado actual de la sección de las labores, es decir la perforación influye directamente en este indicador, ya que, si no se conoce la sección real de la labor, se realiza el incorrecto pintado de la malla, así mismo si no se realiza voladura controlada se tendrá una sobrerotura mayor a la estimada.

Tabla 8*Resumen de sobrerotura del CX 4040 agosto 2024*

SOBREROTURA CX 4040 (AGOSTO-2024)		
SEMANA	BUDGET PROM	REAL PROM
1	10%	14 %
2	10%	13 %
3	10%	12 %
4	10%	7 %

Nota: En la Tabla se muestra los resultados de sobrerotura por semana del CX 4040 durante el mes de agosto del 2024.

3.8.2.3. Detalle estadístico

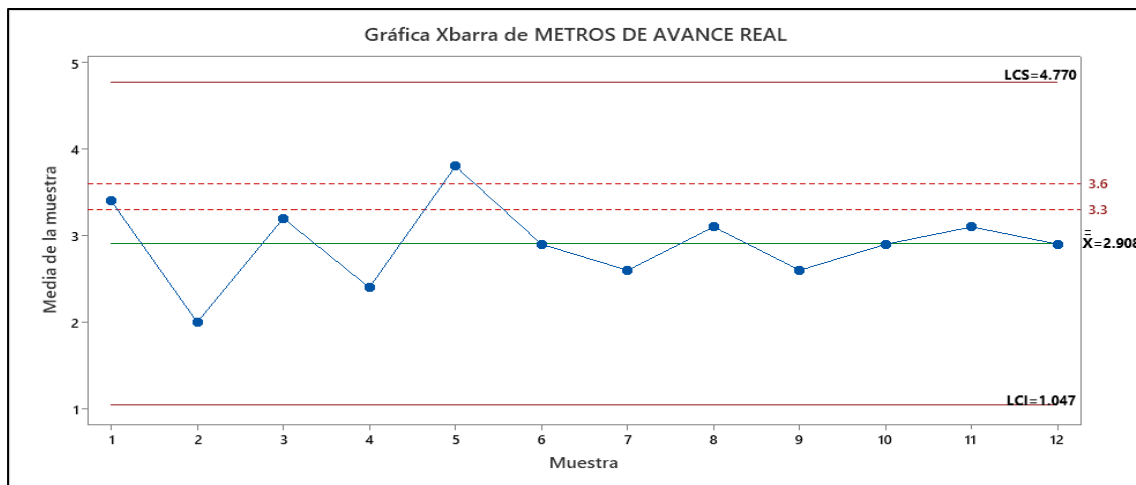
A continuación, se muestran el detalle estadístico de los KPIS que son el avance por disparo y la sobrerotura del CX 4040, estos se tomaron y recolectaron durante el mes de agosto del 2024, siendo procesado posteriormente en el software Minitab, la cual se realizó gráficos de control, histogramas y su capacidad del proceso de cada KPI.

a) Gráfico de control

Para el indicador de metro de avance por disparo se observa variabilidad de los resultados (Figura 50), la data de metros de avance por disparo correspondiente al mes de agosto muestra una alta variación, es por ello que los límites de especificaciones están fuera lo esperado ya que se tiene una amplitud que abarca desde los 2.0 metros hasta los 3.80 metros, el cambio de media fue mínimo de 2.57 a 2.908 metros. El objetivo de la empresa es conseguir avances de 3.60 metros por disparo.

Figura 50

Gráfico de control de metros de avance real por disparo CX 4040

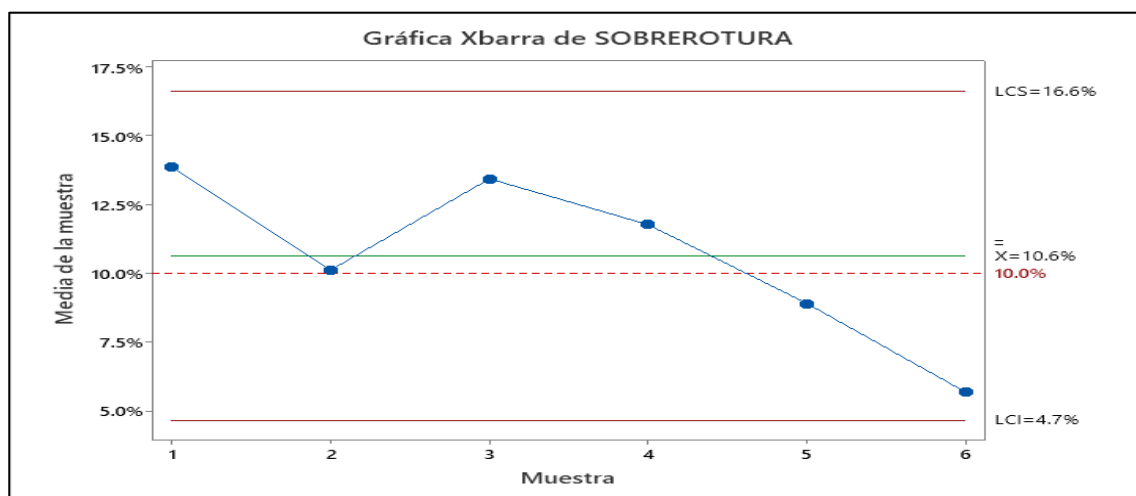


Nota: En la Figura se muestra el gráfico Xbarra de metros de avance real por disparo CX 4040.

Para el indicador de sobrerotura se observa un descontrol (Figura 51), la data de sobre excavación por disparo correspondiente al mes de agosto muestran una alta variación, es por ello que los límites de especificaciones están fuera lo esperado ya que se tiene una amplitud que abarca desde una sobrerotura de un 3% a un 16%, teniendo como promedio un 11% de sobrerotura siendo este superior al Budget (10%).

Figura 51

Gráfico de control de sobrerotura del CX 4040



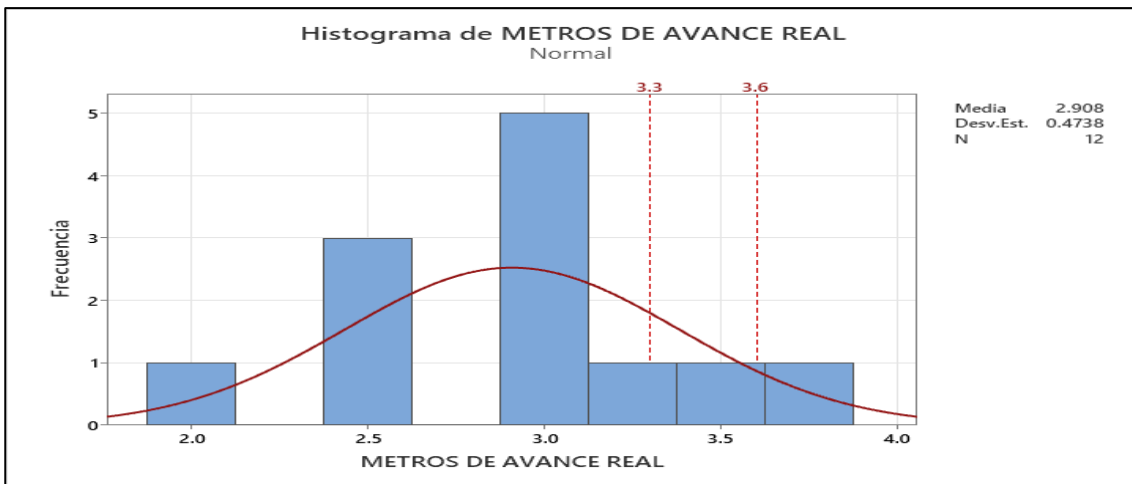
Nota: En la Figura se muestra el gráfico Xbarra de Sobrerotura en el CX 4040.

b) Histogramas

Como se observa en el histograma (Figura 53) para el metro de avance por disparo se tiene como media de 2.908 m/disparo con una desviación estándar de 0.4738. Sin embargo, nuestro objetivo es obtener disparos como mínimo de 3.30 metros y lograr un avance promedio por disparo de 3.60 m/disparo.

Figura 52

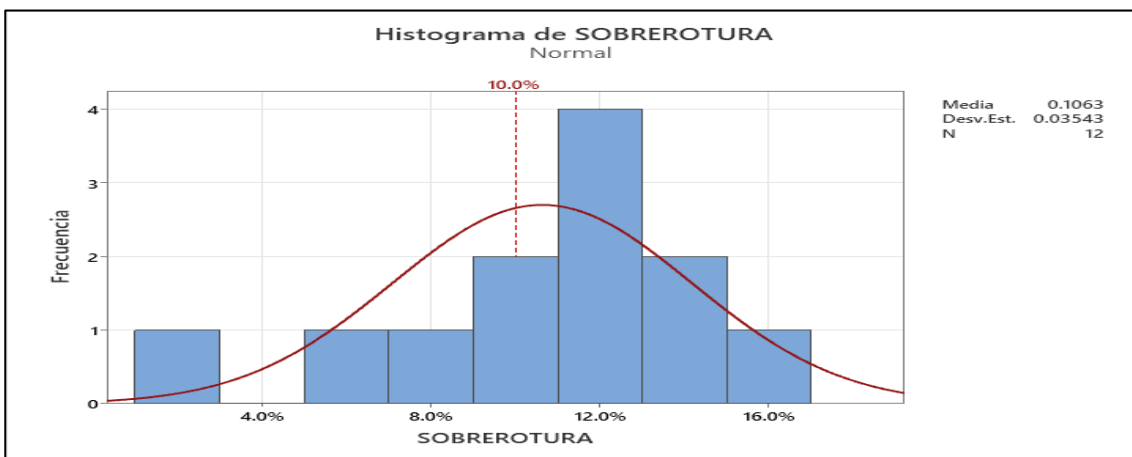
Histograma de metros de avance real CX 4040



Nota: En la figura se observa el histograma de metro de avance real donde se tiene como media 2.908 mts con una desviación estándar de 0.4738.

Figura 53

Histograma de Sobrerotura real CX 4040



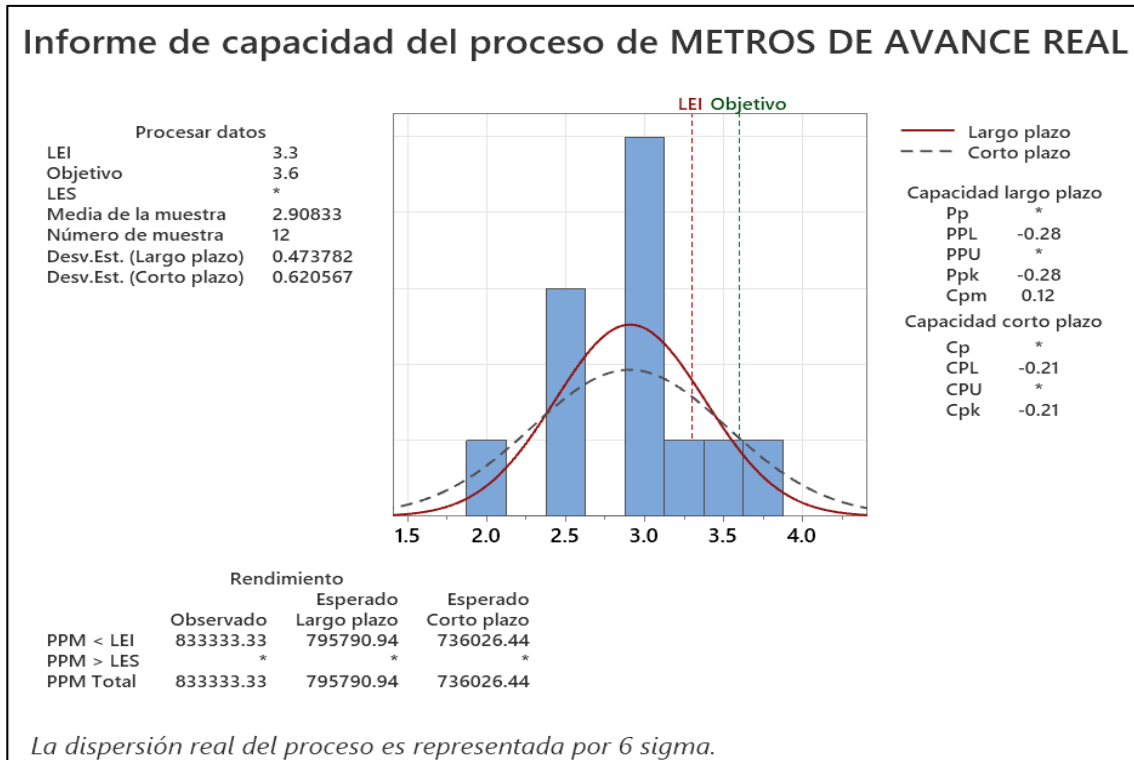
Nota: En la figura se observa el histograma para la sobrerotura donde se tiene como media un 10.63% con una desviación estándar de 0.03543. Siendo este superior al Budget (10%).

c) Capacidad del proceso

Se estimó la capacidad del proceso (Figura 55 y 56) para los indicadores de metros de avance por disparo y la sobrerotura del CX 4040 en el software Minitab.

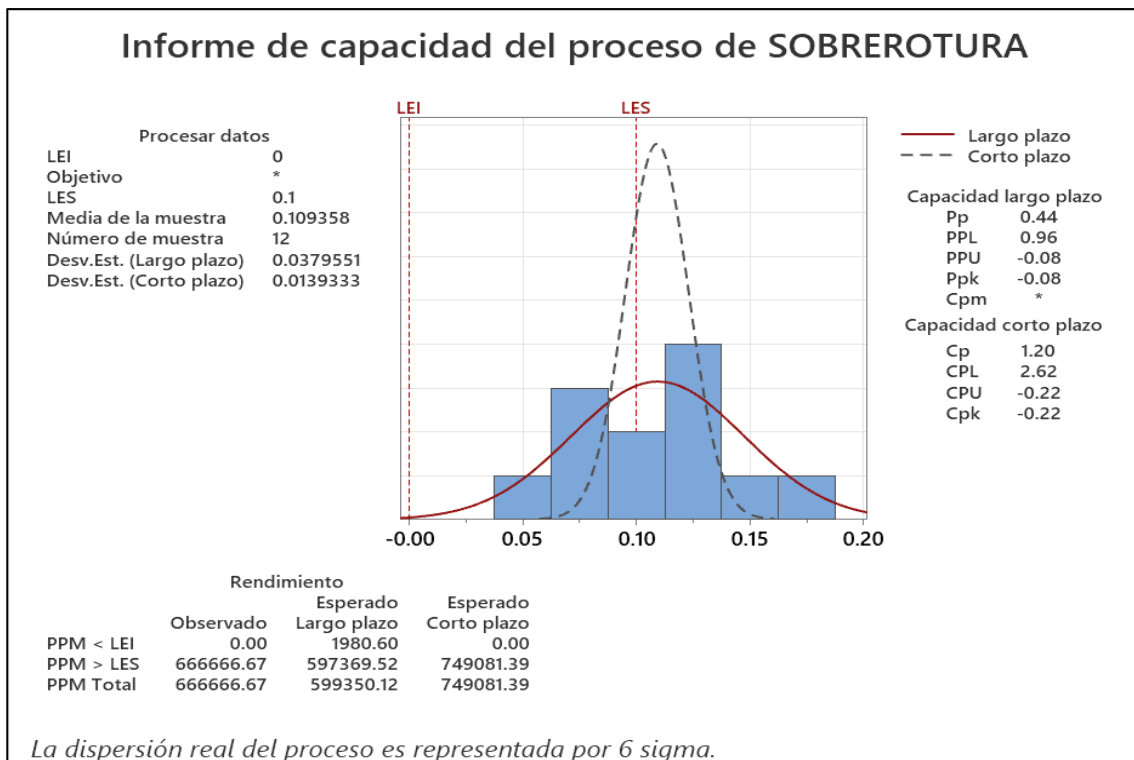
Figura 54

Capacidad del proceso de metros de avance por disparo



Nota: De la información analizada en la figura 54 el **83.33%** de la frecuencia total de metros de avance por disparo están fuera/debajo del límite de especificación, la cual es 3.30 metros de avance como mínimo. Esto nos dice que solo 10 voladura de las 12 que se tiene como total, no superan el metraje mínimo establecido por la empresa.

Figura 55
 Capacidad del proceso de la sobrerotura del CX 4040



Nota: De la información analizada en la figura 55 el 66.6% de la frecuencia total de sobrerotura del CX 4040 por encima del límite de especificación, la cual en la unidad se maneja de un 10% como máximo de sobrerotura.

3.8.3. Etapa Analizar.

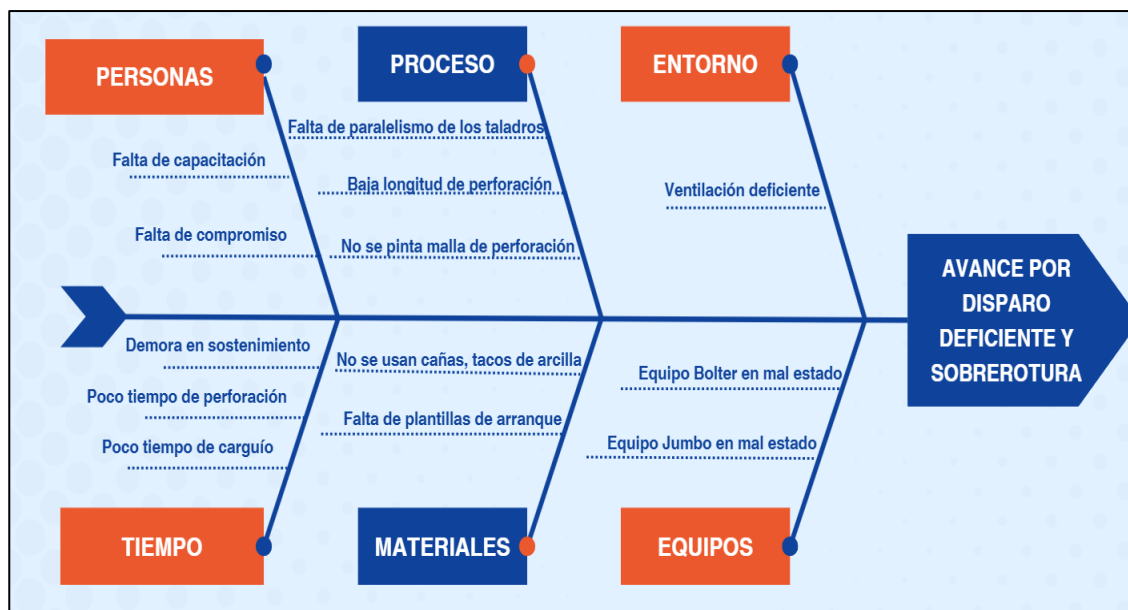
En la etapa analizar se ha identificado y analizado las causas más relevantes que afectan al proceso de perforación y voladura del CX 4040. Para ellos se realizó el diagrama Ishikawa con el objetivo de identificar las causas, luego se trabajó con la información recolectada en campo para realizar el diagrama de Pareto posteriormente un análisis de causa-efecto (FMEA). A la vez, se realizó un análisis de varianza ANOVA acompañado de un análisis de regresión.

3.8.3.1. Análisis Ishikawa

A continuación, se muestra el Diagrama de Ishikawa (Figura 56) de los problemas que afectan al proceso de perforación y voladura del CX 4040.

Figura 56

Diagrama Ishikawa proceso de perforación y voladura del CX 4040



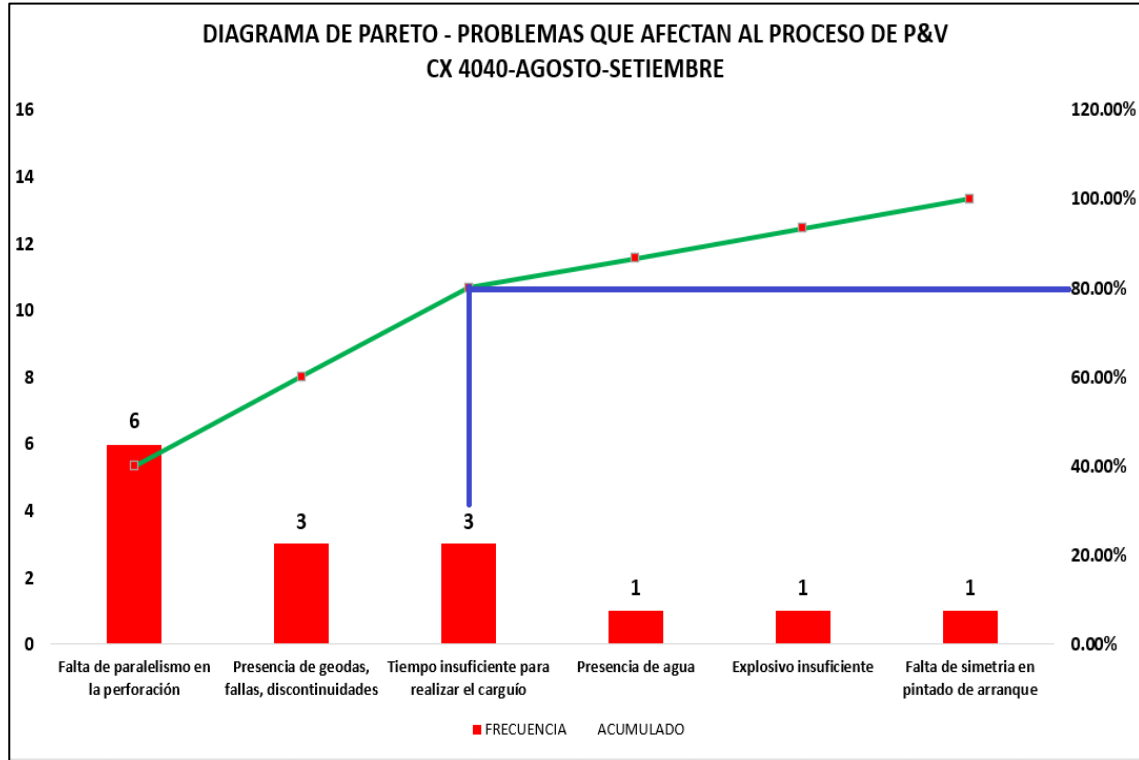
Nota: En la figura se observa las diferentes causas identificadas que afectan al proceso de perforación y voladura.

Se utilizaron las siguientes categorías para clasificar las trece causas identificadas: personas, procesos, entorno, tiempo, materiales y equipos. Todo lo relacionado con los supervisores, perforadores y cargadores, incluyendo el liderazgo, la experiencia, la capacitación y el tamaño del personal, se incluye en el área de personas. Las causas de las desviaciones operativas durante las operaciones de perforación y carga de explosivos se incluyen en la categoría de procesos. Las causas relacionadas con elementos propios del área de trabajo se incluyen en la categoría de entorno. Los retrasos y la duración de las actividades se incluyen en la categoría de tiempo. La categoría de materiales incluye factores relacionados con la idoneidad, la calidad y la disponibilidad de los materiales. Por último, la categoría de equipo abarca las causas relacionadas con la maquinaria de perforación y voladura y el equipo transportable.

3.8.3.2. Diagrama de Pareto

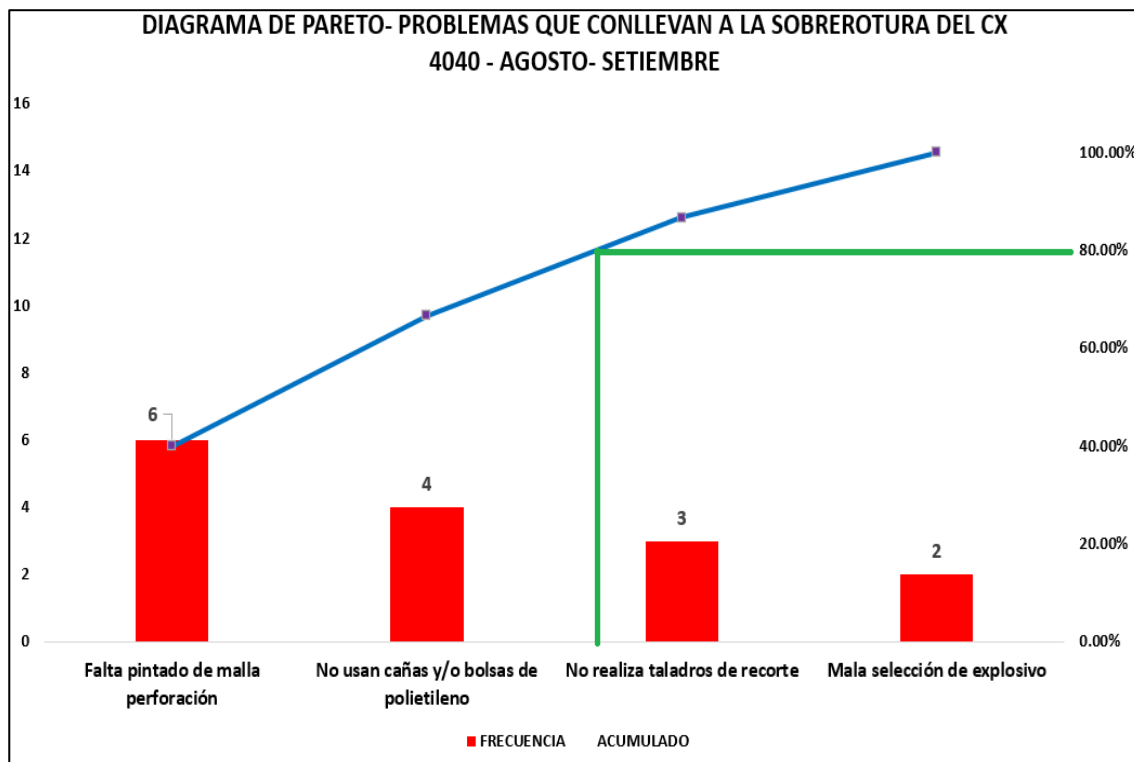
Figura 57

Diagrama de Pareto- Problemas que afectan al proceso de perforación y voladura del CX 4040



Nota: En la figura se observa el diagrama de Pareto, donde se da a conocer que los problemas con mayor frecuencia son la falta de paralelismo en la perforación, presencia de geodas, fallas, discontinuidades y el tiempo insuficiente para realizar el adecuado carguío. Esto nos indica que, aplicando el principio de Pareto, si la empresa se enfoca en corregir estas causas, se podría resolver la gran mayoría de los problemas.

Figura 58
 Causas Sobreexcavación del CX 4040



Nota: En la figura se observa las principales causas que ocasionan que exista una sobreexcavación mayor al 10% en el CX 4040, siendo las más relevantes, la falta de pintado de la malla de perforación, no realizar voladura controlada con cañas y/o bolsas de polietileno, taladros de recorte y falta de capacitación en el uso de explosivo para taladros de la corona.

3.8.3.3. Análisis FMEA

La primera función a analizar es el pintado de malla y arranque. Según el análisis se presentan dos causas que ocasionen lo mencionado. La primera sería que no se sacan materiales en logística, la cual ocasiona que no se pinte la malla de perforación y la segunda sería la falta de inspección del estándar operacional, ante lo mencionado los controles son que se realicen vales de materiales y que se supervise el pintado de mallas en los frentes.

La segunda función a analizar es la perforación de taladros, ya que los modos de falla son la falta presión de agua y aire, la falta de energía de los tableros, la falta de raspado de frentes después del lanzamiento de shotcrete, falta de sostenimiento en labores, falta de gradiente y dirección, falta de bombas en labores negativas, la rotura de aceros y la falla de equipos. Con un efecto de

falla potencial de retraso en la perforación lo que ocasiona una demora de entrega de frente perforado con posibilidad de no ser ejecutado.

La tercera función a analizar es la limpieza de taladros, ya que los modos de falla son que los taladros estén tapados por la presencia de detritus, con un efecto de falla potencial de que se vuelva a perforar los taladros en el frente y que ocasione una voladura deficiente (pechos en los hastiales).

La cuarta función a analizar es el secuenciamiento de los faneles los modos de falla es la incorrecta distribución de retardos, con un efecto de falla potencial de que la voladura sea incompleta (Disparo soplado)

La quinta función a analizar es el carguío de taladros, los modos de falla son la baja presión de aire y la deficiente ventilación, con efectos de falla potencial de un deficiente confinamiento en la columna de carga y que el frente no sea cargado por problemas con la ventilación.

La sexta función para analizar es el amarre y la voladura, con modos de falla potencial de amarre inadecuado y falta de voladura controlada, con efectos de falla potencial de tiros soplados, cortados y anillados, y con una sobrerotura mayor al 10%.

Todo lo mencionado se elaboró con el fin de reducir el riesgo de fracasar una vez comenzado con el proyecto.

Tabla 9

Analisis FMEA del proceso de perforación y voladura del CX 4040

FUNCION DEL PROCESO	MODO DE FALLA POTENCIAL	EFEKTOS DE FALLA POTENCIAL	CAUSAS	CONTROLES	ACCIONES RECOMENDADAS	PERSONA RESPONSABLE
Pintado de malla y arranque.	Falta de pintura, flexómetro	No se pinta el frente a perforar.	No se sacan materiales de logística.	Realizar vales de materiales.	Sacar materiales de logística.	JEFE DE SECCIÓN
	Deficiente diseño de malla y arranque	Pintado de malla según criterio del operador, mala calidad de voladura, demasiada sobrerotura.	Falta de inspección del estándar operacional (diseño de mallas).	Supervisión directa	Difundir, capacitar y entregar mallas de perforación a los operadores que se usan de acuerdo al tipo de roca que se tiene en la unidad minera.	ING. P&V- ING. JUNIOR G- A/G-C
Perforación de taladros.	Falta de presión aire/agua	Retraso en la perforación.	Sistema de aire y(o agua en malas condiciones.	Mantenimiento correctivo de servicios.	Verificar el plan de mto preventivo del sistema de aire y agua.	JEFE DE SERVICIOS
	Falta de energía en los tableros.		Sistemas de energía en malas condiciones.	Mantenimiento correctivo de energía.	Verificar el plan de mto preventivo del sistema eléctrico.	JEFE MANTTO ELECTRICO
	Falta de raspado en los frentes.		Falta de un buen reporte de parte de supervisión saliente	Supervisión directa	Mejorar en el reporte de contraguardia.	JEFE DE SECCIÓN
	Falta de sostenimiento en labores.		Falta de un buen reporte de parte de supervisión saliente	Supervisión directa	Mejorar en el reporte de contraguardia.	JEFE DE SECCIÓN
	Falta de gradiente y dirección		Falta de cumplimiento con los puntos gradientes.	Colocar puntos gradientes.	Colocar puntos de gradiente por parte de topografía.	TOPOGRAFÍA
	Falta de Bombas en labores negativas.		Falta de bombas y/o bombas en mal estado.	Supervisión directa	Brindar bombas por parte de mantto eléctrico.	JEFE MANTTO ELECTRICO
	Rotura de aceros (Shank, barra, coupling)	Demora en la entrega del frente perforado con posibilidad de no ser ejecutado.	Perforación a presiones de percusión, rotación fuera de lo normal	Regular las presiones de avance de los jumbos (correctivos).	Verificar las presiones de los equipos de perforación (preventivamente) y capacitar al personal operador de equipos.	JEFE DE MANTTO MECÁNICO

			Aceros de mala calidad	Control de la vida útil de los aceros.	Monitoreo de la vida útil de los aceros respecto a los metros perforados.	JEFE DE PRODUCTIVIDAD
	Falla de equipo (Jumbo).	Taladros no perforados.	No se realiza un correcto mantenimiento preventivo.	Control en el cumplimiento del programa de mto.	Verificar que se cumplan con los programas de mantenimiento.	JEFE DE SECCIÓN
Limpieza taladros	Taladros tapados por mucha presencia de detritus.	Re perforación de taladros en el frente, voladura deficiente (pechos en los hastiales).	Perforación de taladros a percusión alta y con excesiva presión de agua.	Limpieza de los taladros con cucharillas para evitar tapado de taladros.	Si la calidad de roca es fracturada realizar la perforación a percusión lenta y/o perforar menos pies.	ING. P&V-ING. JUNIOR G-A/G-C
Secuenciamiento de faneles	Incorrecta distribución de retardos en el secuenciamiento	Voladura incompleta(soplado)	Incumplimiento al estándar operacional, falta de capacitación.	Seguimiento a la perforación y voladura, capacitar personal.	Entrenar a todo el personal, maestro cargador los tipos de diseño de secuenciamiento que se usan de acuerdo al tipo de roca que se tiene en la unidad minera.	TÉCNICO FAMESA
Carguío de explosivos.	Baja presión de aire en la labor para inyección de Anfo	Bajo confinamiento de la columna de carga.	Falta de control en la presión de inyección de explosivo.	Manómetro para el control de la presión de aire.	Verificar instalaciones auxiliares.	JEFE DE SECCIÓN
	Ventilación deficiente.	Frente no cargado.	Falta de control en la ventilación de labores.	Control de cumplimiento de ventilación	Mejorar ventilación en las labores de producción.	JEFE DE VENTILACIÓN
Amarre y voladura	Amarre inadecuado.	Tiros soplados, cortados, anillados.	Falta de tiempo para realizar un correcto proceso de carguío.	Tener preparada la secuencia de carguío para optimizar el tiempo.	Entrenar al maestro cargador para controlar los tiempos de carguío.	TÉCNICO FAMESA
	Falta de voladura controlada	Sobrerotura mayor al Budget	No se realizar voladura controlada.	Realizar voladura controlada	Brindar materiales (cañas, bolsas) al personal para realizar voladura controlada.	ING. P&V-ING. JUNIOR G-A/G-C

Nota: En la tabla se muestra la elaboración del Analisis FMEA del proceso de perforación y voladura del CX 4040.

3.8.3.4. Análisis de varianza ANOVA

a) Análisis de varianza – Metro de avance por disparo

Para el análisis de varianza de metro de avance por disparo se determinará el % de variación que generan los resultados de voladura generados por cada operador, este análisis se realiza en el software Minitab, donde se plantean las siguientes hipótesis

- ✓ H0 (Hipótesis Nula): Los datos tiene una media igual
- ✓ Hi (Hipótesis alterna): Los datos no tiene una media igual

Para lo cual se tendrá una confianza es 95% y la significancia (alfa) es 5%

Figura 59

Resultados estadísticos de análisis de ANOVA (P value)

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
OPERADOR	5	4.276	0.8552	1.91	0.145
Error	17	7.599	0.4470		
Total	22	11.875			

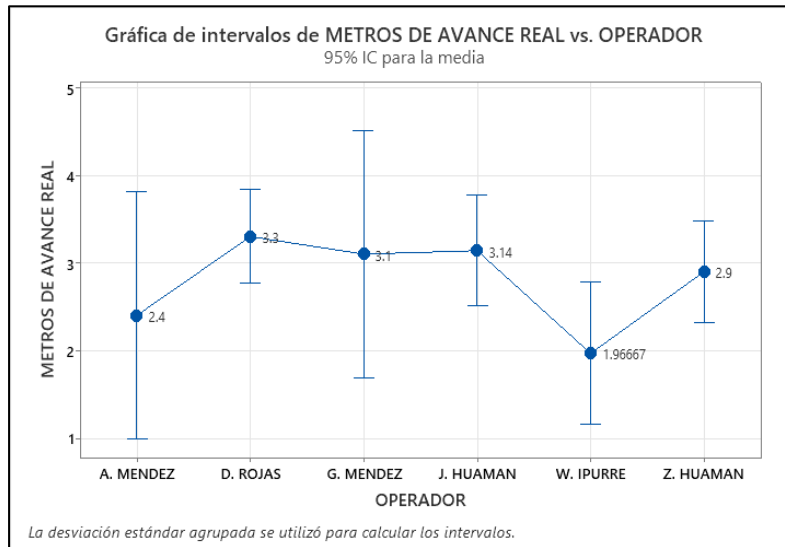
Nota: En la figura se muestra los valores obtenidos del análisis de varianza realizado en software Minitab.

Criterio de decisión

- ✓ Si $p < 0.05$ rechazamos la H0 y aceptamos la Hi
- ✓ Si $p \geq 0.05$ aceptamos la H0 y rechazamos la Hi

Se concluye que el valor p es igual a 0.145, siendo este $p \geq 0.05$, por lo tanto, se acepta la Ho y se rechaza la Hi. Por lo tanto, no hay una diferencia de media de los resultados de voladura que generan los operadores de las distintas guardias.

Figura 60
Análisis ANOVA para la variable de operador de Jumbo



Nota: En la figura se muestra los valores obtenidos del análisis de varianza realizado en software Minitab.

La probabilidad de obtener este resultado (o uno más extremo) si la hipótesis nula fuera cierta es del 14.5%.

Figura 61
Resultados estadísticos de análisis de ANOVA (R sq)

Resumen del modelo			
	S R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
	0.668566	36.01%	17.19% *

Nota: En la figura 61, se obtuvo el valor del R-cuadrado equivalente a **36.01%** este sugiere que nuestro modelo es capaz de explicar un 36.01% de la variabilidad de nuestros resultados, a su vez, que los operadores generan este porcentaje en la variación en el indicador del metro de avance por disparo.

b) Análisis de varianza – Sobrerotura

Para el análisis de varianza de sobrerotura se determinará el % de variación que generan los resultados de sobrerotura generados por

cada operador, este análisis se realiza en el software Minitab, donde se plantean las siguientes hipótesis

- ✓ H0 (Hipótesis Nula): Los datos tiene una media igual
- ✓ Hi (Hipótesis alterna): Los datos no tiene una media igual

Para lo cual se tendrá una confianza es 95% y la significancia (alfa) es 5%

Figura 62

Análisis ANOVA para la variable de operador de Jumbo

Análisis de Varianza					
<u>Fuente</u>	<u>GL</u>	<u>SC Ajust.</u>	<u>MC Ajust.</u>	<u>Valor F</u>	<u>Valor p</u>
OPERADOR	5	0.011883	0.002377	8.36	0.000
Error	17	0.004831	0.000284		
Total	22	0.016715			

Nota: En la figura se muestra los valores obtenidos del análisis de varianza realizado en software Minitab.

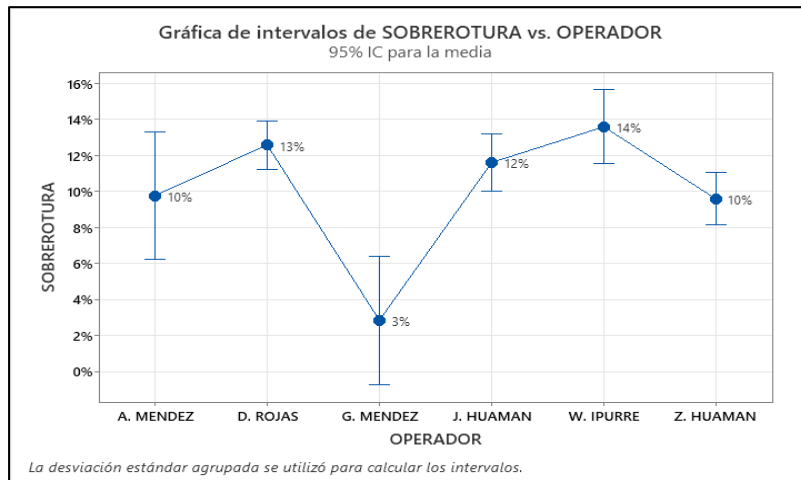
Criterio de decisión

- ✓ Si $p < 0.05$ rechazamos la H0 y aceptamos la Hi
- ✓ Si $p \geq 0.05$ aceptamos la H0 y rechazamos la Hi

Se concluye que el valor p es igual a 0.000, siendo este $p < 0.05$, por lo tanto, se rechaza la Ho y se acepta la Hi. Por lo tanto, si hay una diferencia de media de los resultados de sobrerotura que generan los operadores de las distintas guardias.

Figura 63

Resultados estadísticos de análisis de ANOVA (P value)



Nota: En la figura se muestra los valores obtenidos del análisis de varianza realizado en software Minitab.

Figura 64

Resultados estadísticos de análisis de ANOVA (*R sq*)

Resumen del modelo			
	S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)
	0.0168579	71.10%	62.59%
			R-cuadrado (pred) *

Nota: En la figura 67, se obtuvo el valor del R-cuadrado equivalente a **71.10 %** este sugiere que nuestro modelo es capaz de explicar un 71.10% de la variabilidad de nuestros resultados, a su vez, que los operadores generan este valor de porcentaje en la variabilidad en el indicador de sobrerotura por disparo.

3.8.4. Etapa Mejorar.

Ya identificado las causas que ocasionan deficiencias en el proceso de perforación y voladura del CX 4040 se inició con la etapa mejorar que se lleva a cabo durante el periodo de octubre del 2024. Para ello se realizó con un plan de trabajo que contienen diferentes controles con el objetivo de incrementar el metro de avance por disparo y reducir la sobrerotura en el CX 4040.

A continuación, se describe el desarrollo de la etapa mejorar.

3.8.4.1. Implementación de plan de trabajo

- a) Objetivos de plan de trabajo:

- ✓ Incrementar los metros de avance por disparo del CX 4040
 - ✓ Reducir la sobrerotura en el CX 4040
- b) Criterio del éxito:
- ✓ Se espera que la implementación del plan de trabajo sea efectiva.

Se ejecutarán voladuras siguiendo el plan de trabajo.

Tabla 10

Plan de trabajo para mejorar el proceso de perforación y voladura.

PLAN DE TRABAJO PERFORACIÓN Y VOLADURA	
PERFORACIÓN	
✓	Seguimiento al marcado de punto de dirección, gradiente y rasante en el CX 4040
✓	Pintado de malla de perforación de acuerdo a la sección y el tipo de roca, reducir la sección de perforación y así controlar la sobrerotura
✓	Seguimiento al pintado de cuadrículas de malla de perforación
✓	Seguimiento al pintado de arranque
✓	Seguimiento a la utilización de guidores de perforación
✓	Seguimiento al marcado de la longitud efectiva de perforación
✓	Seguimiento a la perforación de la malla estándar
✓	Seguimiento a la perforación de los taladros de alivio en contorno
✓	Entubado de taladros después de la perforación
✓	Lavado de taladros de arranque al culminar los rimados
CARGUÍO DE TALADROS	
✓	Limpieza y sopleteo de taladros
✓	Utilización de cucharillas de 2,3 y 4 metros
✓	Utilización del explosivo adecuado de acuerdo al tipo de terreno
✓	Correcta distribución de faneles de acuerdo a la malla de perforación estandarizada
✓	Marcado de la manguera de perforación para realizar el carguío
✓	Uso de tacos de arcilla en los taladros de arranque, producción y coronas.
✓	Utilización de bolsas de polietileno y/o cañas para voladura controlada
OPERACIÓN MINA	
✓	Verificar que se tengan las instalaciones para realizar el proceso de perforación y voladura
✓	Realizar el raspado de frentes después del lanzamiento de shotcrete
✓	Mejorar distribución de equipos para evitar demoras en los procesos
✓	Realizar seguimiento al mantenimiento preventivo y programado de los equipos Jumbo.

Nota: La tabla muestra el resumen de los trabajos a realizar en el CX 4040 durante el periodo de octubre del 2024.

3.8.4.2. Ejecución de plan de trabajo

La ejecución de las diferentes acciones fue realizada de forma ordenada con el respectivo seguimiento y control. A continuación, se detallan cada una de ellas.

a) Perforación:

- Seguimiento al marcado de punto de dirección y gradiente y rasante en las labores.

Figura 65

Pintado de rasante



Nota: La figura muestra el pintado de rasante realizado en el CX 4040.

Figura 66

Pintado de rasante



Nota: La figura muestra el pintado de rasante realizado en el CX 4040 por el líder de labor.

Figura 67

Sacando Punto centro y gradiente.



Nota: La figura muestra al operador de Jumbo y su ayudante sacando el punto centro y gradiente para realizar la perforación en el CX 4040.

Figura 68
Sacando Punto centro y gradiente.



Nota: La figura muestra al líder de labor y su ayudante sacando el punto centro y gradiente para realizar la perforación en el CX 4040.

- Pintado de malla de perforación de acuerdo a la sección y el tipo de roca, para reducir la sección de perforación y así controlar la sobrerotura.

Figura 69
Cuaderno Geomecánico

- Seguimiento al pintado de cuadrículas de malla de perforación.

Figura 71

Pintado de cuadrículas malla de perforación.



Nota: La figura muestra al lider de labor realizando el marcado de sección de labor en el CX 4040.

Figura 72

Pintado de cuadrículas de malla de perforación



Nota: La figura muestra al lider de labor realizando el marcado de sección de labor en el CX 4040.

Figura 73

Malla de perforación CX 4040.



Nota: La figura muestra la malla de perforación pintada en el CX 4040.

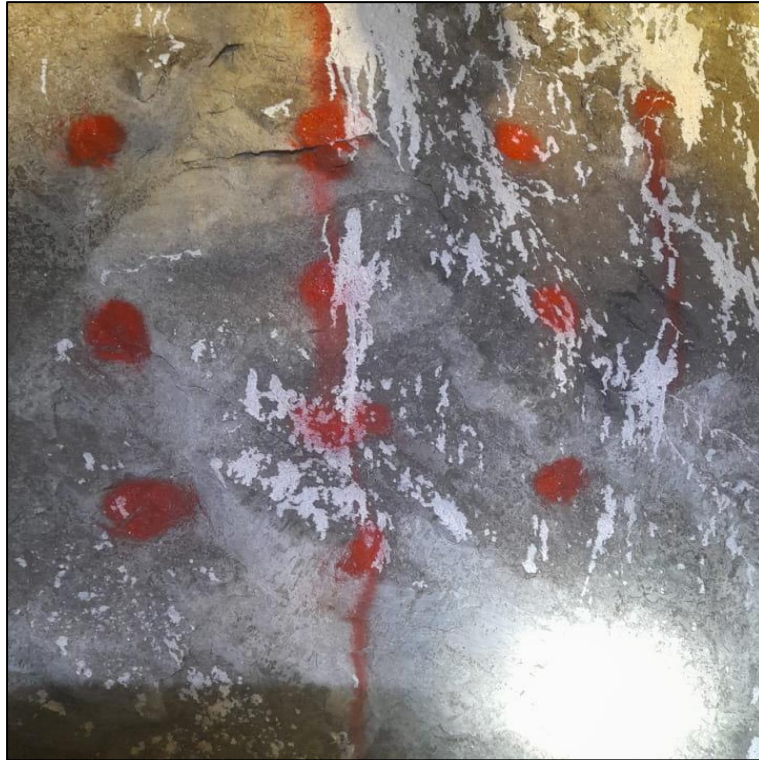
- Seguimiento al pintado de arranque, con plantillas.

Figura 74
Plantilla Arranque



Nota: La figura muestra la plantilla de arranque hexagonal.

Figura 75
Arranque de 9.



Nota: La figura muestra el arranque pintado en el CX 4040.

Figura 76
Arranque pintado.



Nota: La figura muestra el arranque pintado en el CX 4040.

Figura 77
Arranque pintado en frente CX 4040.



Nota: La figura muestra el arranque pintado en el CX 4040.

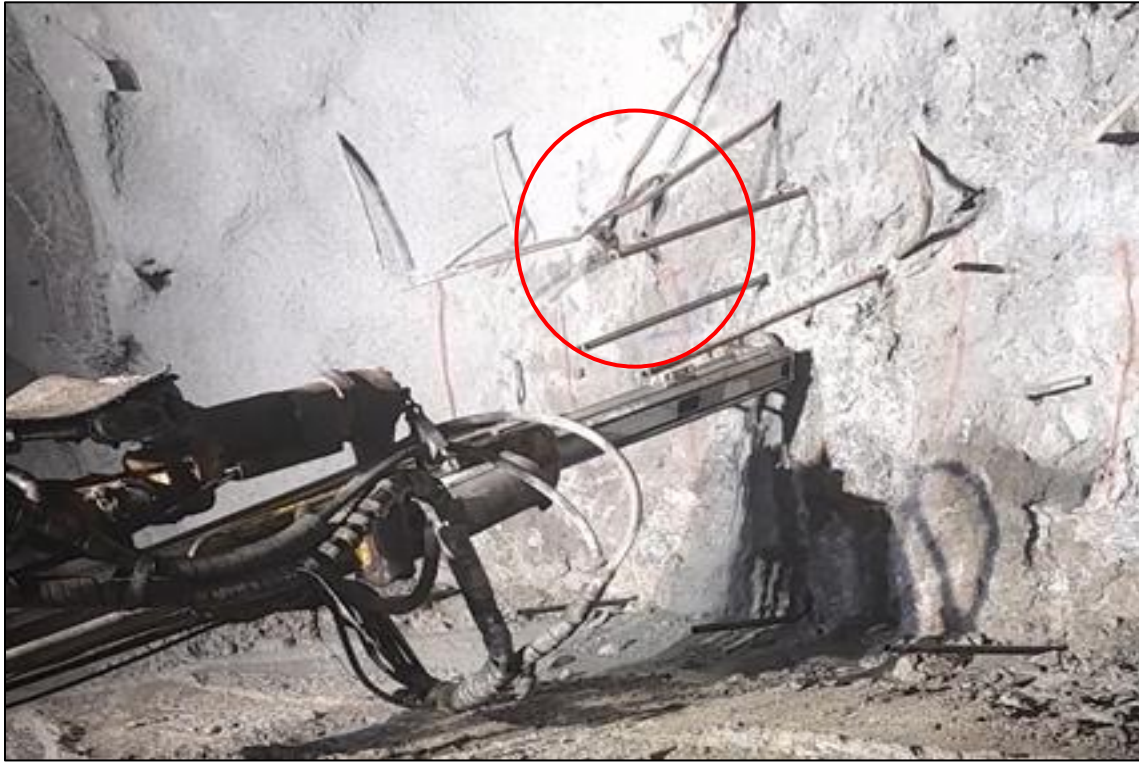
Figura 78
Pintado de Malla de perforación y arranque CX 4040



Nota: La figura muestra el Pintado de Malla de perforación y arranque CX 4040.

- Seguimiento a la utilización de guidores de perforación

Figura 79
Jumbo 4 usando guidores.



Nota: La figura muestra al Jumbo 4 usando guidores para el paralelismo.

- Seguimiento al marcado de la longitud efectiva de perforación

Figura 80
Marcado en la manguera de perforación del Jumbo 4



Nota: La figura muestra el marcado en la manguera de perforación del Jumbo 4.

- Seguimiento a la perforación de la malla estándar

Figura 81
Perforación en frentes



Nota: La figura muestra la perforación de taladros en el CX 4040.

- Seguimiento a la perforación de taladros de alivio en contorno

Figura 82
Perforación de taladros de alivio en la corona.



Nota: La figura muestra la perforación de taladros de recorte en el CX 4040.

- Entubado de taladros después de la perforación.

Figura 83
Entubado de taladros



Nota: La figura muestra el entubado del taladro de arrastre.

Figura 84
Entubado de taladros CX 4040



Nota: La figura muestra el entubado de taladros de arranque para evitar que se llene de detritus al realizar la perforación de los demas taladros.

- Lavado de taladros de arranque al culminar los rimados

Figura 85

Lavado de taladros de arranque JUMBO S2



Nota: La figura muestra el lavado de taladros de perforación para realizar el entubado.

b) Carguío:

- Limpieza y sopleteo de taladros

Figura 86

Limpieza y sopleteo de taladros



Nota: La figura muestra al personal realizando el sopleteo de taladro para eliminar el agua, posteriormente se realiza el carguío.

- Utilización de cucharillas de 2, 3 y 4 metros

Figura 87

Uso de cucharillas



Nota: La figura muestra al personal usando las cucharillas para eliminar detritus dentro de los taladros.

- Utilización del explosivo adecuado de acuerdo al tipo de terreno según estándar.

Figura 88

Explosivo recibido por bodeguero



Nota: La figura muestra al superfam 2.

- Correcta distribución de faneles de acuerdo a la malla de perforación estandarizada.

Figura 89
Faneles PL



Nota: La figura muestra los faneles de PC y PL, listos para realizar el carguío.

Figura 90
Distribución de faneles en frente



Nota: La figura muestra la distribución de faneles en el CX 4040.

- Marcado de la manguera de perforación para realizar el carguío.

Figura 91

Marcado de mangueras de perforación



Nota: La figura muestra las marcas realizadas en la manguera de perforación, siendo esta importante para controlar los tacos a dejar en los taladros.

- Uso de tacos de arcilla en los taladros de arranque, producción y coronas.

Figura 92

Uso de tacos de arcilla



Nota: La figura muestra los tacos de arcilla en los taladros.

- Utilización de bolsas de polietileno de menor diámetro como voladura controlada en los taladros de contorno y taladros con presencia de agua

Figura 93

Preparación de cañas



Nota: La figura muestra la elaboración de las cañas para realizar voladura controlada con el emulnor 1000.

- Voladura controlada usando las bolsas de polietileno antiestática.

Figura 94

Colocando Cebo en la bolsa



Nota: La figura muestra el uso de bolsas de polietileno, metodo usado en la unidad para prevenir la sobrerotura.

Figura 95
Colocando bolsa en el taladro



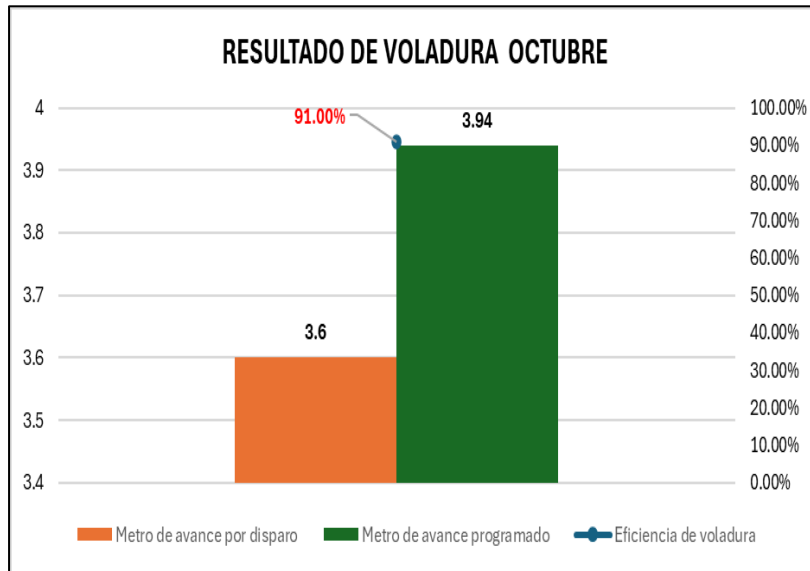
Nota: La figura muestra el uso de bolsas de polietileno en el CX 4040.

3.8.4.3. Resultados Fase Mejora

a) Resultados de metro de avance por disparo del CX 4040

Durante el mes de octubre (Etapa mejorar), se realizaron 16 voladuras en el CX 4040, donde se obtuvo como media de metro de avance por disparo un valor de 3.60 metros.

Figura 96
Resultados voladura CX 4040 - Octubre de 2024

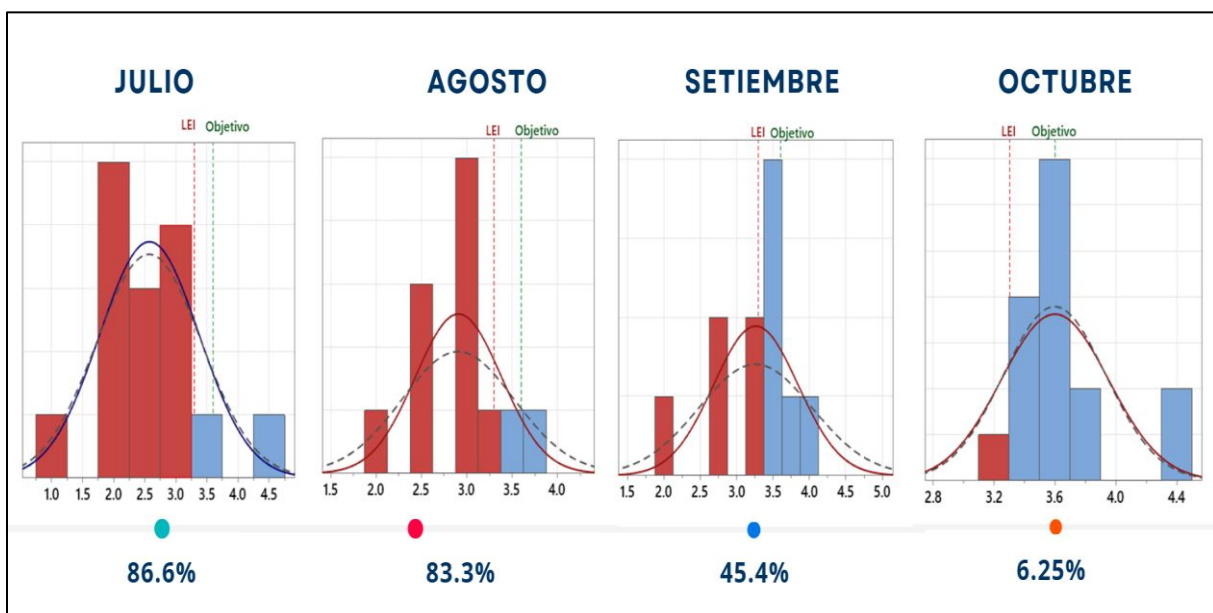


Nota: La figura muestra los resultados de voladura del CX 4040 del mes de octubre del 2024, se observa una mejora con respecto a los meses anteriores, teniendo un promedio de avance por disparo de 3.60 metros.

El cambio de la media del proceso fue de 2.575 m/disp. (julio) a 3.60 m/disp. (octubre) con un incremento del 39%. El objetivo de la empresa es obtener avances iguales o mayores a 3.6 m/disp.

- Resumen de capacidad del proceso/mes - % fuera de especificación

Figura 97
Porcentaje fuera de especificación – Metros de avance por disparo



Nota: La figura muestra que existe una reducción del % fuera de especificación de los resultados de voladura (LEI= 3.30 metros), del 86.6% a 6.25%

b) Resultados de sobrerotura del CX 4040

Como se observa en la tabla 11, el CX 4040 cumple la sección programada (4.50 m x 4.50 m), siendo la sobrerotura no significativa porque no supera al budget (10%).

Tabla 11
Resumen de sobrerotura del CX 4040 octubre 2024

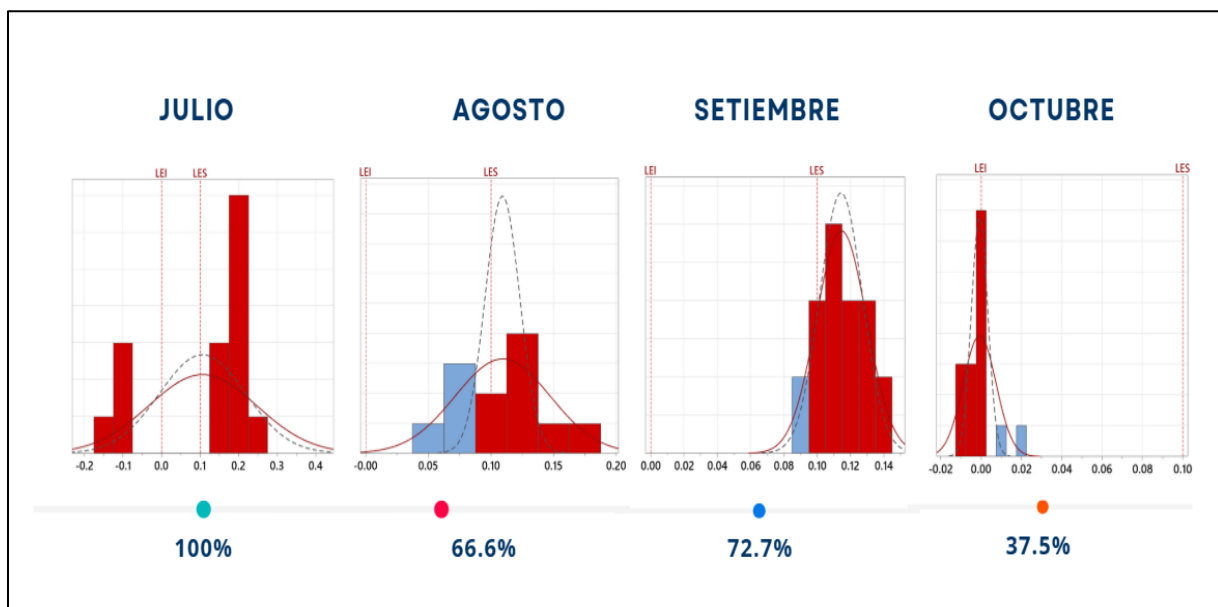
SOBREROTURA CX 4040 (OCTUBRE-2024)		
SEMANA	BUDGET PROM	REAL PROM
1	10%	2 %
2	10%	0 %
3	10%	-1 %
4	10%	0%
PROMEDIO		0%

Nota: En la Tabla se muestra los resultados de sobrerotura por semana del CX 4040 durante el mes de octubre del 2024.

El cambio de la media del proceso fue de 17% (julio) a 0%. (octubre) con una disminución de casi el 100%.

- Resumen de capacidad del proceso/mes - % fuera de especificación

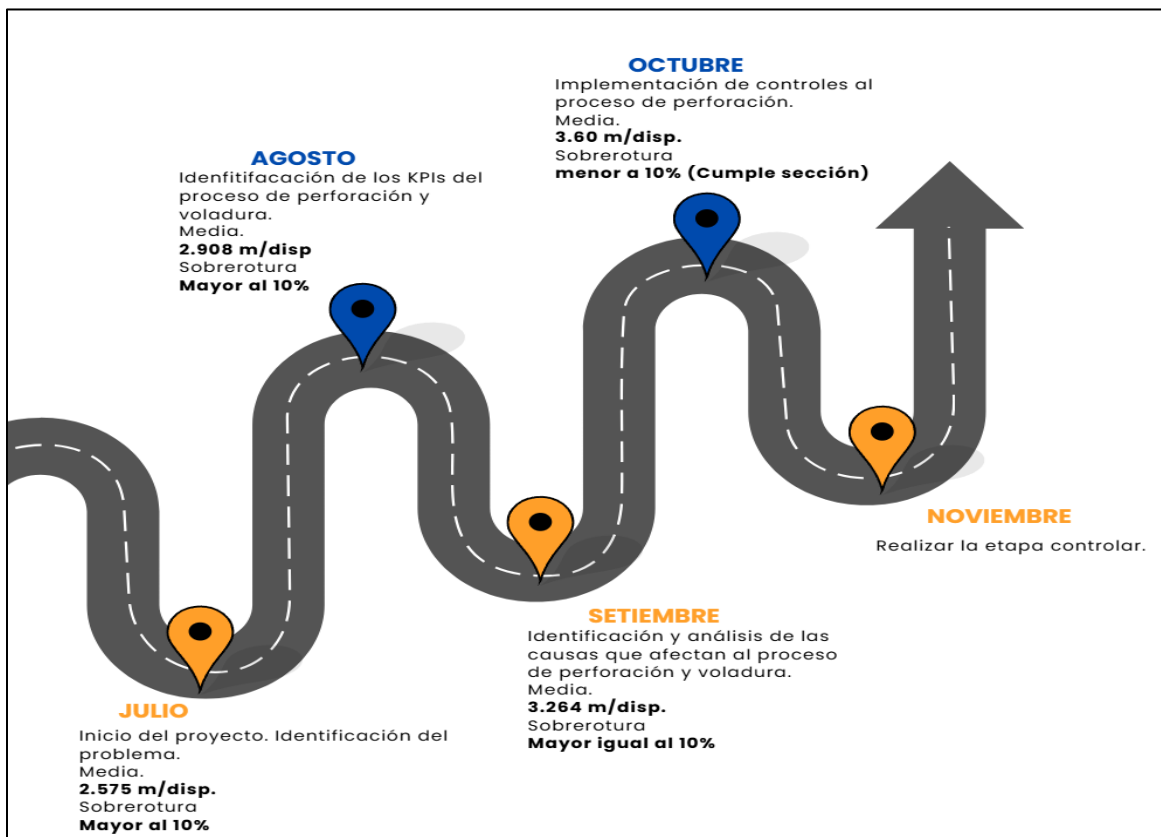
Tabla 12
Porcentaje fuera de especificación – Sobrerotura por disparo



Nota: La figura muestra que existe una reducción del % fuera de especificación de los resultados de voladura - Sobrerotura (LES= 10%), del 100% a 37.5%

Como resumen se vio mejoras en los resultados de la voladura realizadas en el CX 4040, se desea seguir de esa manera en la etapa controlar.

Figura 98
Resumen de metros de avance y sobrerotura por disparo CX 4040



Nota: La figura muestra el resumen de los resultados en el proceso de perforación y voladura obtenidos durante los meses de Julio, agosto, Setiembre y octubre, donde se observa una mejora significativa tanto en metros de avance y sobrerotura.

3.8.5. Etapa Controlar.

Se inicia la etapa controlar o de control, siendo este el paso final de la metodología, la cual asegurara la sostenibilidad de las mejoras implementas al establecer controles que permitirán mantener el proceso.

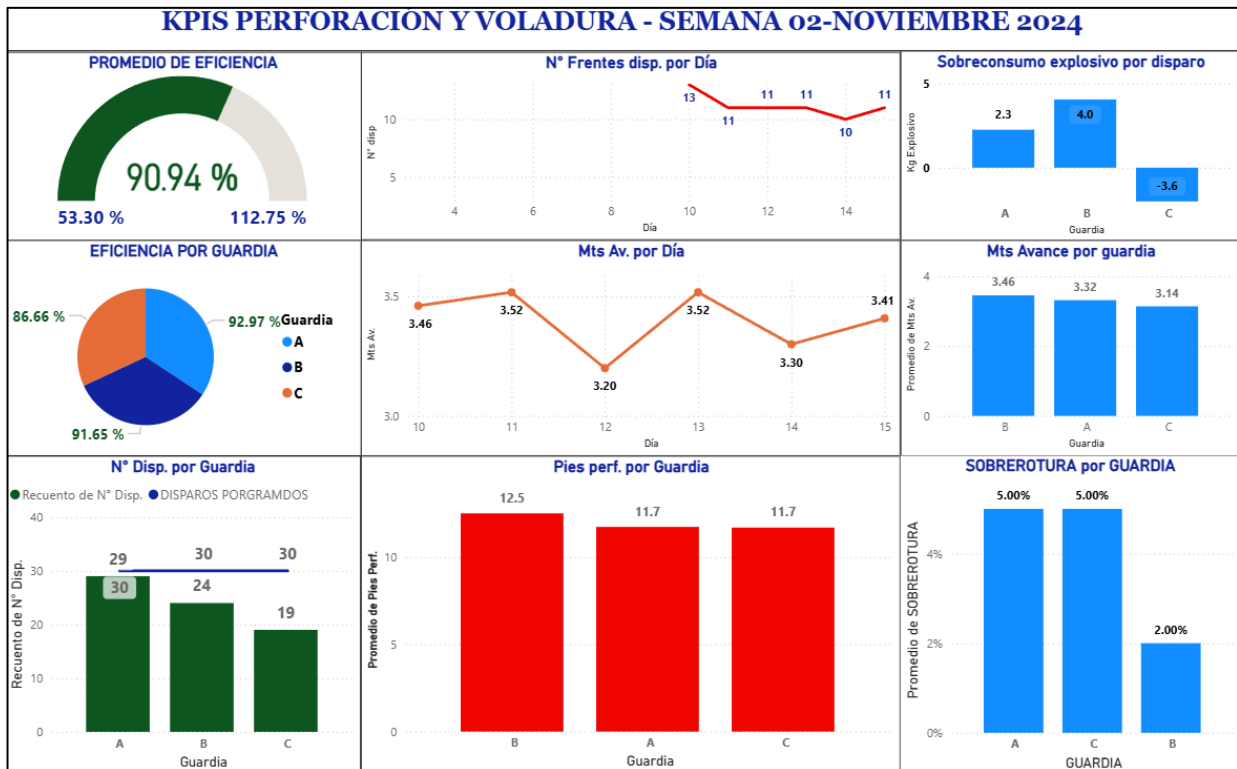
Siendo estos controles, implementar gráficos de control, crear formatos de reportes de voladura y capacitación constantemente al personal.

a) Gráfico de control

Para poder tener un control de nuestro proceso, se procedió a elaborar en el Power Bi un gráfico dinámico (dashboard).

Figura 99

Dashboard Kpis Perforación y voladura- UM Catalina Huanca



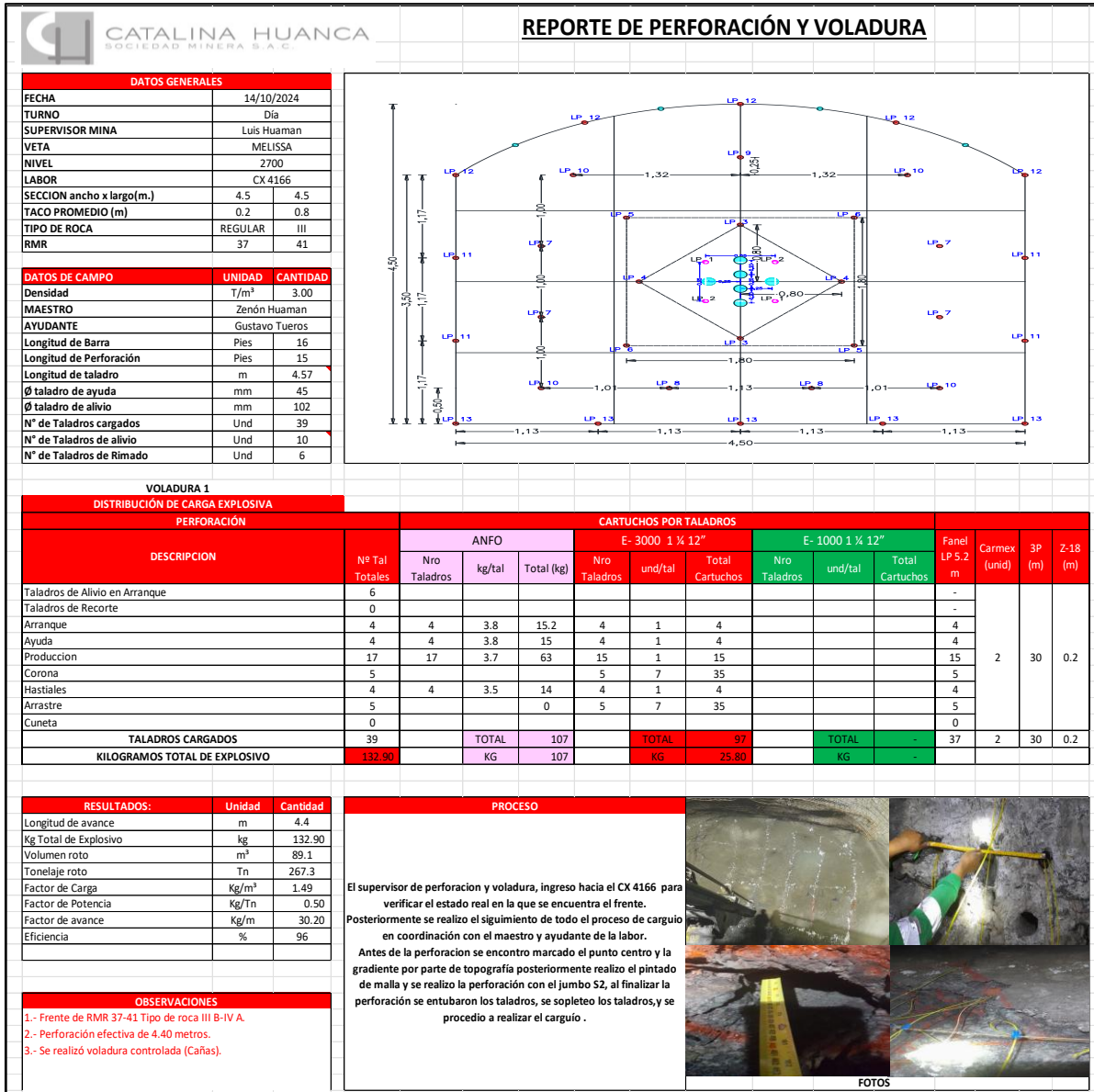
Nota: La figura muestra un gráfico dinámico (Dashboard) que es implementado para dar a conocer nuestros resultados de voladura con la supervisión.

El control de KPI de perforación y voladura se inició a elaborar con frecuencia por guardia. Dando a conocer a los trabajadores los resultados de voladura, de misma manera se programaron reuniones semanales con superintendencia Mina para analizar los resultados.

b) Formato de reporte de voladura.

Se elaboró un formato de reporte de voladura, dando a conocer los datos generales del campo, acompañado de la malla de perforación a perforar en campo, con su respectiva distribución de carga explosiva, en donde se da conocen los resultados, el proceso de perforación y voladura, y las observaciones que se presentan durante el proceso.

Figura 100
 Formato de reporte de perforación y voladura




PROCESO
<p>El supervisor de perforación y voladura, ingreso hacia el CX 4166 para verificar el estado real en la que se encuentra el frente.</p> <p>Posteriormente se realizo el seguimiento de todo el proceso de carguio en coordinación con el maestro y ayudante de la labor.</p> <p>Antes de la perforacion se encontro marcado el punto centro y la gradiente por parte de topografía posteriormente realizo el pintado de malla y se realizo la perforación con el jumbo S2, al finalizar la perforación se entubaron los taladros, se sopleto los taladros, y se procedio a realizar el carguio .</p>



FOTOS

OBSERVACIONES
<p>1.- Frente de RMR 37-41 Tipo de roca III B-IV A.</p> <p>2.- Perforación efectiva de 4.40 metros.</p> <p>3.- Se realizó voladura controlada (Cañas).</p>

Nota: La figura muestra el reporte diario de perforación y voladura donde se da a conocer las actividades realizadas por frente de trabajo.

c) Capacitación al personal

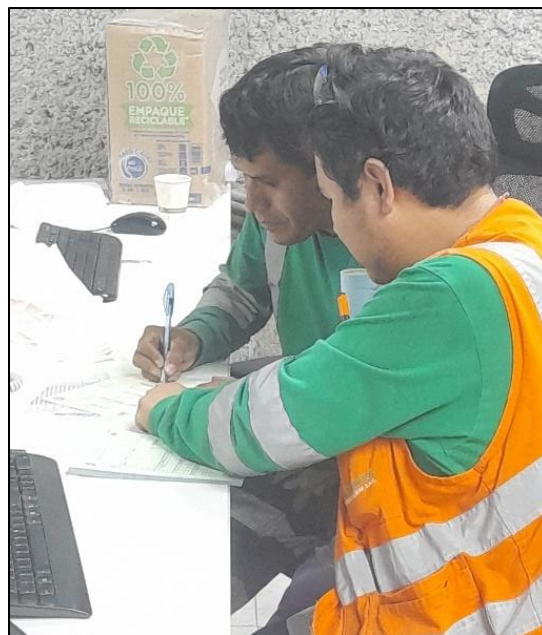
Se realizó capacitaciones al personal de forma diaria en cada reparto de guardia con la finalidad retroalimentar al personal a continuar mejorando nuestros indicadores.

Figura 101
Retroalimentación controles de perforación y voladura



Nota: La figura muestra la retroalimentación en el uso de controles de perforación y voladura realizada al personal de la guardia A en el NV 090.

Figura 102
Retroalimentación al bodeguero



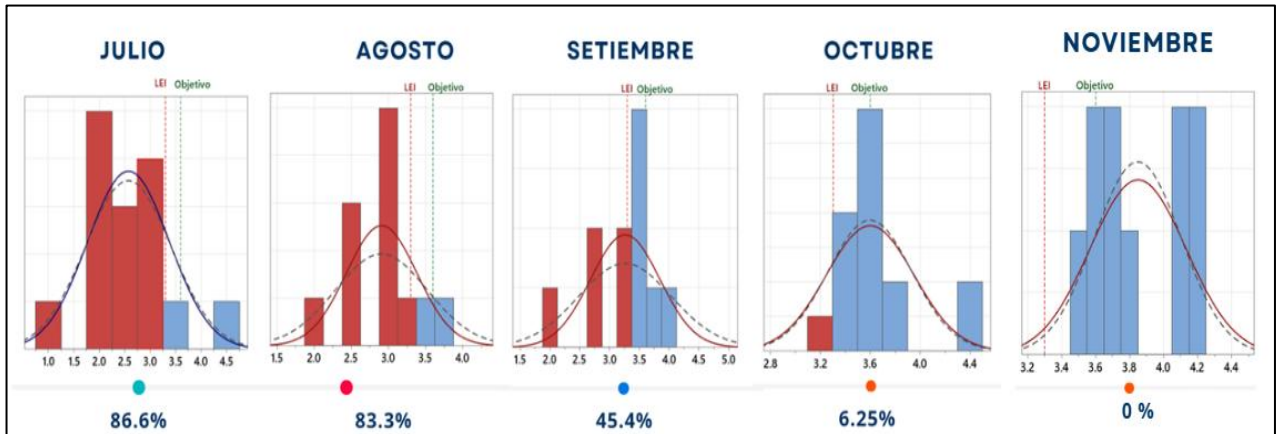
Nota: La figura muestra la retroalimentación al bodeguero para realizar el llenado correcto de los vales de explosivos.

d) Porcentaje fuera de especificación de Kpis.

A continuación, se muestran los porcentajes fuera de especificación para nuestros indicadores que son metros de avance por disparo y sobrerotura, se ve que para el mes de noviembre los resultados se mantienen por encima los límites en caso de metro de avance por disparo y por debajo en caso de sobrerotura.

Figura 103

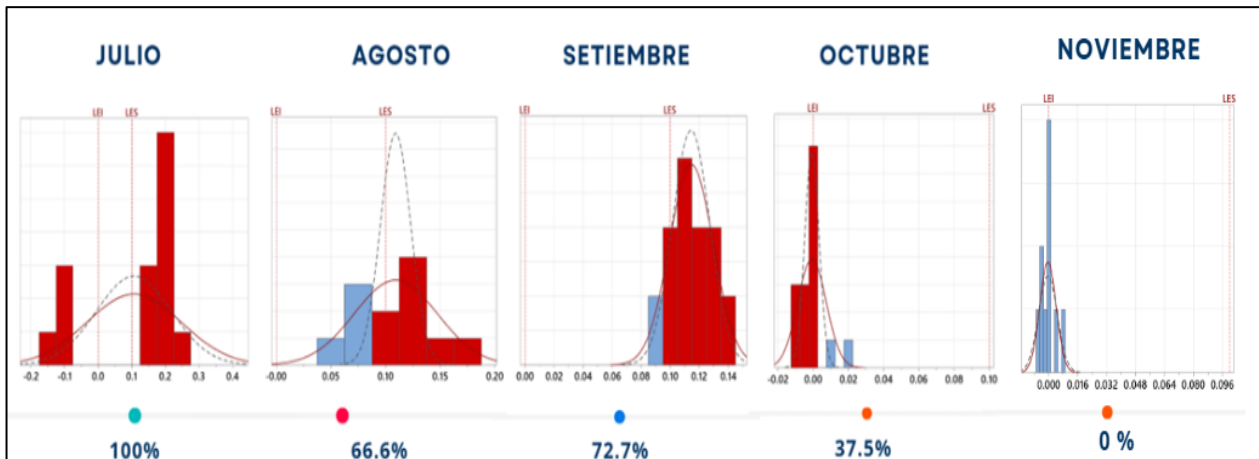
Porcentaje fuera de especificación – metro de avance por disparo



Nota: La figura muestra que existe una reducción del % fuera de especificación de los resultados de voladura – Metro de avance por disparo (LEI= 3.3), del 86.6% a 0%

Figura 104

Porcentaje fuera de especificación – Sobrerotura por disparo



Nota: La figura muestra que existe una reducción del % fuera de especificación de los resultados de voladura - Sobrerotura (LES= 10%), del 100% a 0%

CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

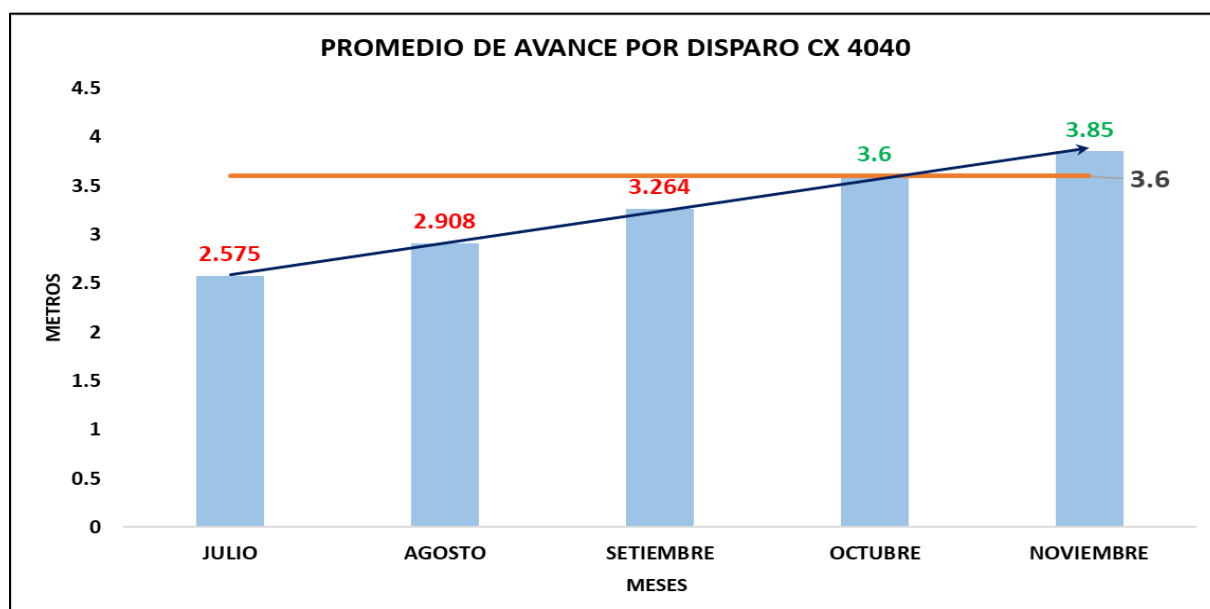
4.1. RESULTADOS INCREMENTO DE METROS DE AVANCE POR DISPARO-CX 4040

Los resultados de voladura del CX 4040 durante el mes de noviembre del 2024 reflejan un promedio de avance real de 3.85 metros, siendo este superior al objetivo que se tiene en la empresa (3.60 metros).

4.1.1. Metros de avance por disparo del CX 4040

El promedio del metro de avance del mes de noviembre del CX 4040, reflejan una mejora en referencia al mes de julio, donde se inicia la implementación de la metodología, estando encima del objetivo que se tiene por la empresa (3.60 metros).

Figura 105
Promedio de avance por disparo del CX 4040

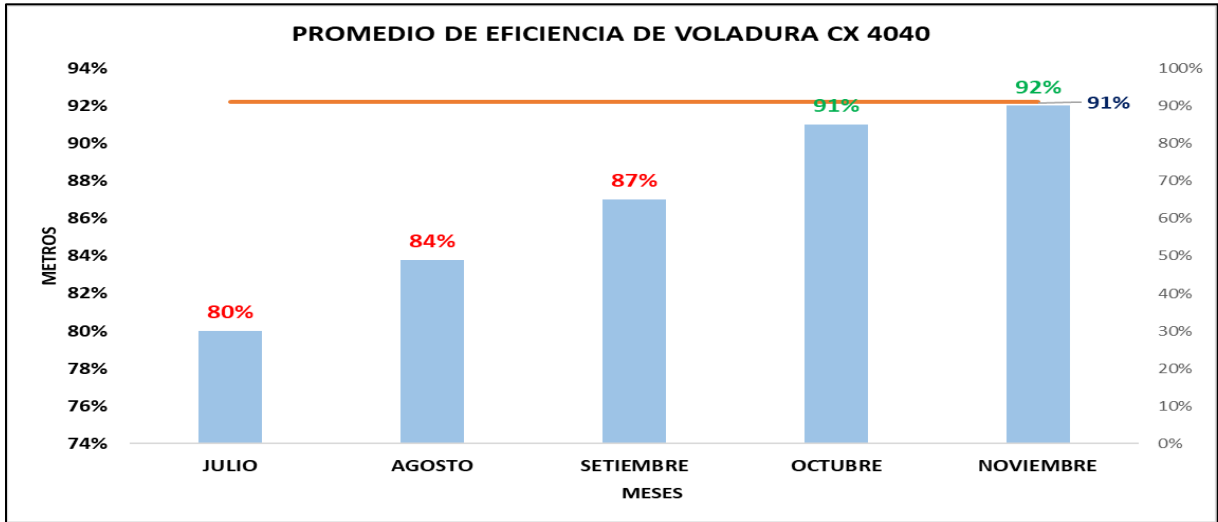


Nota: La figura muestra que se logró incrementar el metro de avance por disparo en un 49% respecto al mes de julio.

4.1.2. Eficiencia de voladura del CX 4040

Los resultados obtenidos en el mes de noviembre de eficiencia de voladura del CX 4040, reflejan una mejora en referencia al mes de julio, donde se inicia la implementación de la metodología, estando igual y/o encima de la eficiencia mínima durante los meses de octubre y noviembre.

Figura 106
 Promedio de eficiencia de voladura- CX 4040

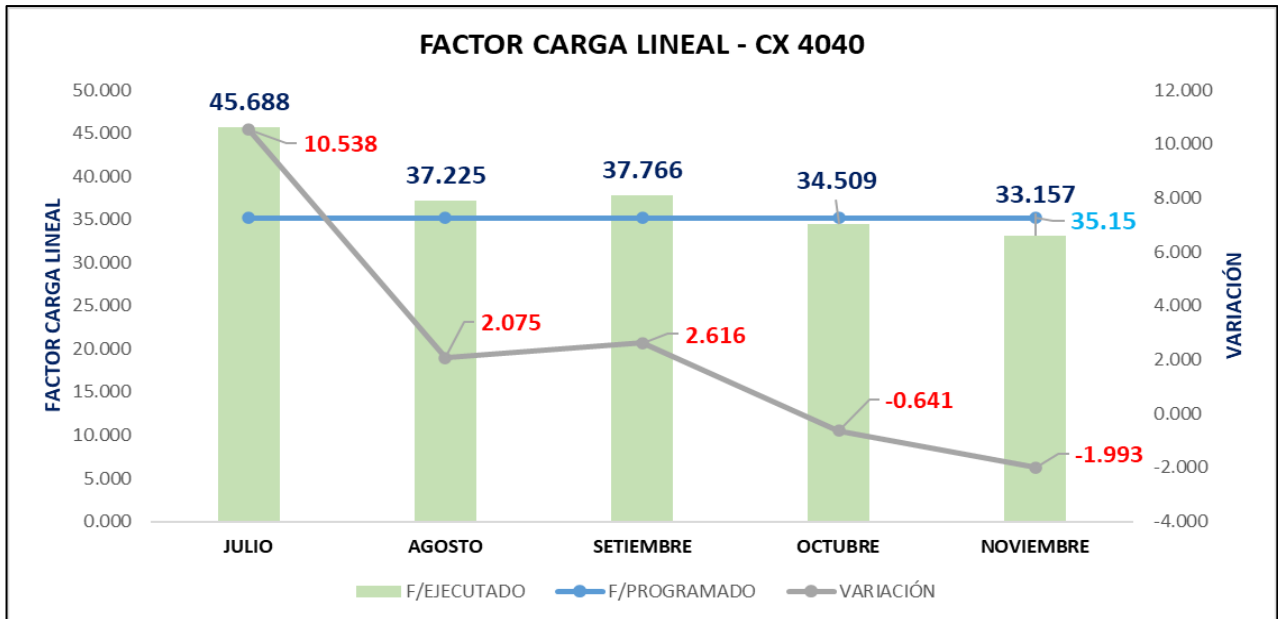


Nota: La figura muestra que se mejoró la eficiencia de voladura, con referencia los meses anteriores, donde nos situábamos debajo del 91%, siendo este la eficiencia mínima de voladura que se maneja en la unidad.

4.1.3. Factor de carga lineal del CX 4040

Para una sección de 4.50 m x 4.50 m, se tiene como estándar un factor de carga línea de 35.15 Kg/ml, se muestra en la figura 113 los resultados, donde se observa una mejora en referencia a los meses de julio, agosto y setiembre.

Figura 107
 Factor Carga Lineal CX 4040



Nota: La figura muestra una reducción de 1.993 Kg/m con respecto al Budget.

4.2. RESULTADO DE SOBROTURA – CX 4040

Los resultados de sobrerotura del CX 4040 del mes de noviembre del 2024, están debajo del Budget (10%), obteniendo un promedio de sobrerotura de 0%, dando a entender que la sección real es igual a la sección programada (4.50 m x 4.50 m).

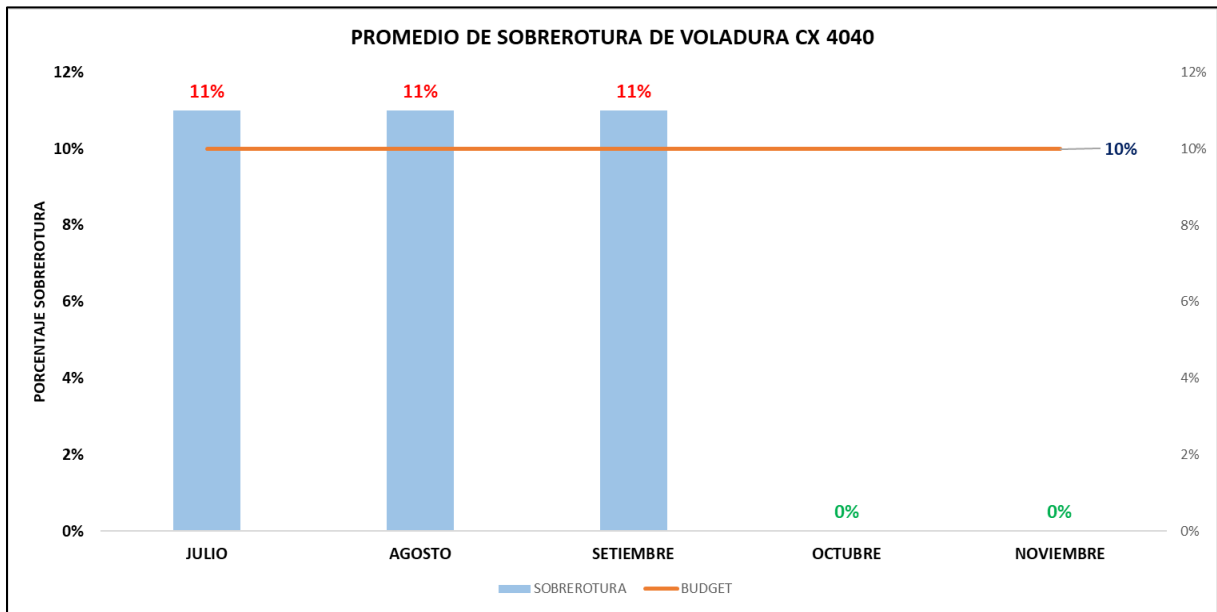
Para lograr, una sobrerotura promedio de 0%, se tomaron diversos controles, voladura con cañas, bolsas de polietileno, taladros de recortes entre otros, con la finalidad de reducir la sobrerotura.

4.2.1. Sobrerotura en el CX 4040

Para una sección de 4.50 m x 4.50 m, se tiene como estándar una sobrerotura no mayor a 10%, se muestra en la figura 115 los resultados, donde se observa una mejora en referencia a los meses de julio, agosto y setiembre.

Figura 108

Promedio de sobrerotura del CX 4040



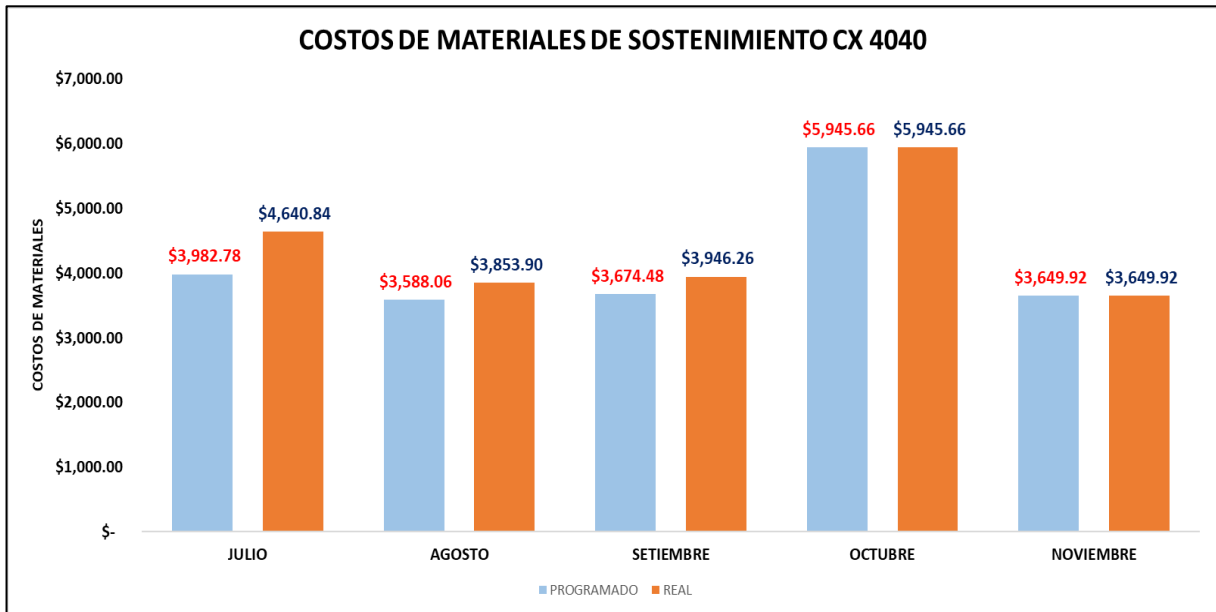
Nota: La figura muestra los promedios por mes de sobrerotura en el CX 4040, donde para los meses de octubre y noviembre se tiene resultados inferiores a 10%.

4.2.2. Reducción de costos de sostenimiento

4.2.2.1. Reducción en costo de materiales de sostenimiento

Los costos de materiales de sostenimiento del mes de noviembre, son iguales los costos que se tienen programados, observando una mejora en referencia a los meses de julio, agosto y setiembre, donde no se cumplía con la sección programada.

Figura 109
 Costos de materiales de sostenimiento CX 4040

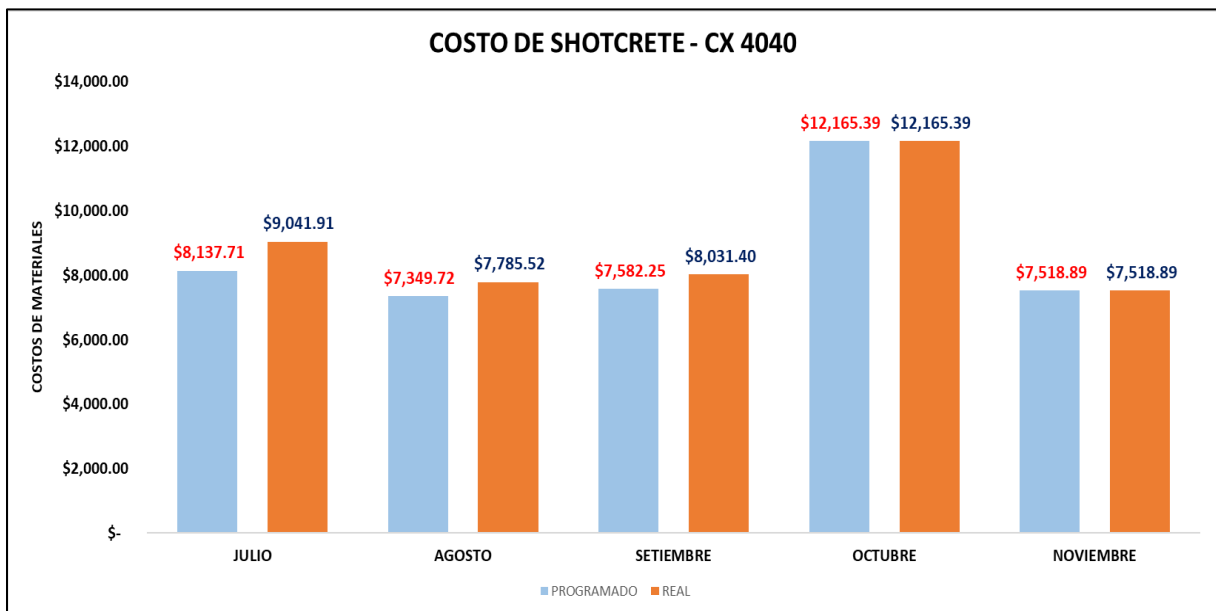


Nota: La figura muestra la comparación del costo de materiales de sostenimiento CX 4040 programado y ejecutado, para el mes de noviembre se ve que el costo programado se mantiene a lo ejecutado en \$ 3,649.92.

4.2.2.2. Reducción en costo de Shotcrete

El costo de shotcrete del mes de noviembre, son iguales los costos que se tienen programados, observando una mejora en referencia a los meses de julio, agosto y setiembre, donde no se cumplía con la sección programada.

Figura 110
 Costo de shotcrete por mes CX 4040



Nota: La figura muestra la comparación del costo de shotcrete del CX 4040, el programado y ejecutado, para el mes de noviembre se ve que el costo programado se mantiene a lo ejecutado en \$ 7,518.89.

4.3. REDUCCIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

Se dan a conocer los costos de perforación y voladura programados para una sección 4.50 m x 4.50 m, basándonos en la malla de perforación estándar que se maneja en la unidad.

Tabla 13

Costo de perforación y voladura (4.50 X 4.50)

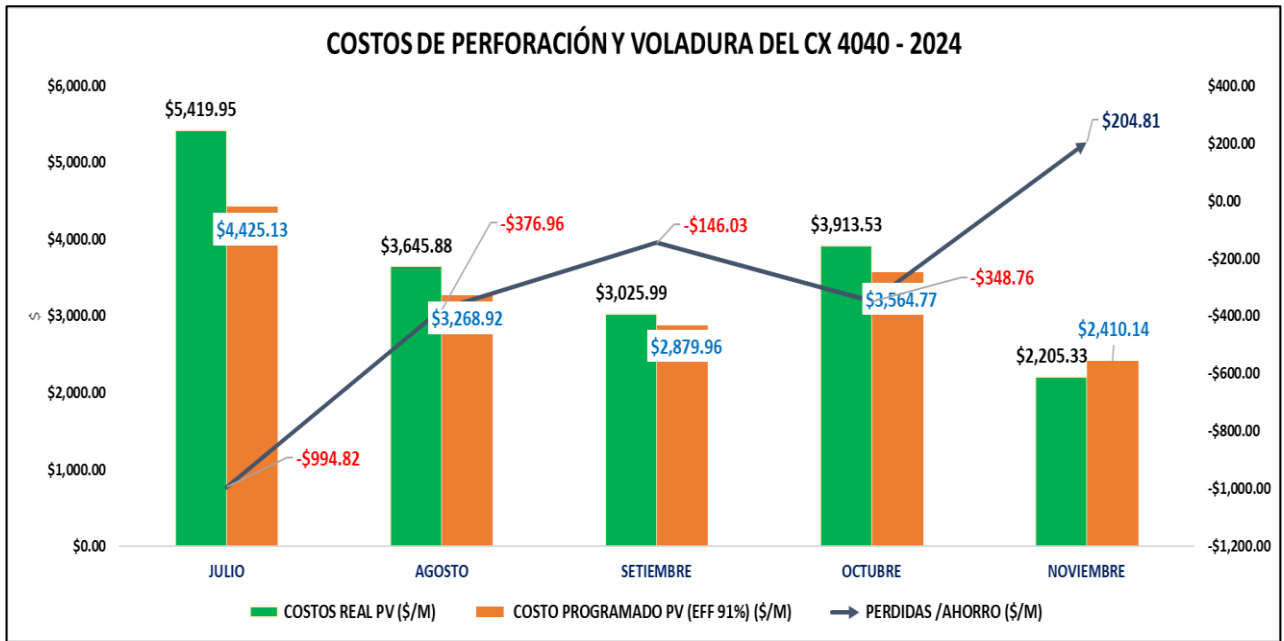
PIES PERFORADOS	EQUIPO	COSTO P/V	COSTOS PV /Metro
8	JUMBO S1 (4/5)	\$ 729.91	\$ 328.94
	JUMBO S2 (6)	\$ 838.15	\$ 377.73
10	JUMBO S1 (4/5)	\$ 766.83	\$ 276.47
	JUMBO S2 (6)	\$ 875.07	\$ 315.49
11	JUMBO S1 (4/5)	\$ 786.24	\$ 257.69
	JUMBO S2 (6)	\$ 894.48	\$ 293.17
12	JUMBO S1 (4/5)	\$ 801.86	\$ 240.91
	JUMBO S2 (6)	\$ 910.11	\$ 273.44
13	JUMBO S1 (4/5)	\$ 827.32	\$ 229.44
	JUMBO S2 (6)	\$ 935.56	\$ 259.46
14	JUMBO S1 (4/5)	\$ 850.13	\$ 218.93
	JUMBO S2 (6)	\$ 958.37	\$ 246.80
15	JUMBO S1 (4/5)	\$ 856.30	\$ 205.82
	JUMBO S2 (6)	\$ 964.55	\$ 231.83

Nota: En la tabla se muestra el costo de perforación y voladura programado para una sección 4.50 m x 4.50 m en base a los diferentes pies perforados.

4.3.1. Reducción de costos de Perforación y voladura del CX 4040

Se muestran los costos de perforación y voladura, tanto el real como programado, observándose pérdidas (\$/m) en los meses de julio, agosto, setiembre y octubre. Para el mes de noviembre se observa un ahorro en costos de perforación y voladura de \$204.81 por metro de avance.

Figura 111
Costos de perforación y voladura CX 4040



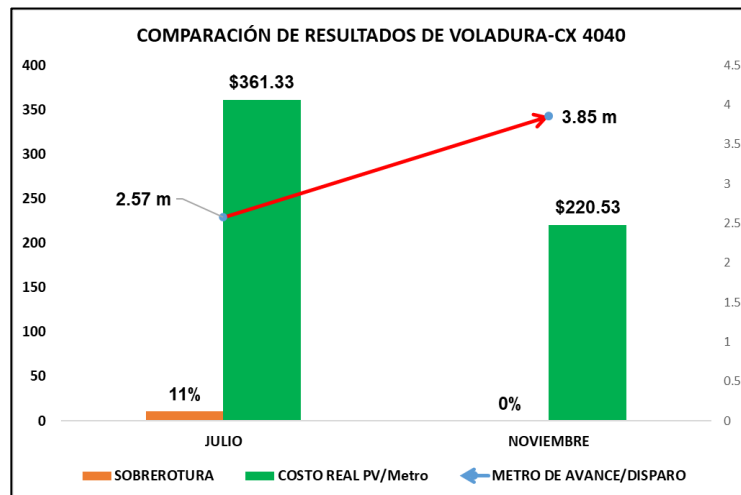
Nota: La figura muestra la comparación entre el costo real vs programado, dando a entender que se sufrieron pérdidas en los meses de julio, agosto y setiembre, esto debido a obtener avances menores a lo que se tienen programados.

4.4. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS

4.4.1. Hipótesis General

La implementación de la metodología Lean Six Sigma, mejora significativamente el proceso de perforación y voladura del CX 4040 en la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025.

Figura 112
Comparación de resultados de voladura del CX 4040



Nota: La figura muestra la comparación de los indicadores tomando como base el mes de julio, mes donde se inicia el proyecto Lean Six Sigma, comparándonos con noviembre mes donde culmina la etapa controlar.

Para demostrar se tiene en cuenta los resultados de las voladuras realizadas en el mes de noviembre (Ultima etapa de LSS), las cuales se obtuvieron resultados que se planearon obtener al realizar el proyecto, Con las demostraciones anteriormente mencionadas y descritas se concluye la metodología Lean Six Sigma, mejora significativamente el proceso de perforación y voladura del CX 4040 en la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025.

4.4.2. Hipótesis Específico 1

La implementación de la metodología Lean Six Sigma, mejora significativamente el avance por disparo del CX 4040 en la unidad minera Catalina Huanca, 2025.

El metro de avance por disparo anteriormente (Julio) es 2.57 m, con la implementación de la metodología Lean Six Sigma, se incrementó a 3.85 m (49%).

Para el análisis de la prueba de normalidad se verifica primero en función a la cantidad de muestra de las variables, para este caso se tiene muestras de 15 y 10 siendo menor a 50, en ese sentido la prueba estadística favorable a utilizar es de Shapiro-Wilks, que permite determinar el tipo de distribución de las variables de estudio, para lo cual se plantea la siguiente hipótesis

- ✓ H0: Los datos tiene una distribución normal
- ✓ Hi: Los datos no tiene una distribución normal

Para lo cual se tendrá una confianza es 95% y la significancia (alfa) es 5%

Tabla 14
Prueba de normalidad Hipótesis #01

Tabla Prueba de Normalidad de Shapiro - Wilk			
	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig
Pre-Metro	0,974	15	0,1
Post-Metro	0,953	10	0,1

Nota: La tabla muestra la prueba de normalidad de shapiro Wilk realizo en el software Minitab.

Criterio de decisión

- ✓ Si $p < 0.05$ rechazamos la H0 y aceptamos la Hi
- ✓ Si $p \geq 0.05$ aceptamos la H0 y rechazamos la Hi

Los resultados determinan que aceptemos la hipótesis nula (H_0 : la variable tiene distribución normal) en todas las variables, por lo tanto, aplicamos la estadística paramétrica.

A continuación, se determina si las muestras de los dos grupos que son de los meses de julio y noviembre difieren significativamente.

Siendo

- ✓ μ_1 : Media de población de metro de avance mes de julio (Pre_Metro)
- ✓ μ_2 : Media de población de metro de avance mes de Noviembre (Post_Metro)

Planteamiento de la hipótesis para verificar la relación

- ✓ $H_0: \mu_1 = \mu_2$ (Las medias son iguales, no hay diferencia significativa entre el pre y post)
- ✓ $H_i: \mu_1 \neq \mu_2$ (Las medias son diferentes, si hay diferencia significativa entre el pre y post)

Nivel de significancia es

$\alpha = 0.05$

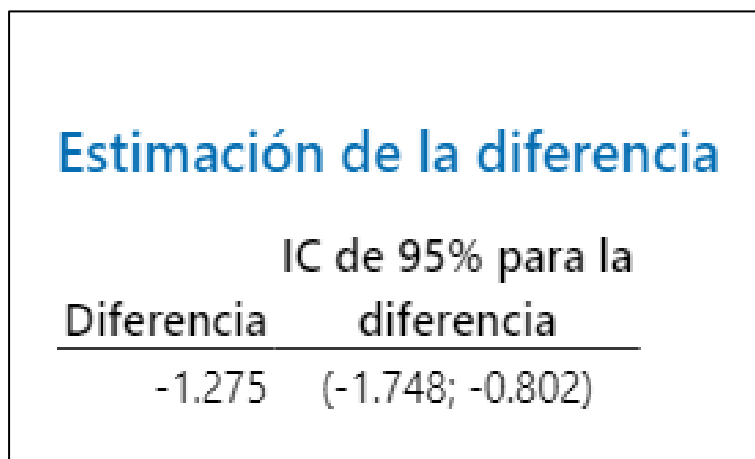
Criterio de decisión

- ✓ Si $p < 0.05$ rechazamos la H_0 y aceptamos la H_i
- ✓ Si $p \geq 0.05$ aceptamos la H_0 y rechazamos la H_i

Se obtuvieron los siguientes resultados

Figura 113

Estimación de la diferencia de muestras



Nota: La figura muestra la estimación de la diferencia de las muestras donde se observa que varían en -1.275.

Figura 114
Prueba de hipótesis

Prueba		
Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$	
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	
<u>Valor T</u>	<u>GL</u>	<u>Valor p</u>
-5.66	18	0.000

Nota: La figura muestra los resultados de la prueba de hipótesis en el software Minitab teniendo un valor p igual 0.

Se concluye que el valor p es igual a 0, siendo este $p < 0.05$, por lo tanto, se rechaza la H_0 y se acepta la H_1 . Por lo tanto, si hay una diferencia de medidas entre el pre y post de las variables del metro de avance por disparo, concluyen finalmente que la metodología Lean Six Sigma si mejora significativamente el metro de avance por disparo del CX 4040.

4.4.3. Hipótesis Específico 2

La implementación de la metodología Lean Six Sigma, reduce notablemente la sobrerotura del CX 4040 en la unidad minera Catalina Huanca, 2025.

La sobrerotura anteriormente (Julio) es de 11% (Mayor a 10%), con la implementación de la metodología, se redujo a 0%.

Para el análisis de la prueba de normalidad se verifica primero en función a la cantidad de muestra de las variables, para este caso se tiene muestras de 15 y 10 siendo menor a 50, en ese sentido la prueba estadística favorable a utilizar es de Shapiro-Wilks, que permite determinar el tipo de distribución de las variables de estudio, para lo cual se plantea la siguiente hipótesis

- ✓ H_0 : Los datos tiene una distribución normal
- ✓ H_1 : Los datos no tiene una distribución normal

Para lo cual se tendrá una confianza es 95% y la significancia (alfa) es 5%

Tabla 15

Prueba de normalidad Hipótesis #02

Tabla Prueba de Normalidad de Shapiro - Wilk			
	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig
Pre-Sobre	0,850	15	0,01
Post-Sobre	0,980	10	0,1

Nota: La tabla muestra la prueba de normalidad de shapiro Wilk realizado en el software Minitab.

Criterio de decisión

- ✓ Si $p < 0.05$ rechazamos la H_0 y aceptamos la H_i
- ✓ Si $p \geq 0.05$ aceptamos la H_0 y rechazamos la H_i

Los resultados determinan que aceptemos la hipótesis nula (H_0 : la variable tiene distribución normal) en una de las variables, por lo tanto, aplicamos la estadística paramétrica.

A continuación, se determina si las muestras de los dos grupos que son de los meses de julio y noviembre difieren significativamente.

Siendo

- ✓ μ_1 : Media de población de sobrerotura mes de julio (Pre_Sobre)
- ✓ μ_2 : Media de población de sobrerotura mes de Noviembre (Post_Sobre)

Planteamiento de la hipótesis para verificar la relación

- ✓ $H_0: \mu_1 = \mu_2$ (Las medias son iguales, no hay diferencia significativa entre el pre y post)
- ✓ $H_i: \mu_1 \neq \mu_2$ (Las medias son diferentes, si hay diferencia significativa entre el pre y post)

Nivel de significancia es

Alfa = 0.05

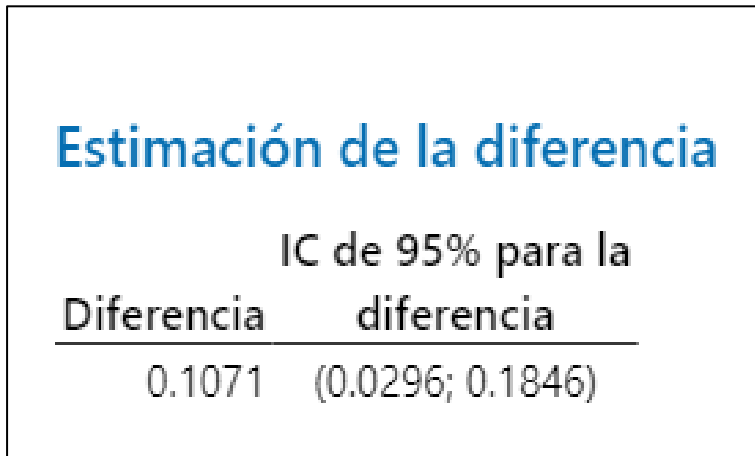
Criterio de decisión

- ✓ Si $p < 0.05$ rechazamos la H_0 y aceptamos la H_i
- ✓ Si $p \geq 0.05$ aceptamos la H_0 y rechazamos la H_i

Se obtuvieron los siguientes resultados

Figura 115

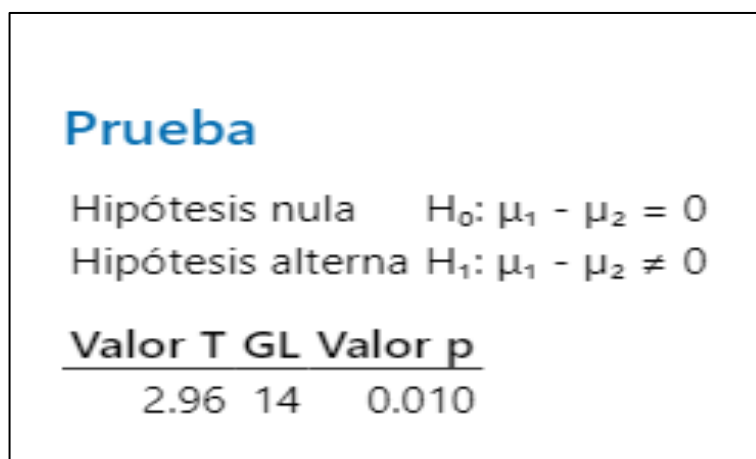
Estimación de la diferencia de muestras-Minitab



Nota: La figura muestra la estimación de la diferencia de las muestras donde se observa que varían en 1.071.

Figura 116

Prueba de hipótesis - Minitab



Nota: La figura muestra los resultados de la prueba de hipótesis en el software Minitab teniendo un valor p igual 0.010.

Se concluye que el valor p es igual a 0.010, siendo este $p < 0.05$, por lo tanto, se rechaza la H_0 y se acepta la H_1 . Por lo tanto, si hay una diferencia de medidas entre el

pre y post de las variables de la sobrerotura por disparo, concluyen finalmente que la metodología Lean Six Sigma si reduce notablemente la sobrerotura del CX 4040.

4.4.4. Hipótesis Específico 3

La implementación de la metodología Lean Six Sigma, reduce significativamente el costo de perforación y voladura del CX 4040 en la unidad minera Catalina Huanca, 2025.

El costo de perforación y voladura por metro de avance anteriormente (Julio) es de \$361.33, con la implementación de la metodología Lean Six Sigma, se redujo a \$220.53.

Para el análisis de la prueba de normalidad se verifica primero en función a la cantidad de muestra de las variables, para este caso se tiene muestras de 15 y 10 siendo menor a 50, en ese sentido la prueba estadística favorable a utilizar es de Shapiro-Wilks, que permite determinar el tipo de distribución de las variables de estudio, para lo cual se plantea la siguiente hipótesis

- ✓ H0: Los datos tiene una distribución normal
- ✓ Hi: Los datos no tiene una distribución normal

Para lo cual se tendrá una confianza es 95% y la significancia (alfa) es 5%

Tabla 16

Prueba de normalidad Hipótesis #03

Tabla Prueba de Normalidad de Shapiro - Wilk			
	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig
Pre-cost	0,769	15	0,01
Post-cost	0,912	10	0,044

Nota: La tabla muestra la prueba de normalidad de shapiro Wilk realizo en el software Minitab.

Criterio de decisión

- ✓ Si $p < 0.05$ rechazamos la H0 y aceptamos la Hi
- ✓ Si $p \geq 0.05$ aceptamos la H0 y rechazamos la Hi

Los resultados determinan que rechacemos la hipótesis nula (H0: la variable no tiene distribución normal) en todas las variables, por lo tanto, aplicamos la estadística no paramétrica.

A continuación, se realiza la prueba de Rangos de Dos Muestras de Mann Whitney, para determinar si las muestras difieren significativamente.

Siendo

- ✓ μ_1 : Media de población de costo de perforación y voladura mes de julio (Pre_cost)
- ✓ μ_2 : Media de población de costo de perforación y voladura mes de Noviembre (Post_cost)

Planteamiento de la hipótesis para verificar la relación

- ✓ $H_0: \mu_1 = \mu_2$ (Las medias son iguales, no hay diferencia significativa entre el pre y post)
- ✓ $H_i: \mu_1 \neq \mu_2$ (Las medias son diferentes, si hay diferencia significativa entre el pre y post)

Nivel de significancia es

Alfa = 0.05

Criterio de decisión

- ✓ Si $p < 0.05$ rechazamos la H_0 y aceptamos la H_i
- ✓ Si $p \geq 0.05$ aceptamos la H_0 y rechazamos la H_i

Se obtuvieron los siguientes resultados

Figura 117

Estimación de la diferencia de muestras

Estimación de la diferencia		
Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
103.580	(65.5901; 144.928)	95.11%

Nota: La figura muestra la estimación de la diferencia de las muestras donde se observa que varían en 103.580.

Figura 118

Prueba de hipótesis

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

<u>Método</u>	<u>Valor W</u>	<u>Valor p</u>
No ajustado para empates	266.00	0.000
Ajustado para empates	266.00	0.000

Nota: La figura muestra los resultados de la prueba de hipótesis en el software Minitab teniendo un valor p igual 0.000 en ambos métodos tanto en no ajustado para empates como en ajustado.

Se concluye que el valor p es igual a 0, siendo este $p < 0.05$, por lo tanto, se rechaza la H_0 y se acepta la H_1 . Por lo tanto, si hay una diferencia de medidas entre el pre y post de las variables del costo de perforación y voladura, concluyen finalmente que la metodología Lean Six Sigma si mejora significativamente el proceso de perforación y voladura del CX 4040.

4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El planteamiento como objetivo general es determinar la efectividad de la implementación de la metodología Lean Six Sigma, mejora el proceso de perforación y voladura del CX 4040 de la Unidad Minera Catalina Huanca-2025. Al realizar la implementación de la metodología Lean Six Sigma, se logró incrementar el promedio de metro de avance por disparo en un 1.28 mts respecto al mes de julio, reducir la sobrerotura en un 11% y reducir el costo de perforación y voladura por metro de avance de \$361.33 a \$220.53.

Como primer objetivo es determinar la efectividad de la implementación de la metodología Lean Six Sigma, mejora el avance por disparo del CX 4040 de la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025.

Para este indicador, se partió de un total de 15 voladuras realizadas durante el mes de Julio-2024, teniendo como promedio un avance por disparo de 2.57 m, con la implementación se incrementó a 3.85 m, por lo tanto, se incrementó el metro de avance por disparo en 1.28m (49%), de mismo modo se incrementó la eficiencia de voladura de un 80% a un 92%, siendo este último superior al 91% que se maneja como eficiencia mínima en la unidad. Adicionalmente se redujo el factor de carga lineal de 45.688 Kg a 33.157 Kg por metro lineal (28%), siendo este último inferior al factor lineal programado para una sección de 4.50 x 4.50 m (35.15 Kg/ml). Estos resultados son similares al

obtenido por Infantas Daniel (2021), donde se logró mejorar el metro de avance en un 14.7 % y el factor de carga lineal se redujo en un 13.8%.

Como segundo objetivo es determinar la efectividad de la implementación de la metodología Lean Six Sigma, reduce la sobrerotura del CX 4040 de la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025.

Para este indicador, se partió de un total de 15 voladuras realizadas durante el mes de Julio-2024, teniendo como promedio una sobrerotura de un 11%, donde se observó un descontrol de los resultados, con la implementación se redujo a 0%, por lo tanto, se redujo la sobrerotura en un 11%, de mismo modo se redujo el costo de materiales de sostenimiento con un costo inicial de \$ 4,640.84 a \$ 3,649.82, de la misma manera, se redujo el costo del lanzado de concreto (Shotcrete), de \$ 9,041.91 a \$ 7,518.89. Estos resultados son similares a los obtenidos por Huincho Torres (2022), donde se logró reducir la sobrerotura en un 6.20 %, igualmente Baltazar Ramos (2022) logró una reducción de costos de shotcrete en 43,088 \$ a 19,827\$, con una reducción de costo de 23,261 \$.

Como tercer objetivo es determinar la efectividad de la implementación de la metodología Lean Six Sigma, reduce el costo de perforación y voladura del CX 4040 de la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025.

El costo de perforación y voladura que se tiene inicialmente es de \$ 361.33 por metro de avance, con la implementación de la metodología Lean Six Sigma, este se redujo a \$ 220.53, siendo este último menor al costo de perforación y voladura que se tenía programado (\$ 241.01 por metro de avance), obteniendo un ahorro \$20.48. Estos resultados son similares a los obtenidos por Infantas Daniel (2021), donde logró reducir los costos de suministros (explosivos, accesorios, aceros, etc.) por metro de avance de \$146 a \$65, es decir un 55% de reducción, de mismo modo los resultados obtenidos por Jhony Sosa (2016), logró reducir el costo por metro lineal de 627.17 \$/m a 582.16 \$/m. obteniéndose un ahorro de 45.01 \$/m.

CONCLUSIONES

1. En el desarrollo de la presente investigación se determinó que la implementación de metodología Lean Six Sigma es efectivo en el proceso de perforación y voladura del CX 4040 en la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025, porque logra mejorar a este proceso, obteniendo buenos resultados en incremento del metro de avance por disparo, reducción de sobrerotura e costos de perforación y voladura.
2. A través de la implementación de la metodología Lean Six Sigma se determinó su efectividad en el proceso, logrando mejorar el metro de avance de 2.57 m a 3.85m, siendo este último mayor al que valor que se planteó con el equipo de trabajo (3.6 m), de igual manera la eficiencia de voladura de un 80% a un 92%. Reduciendo el factor de carga línea de 45.688 Kg a 33.157 Kg por metro lineal (28%).
3. A través de la implementación de la metodología Lean Six Sigma, se logró reducir la sobrerotura en el CX 4040, de un 11% a un 0%, estando debajo del 10%, que es la sobrerotura máxima que se tiene como estándar en la unidad. Esta reducción de sobrerotura, se refleja en la reducción de los costos de materiales de sostenimiento (\$ 4,640.84 a \$ 3,649.82) y shotcrete (\$ 9,041.91 a \$ 7,518.89), al cumplir con la sección con la programada los costos no son elevados y están en relación con lo que se tiene programado.
4. Con la implementación de la metodología Lean Six Sigma, se logró reducir el costo de perforación y voladura, inicialmente con un costo de \$ 361.33 por metro de avance, logrando reducir a \$ 220.53, obteniendo un ahorro de \$20.48 por metro.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda implementar la metodología Lean Six Sigma u otras de mejora continua, en el proceso de perforación y voladura en caso se tengan problemas en este proceso, debido a que constituye una herramienta estratégica que permite reducir la variabilidad, optimizar recursos y garantizar la mejora continua de la operación.
2. Se recomienda continuar con la etapa de controlar para que esta mejora sea sostenible a través del tiempo, es importante también lograr cultivar una cultura con los trabajadores para que sea innecesaria la presencia de un supervisor, es decir, que los controles y mejoras, sean aplicados por ellos mismos.
3. Se recomienda seguir realizando voladura controlada, aplicar cañas en los taladros de la corona, realizar taladros de alivio en contorno y usar las bolsas de polietileno en caso no se tenga cañas, para reducir la sobrerotura, así evitar sobre costos en sostenimiento, tanto en materiales como en el shotcrete.
4. Se recomienda seguir mejorando los resultados de perforación y voladura, para reducir los costos de perforación y voladura. A su vez seguir realizando el control de explosivo por pie de perforación, para no elevar los costos de perforación y voladura por metro lineal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cuevas Hernández, J. (2021). *Metodología Lean Six Sigma aplicada a un caso real de barrenación y voladura en la minería subterránea*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/RepoFi/17669/7/Tesis.pdf>
- Cortés Zablocki, S. (2018). *“Análisis de la implementación del control computarizado en la perforación para desarrollos horizontales”*. [Tesis de Grado, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/170151/Analisis-de-la-implementacion-del-control-computarizado-en-la-perforacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez Villarreal, Y. (2012). *“OPTIMIZACIÓN EN LOS PROCESOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN EL AVANCE DE LA RAMPA EN LA MINA BETHZABETH”*. [Tesis de Grado, Universidad de Ecuador]. <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/168100e9-3468-4499-b1d0-fb5f009065de>
- Moreano Panti, E. (2022). *“Mejora en la gestión de los procesos de perforación y voladura para incrementar el cumplimiento de los programas de preparación y desarrollo a cargo de la empresa IESA S.A. en la mina El Porvenir”*. [Tesis de Grado, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ]. <https://tesis.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/14c7b985-a703-40b9-9656-96e3d0843c45/content>
- Carrasco Rojas, P. (2016). *“APLICACIÓN DEL MÉTODO HOLMBERG PARA OPTIMIZAR LA MALLA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN LA UNIDAD PARCOY- CIA. CONSORCIO MINERO HORIZONTE S.A.”*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional De San Cristóbal De Huamanga]. <https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/740ca185-db9e-4b1d-bbf8-6e7cd5fbf06c/content>
- Sosa Ore, J. (2016). *“Reducción de costos en las operaciones unitarias de perforación y voladura en la Compañía Catalina Huanca Sociedad Minera SAC.”*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional De San Cristóbal De Huamanga]. <https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstreams/5d12e65e-0b2a-4257-956f-e83e7692038c/download>
- Bahamóndez Bravo, M. (2017). *“Implementación sistema de gestión para reducción de costos optimizando el desempeño por componente en equipos mineros. Chile: Universidad de Chile.”*. [Tesis de Grado, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/146289/Implementaci%c3%b3n-Sistema-de-Gesti%c3%b3n-para-Reduci%c3%b3n-de-Costos-Optimizando-el-Desempe%c3%b1o-por-Componentes-en-Equipos-Mineros.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ccatamayo Barrios, H. (2017). *“Aplicación de filosofía Lean en la preparación minera, mina El Teniente Codelco Chile”*. [Tesis de Grado Magister, Universidad de Chile].

<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/147376/aplicacion-de-filosofia-Lean-en-la-preparacion-minera.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Quiroz Alegría R. (2016). *“Implementación de Metodología Lean en Minería Subterránea – Estudio de Caso Esmeralda-Chile”*. [Tesis de Grado Magister, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/140554/Implementacion-de-metodologia-Lean-en-mineria-subterranea-estudio-de-caso-Esmeralda.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Cisternas Cisternas, V. (2016). *“Implementación de Lean al proceso de perforación & tronadura del Rajo Sur - división El Teniente-Codelco Chile”*. [Tesis de Grado Magister, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/142798>

Mendoza Salinas, J. y Liberato Piñan, (2023). *“Evaluación de la etapa de perforación de taladros largos en vetas angostas mediante el enfoque Lean Six Sigma para incrementar la productividad operacional de una mina subterránea al sur del Perú”*. [Trabajo de Suficiencia Profesional, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/670717/Mendoza_SJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y
<https://cybertesis.unmsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/31a110b8-1d03-42b4-88b0-a2b42e9e47d4/content>

Espinoza Picoy, F. y Carreño Rosales, J. (2022). *“Control operativo de los metros de avance por disparo mediante la metodología Lean Six Sigma”*. [Tesis de Grado, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ]. <https://tesis.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/3a0ede80-f495-449a-9424-0d5790feb887/content>

Anchiraico Giraldo, A. y Rojas Oré, K. (2020). *“Optimización del sistema de acarreo y transporte en labores de preparación de las zonas de profundización mediante la metodología Six Sigma operada por la E.C.M. Zicsa en la Unidad Minera Inmaculada”*. [Tesis de Grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/655408/AnchiraicoG_A.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Cruz Ccahuana, J. (2019) *“Optimización del Proceso de Perforación Primaria con el Método Lean Six Sigma en la Unidad Minera Antapaccay”*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional del Altiplano del Perú]. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3279887>

Famesa (2025) Pagina Web. <https://www.famesaexplosivos.com/>

LISTA DE ABREVIATURAS

- DMAIC: Representa las cinco fases de la metodología Lean Six Sigma: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.
- FMEA: Siglas en inglés que significan Análisis Modal de Fallos y Efectos, es una metodología sistemática para identificar, analizar y priorizar posibles fallos en sistemas, productos o procesos
- ANOVA: Significa Análisis de Varianza (Analysis of Variance en inglés). Es una prueba estadística utilizada para comparar las medias de dos o más grupos y determinar si existen diferencias significativas entre ellos.
- LSS: Significa Lean Six Sigma, estrategia de gestión que combina los principios de Lean (eliminar desperdicios) y Six Sigma (reducir defectos) para mejorar la eficiencia y la calidad de los procesos.
- ANFO: Sus siglas significan "Ammonium Nitrate Fuel Oil" (Nitrato de Amonio/Fuel Oil), es un explosivo industrial a granel comúnmente utilizado en minería y construcción.

GLOSARIO

- Budget: En minería, el *budget* es básicamente el presupuesto detallado que estima todos los costos asociados a esas actividades para un periodo determinado (mes, trimestre o año).
- Stakeholders: Hace significado a las partes interesadas en el proyecto.
- Six Pack Summary: Hace significado a un resumen de paquete de seis.
- Factor de carga lineal: Es la cantidad de explosivo (Kg) usada para avanzar un metro lineal. Se calcula dividiendo la masa total de explosivo (Kg) entre los metros obtenidos de la voladura (m).
- Sobrerotura: Es la excesiva fragmentación de la roca en el frente de la voladura, donde se rompe más material del necesario o deseado.
- Shotcrete: También conocido como hormigón proyectado o concreto lanzado, es un proceso de construcción que consiste en aplicar hormigón a alta velocidad sobre una superficie mediante una manguera impulsada por aire comprimido.

ANEXO

Tabla 17
Matriz de consistencia

Título	“IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA LEAN SIX SIGMA PARA MEJORAR EL PROCESO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA DEL CX 4040 EN LA UNIDAD MINERA CATALINA HUANCA-2025”				
Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Metodología	Población y muestra
¿En qué medida la implementación de la metodología Lean Six Sigma, mejora el proceso de perforación y voladura del CX 4040 en la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025	Determinar la efectividad de la implementación de la metodología Lean Six Sigma para mejorar el proceso de perforación y voladura del CX 4040 de la Unidad Minera Catalina Huanca-2025.	La implementación de la metodología Lean Six Sigma, mejorará significativamente el proceso de perforación y voladura del CX 4040 en la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025.	Variable independiente: Metodología Lean Six Sigma. Indicadores <ul style="list-style-type: none"> • Definir. • Medir. • Analizar. • Mejorar • Controlar. 	Tipo de investigación Aplicada Nivel de investigación Explicativa Diseño de investigación Cuasiexperimental	Población: Total, de labores horizontales ejecutados por la Unidad Minera Catalina Huanca durante el año 2024.
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variable dependiente: Proceso de perforación y voladura. Indicadores. <ul style="list-style-type: none"> • Metros de avance por disparo. • Sobrerotura. • Costos de perforación y voladura. 	Instrumentos de investigación <ul style="list-style-type: none"> • Seguimiento en campo. • Observación directa. • Búsqueda de información • Entrevistas 	
¿En qué medida la implementación de la metodología Lean Six Sigma, mejora el avance por disparo del CX 4040 en la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025?	Determinar la efectividad de la implementación de la metodología Lean Six Sigma, para mejorar el avance por disparo del CX 4040 de la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025.	La implementación de la metodología Lean Six Sigma, mejorará significativamente el avance por disparo del CX 4040 en la Unidad Minera Catalina Huanca-2025.		Técnicas de investigación: <ul style="list-style-type: none"> • Estadística Básica • Diagrama de Ishikawa • Diagrama de Pareto • Análisis de Varianza – ANOVA • Análisis FMEA/AFME • Análisis de Regresión 	
¿En qué medida la implementación de la metodología Lean Six Sigma, reduce la sobre rotura en el frente de avance del CX 4040 en la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025?	Determinar la efectividad de la implementación de la metodología Lean Six Sigma, para reducir la sobre rotura en el frente de avance del CX 4040 de la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025.	La implementación de la metodología Lean Six Sigma, reducirá notablemente la sobre rotura en el frente de avance del CX 4040 en la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025.			
¿En qué medida la implementación de la metodología Lean Six Sigma, reduce el costo de perforación y voladura en el frente de avance del CX 4040 en la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025?	Determinar la efectividad de la implementación de la metodología Lean Six Sigma, para reducir el costo de perforación y voladura en el frente de avance del CX 4040 de la Unidad Minera Catalina Huanca-2025.	La implementación de la metodología Lean Six Sigma, reducirá significativamente el costo de perforación y voladura en el frente de avance del CX 4040 en la Unidad Minera Catalina Huanca-2025.			

Figura 119

Data Sobrerotura CX 4040 Mes Julio 2024

Suma de Sobrexcaación				Etiquetas de columna								
ESTRUCTURA	LABOR	SECCION	TIPO ROCA	BUDGET	03 Jul - 10 Jul		11 Jul- 17 Jul		18 Jul - 24 Jul		24 Jul - 31 Jul	
					Gdia. B	Gdia. C	Gdia. A	Gdia. B	Gdia. A	Gdia. C	Gdia. B	Gdia. C
DOÑA MARIA	CX_4052	5 x 4.5	IIIB	10%	1%	***	***	***	1%	***	***	***
	CX_3828_G	4.5 X 4.5		10%	***	***	***	4%	***	***	4%	***
GLORIA	RP_5221	5 x 4.5	IV A	15%	***	1%	***	***	***	1%	***	***
	CX_524	4.5 x 4.5	IIIB	15%	***	-12%	***	18%	***	***	***	18%
		4.5 x 5		10%	***	1%	***	***	***	***	***	***
	RP_3890	4.5 x 4.5	IIIB - IVA	***	***	***	***	***	***	-12%	***	***
RP_3840	IIIB		10%	***	***	***	0%	***	-1%	***	***	
MELISSA	CX_3737	5 x 5	IIIB	***	-13%	***	***	***	-13%	***	***	0%
	RP_5221	5 x 4.5		IVA	15%	***	***	***	-4%	***	***	***
	BP_4217	4 x 4		***	10%	10%	***	***	10%	***	***	-4%
NORMA 245	CX_4050	5 x 4.5	IIIB	10%	***	***	-8%	***	***	***	-8%	
DOÑA MARIA PISO	CX_4040	4.5 x 4.5		10%	***	17%	20%	***	-12%	***	19%	
MELISSA3	CX_3837	5 x 5	IIIB	10%	***	***	-6%	***	***	***	***	
MARIELLA	CX_3890	4 x 4		10%	***	***	10%	***	***	***	10%	

Figura 120
Plano del CX 4040

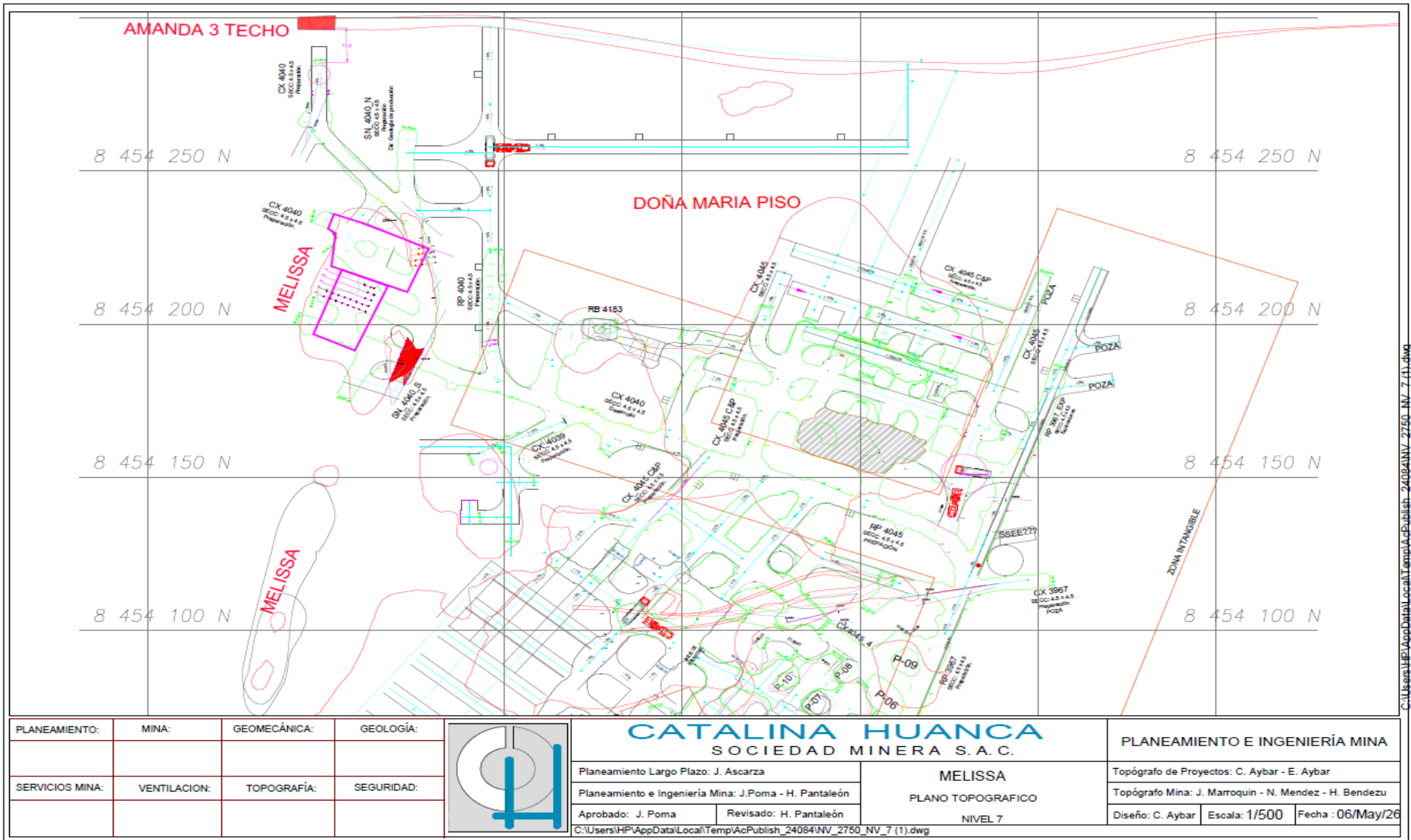


Figura 121

Costo de perforación y voladura CX 4040 - 12 FT

SECC. 4.5 X 4.5 - PERFORACIÓN Y VOLADURA						
Sección:	4.5 x 4.5 mts					
Long. Perforación:	12 pies					
Nro. Tal. Perfor:	45 tal					
Nro. Tal. Carg:	39 tal					
Avance/Diparo:	3.33 mts					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	C. Unitario	VIDA ÚTIL	C. X DISP	COSTO (US\$/m)
1.0 MANO DE OBRA					95.00	28.54
Jumbero	Tarea	0.30	100.00		30.00	9.01
Ayudante Jumbero	Tarea	0.30	75.00		22.50	6.76
Cargadores	Tarea	0.50	85.00		42.50	12.77
2.0 EXPLOSIVOS					211.71	63.61
Emulnor 1.1/4" 1000 X 8"	KG	6.09	2.22		13.54	4.07
Emulnor 1.1/4" 3000 X 12"	KG	25.80	2.42		62.33	18.73
Anfo	KG	54.00	1.40		75.62	22.72
Pentacord	MT	35.00	0.22		7.57	2.27
Mecha Rapida	MT	0.10	0.35		0.03	0.01
Camex	UN	2.00	0.75		1.50	0.45
Fanel 4.8 Mt	UN	0.00	0.00		0.00	0.00
Fanel 5.2 Mt	UN	39.00	1.31		51.11	15.36
Fanel 7 Mt	UN	0.00	0.00		0.00	0.00
Fanel 15 Mt	UN	0.00	2.47		0.00	0.00
Fanel 18 Mt	UN	0.00	0.00		0.00	0.00
3.0 ACEROS DE PERFORACION					74.09	22.26
Acople T38	mt	164.59	51.04	8,483.00	0.99	0.30
Shank T38	mt	164.59	164.33	8,483.00	3.19	0.96
Barra 14'	mt	164.59	368.93	4,800.00	12.65	3.80
Shank S2	mt	164.59	220.54	8,483.00	4.28	1.29
Barra 16'	mt	164.59	379.26	4,800.00	13.00	3.91
Barra 5' TL	mt	0.00	219.23	230.00	0.00	0.00
Shank Simba	mt	0.00	343.90	1,837.00	0.00	0.00
Copa Afilado	mt	0.00	129.16	266.00	0.00	0.00
Broca 45 MM	mt	164.59	47.38	300.00	25.99	7.81
Broca 64 MM TL	mt	0.00	110.94	401.00	0.00	0.00
Rimadora 102 MM	mt	21.95	184.07	289.00	13.98	4.20
Rimadora 127 MM TL	mt	0.00	334.21	289.00	0.00	0.00
4.0 HERRAMIENTAS Y OTROS					71.80	21.57
Manguera Antiestatica 3/4"	MT	0.67	19.24	15	12.83	3.85
Manguera 1"	MT	0.33	2.70	15	0.90	0.27

Fosforos	CJ	0.03	0.08	10	0.00	0.00
Pita-Pavilo	RL	0.01	9.41	20	0.12	0.04
Hilo Negro O Rafia	UN	0.01	2.51	20	0.03	0.01
Llave De Cadena	UN	0.00	126.81	90	0.35	0.11
Lampa Tipo Cuchara	PZ	0.01	7.80	20	0.10	0.03
Pico Minero	PZ	0.01	21.86	30	0.18	0.05
Arco Para Sierra	UN	0.00	16.17	60	0.07	0.02
Hebilla De 1/2"	CJ	0.01	30.95	30	0.26	0.08
Flexometro 5 Mt	UN	0.01	5.35	30	0.04	0.01
Alcayata	UN	0.04	4.10	90	0.18	0.05
Cizalla De Mano 14"	UN	0.00	25.33	60	0.11	0.03
Scaling Bar	UN	0.00	25.36	60	0.11	0.03
Band It Herramienta	UN	0.00	114.95	90	0.32	0.10
Cinta Band It 1/2"	RL	0.01	31.61	30	0.26	0.08
Cancamo	UN	0.04	4.60	90	0.20	0.06
Cargador De Anfo	UN	0.00	59.84	60	0.25	0.07
EscaleraTelescopica	UN	0.01	302.83	30	2.52	0.76
Lampara Inalambrica	UN	0.00	93.12	365	0.06	0.02
Atacador De Madera 1" X 3Mt	UN	0.01	10.00	30	0.08	0.03
Cuñas De Madera	UN	0.80	1.60	5	1.28	0.38
Pintura Esmalte	GL	0.05	13.46	10	0.67	0.20
Pintura Spray Rojo	UN	0.50	2.65	2	1.33	0.40
Tuberia Azul 2"	MT	0.60	2.42	5	1.45	0.44
Tuberia Verde 2"	MT	0.60	2.42	5	1.45	0.44
Conexion Mixta Rosca - Escama 1"	UN	0.00	11.70	60	0.05	0.01
Niple 1"	UN	0.00	1.40	60	0.01	0.00
Reduccion Bushing 2"	UN	0.00	2.29	60	0.01	0.00
Tee 1"	UN	0.00	2.30	180	0.00	0.00
Niple Escamado 3/4"	UN	0.00	9.01	60	0.04	0.01
Tubo De Arrastre 3Mt	UN	38.00	1.12	1	42.56	12.79
Valvula De Bola 1"	UN	0.00	9.63	60	0.04	0.01
Valvula De Bola 2"	UN	0.00	42.28	60	0.18	0.05
Acople Rapido 2"	UN	0.00	7.91	180	0.01	0.00
Adaptador Macho Plus 2"	UN	0.00	5.27	180	0.01	0.00
Tee 2"	UN	0.00	11.17	180	0.02	0.00
Tablero gestion	Pza	0.01	140.00	30	1.17	0.35
bidón de agua.	Pza	0.05	6.15	5	0.31	0.09
Porta bidón de agua.	Pza	0.00	10.00	60	0.04	0.01
Cinta reflectiva	mts.	0.05	32.56	5	1.63	0.49
Caballote en los jumbos	Pza	0.01	5.00	30	0.04	0.01
cordón de bloqueo	Pza	0.00	64.37	180	0.09	0.03
conos de seguridad	Pza	0.00	17.02	180	0.02	0.01
Baston luminosos.	Pza	0.00	17.82	180	0.02	0.01
pizarra de monitoreo	Pza	0.00	29.00	90	0.08	0.02
Radios de comunicación.	Pza	0.00	460.00	365	0.32	0.09
6.0 EQUIPOS					244.54	

Jumbo 1 Brazo	Hm	2.00	122.27	244.54	73.47
7.0 IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD				57.47	17.27
personal operaciones	Tarea	4.00	11.85	47.40	14.24
personal supervisión	Tarea	2.00	2.96	5.92	1.78
personal de servicio mina	Tarea	2.00	1.78	3.55	1.07
personal administrativo	Tarea	1.00	0.59	0.59	0.18
COSTO DIRECTO (US\$/m)				226.71	
UTILIDAD COSTO DIRECTO		0.00			0.00
COSTO TOTAL (US\$/m)				226.71	226.71

Figura 122

Costo de shotcrete (US\$/m3)

COSTO DE SHOTCRETE- UM CATALINA HUANCA (US\$/m3)				
MATERIALES	UNIDAD	PU Material(US\$)	CANTIDAD (para 1m3)	Costo
Cemento	kg	0.19	400	74.4
Arena	Kg	0.01	1679	23.5
Fibra sintetica	kg	4.39	5	21.9
Plastificante	Kg	1.79	4	7.2
Acelerante	Kg	0.71	28.5	20.2
				147.23
				US\$/m3

Figura 123

Costos de shotcrete CX 4040

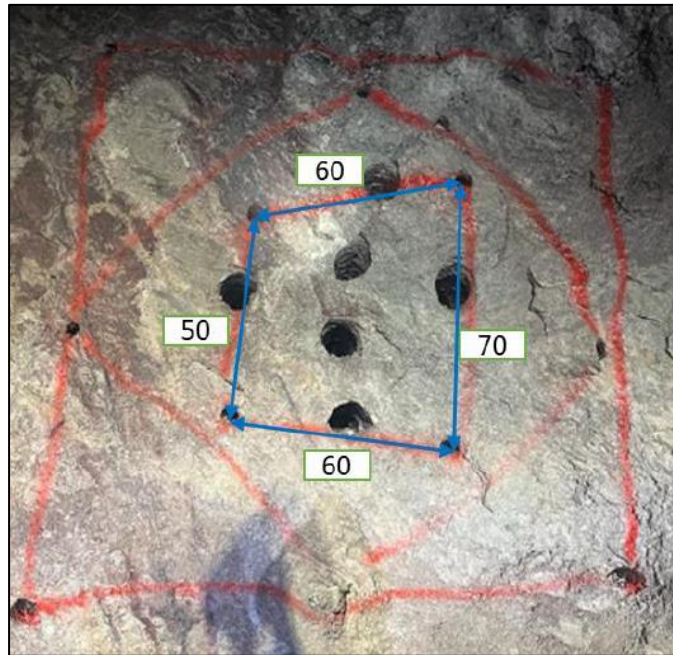
COSTOS SHOTCRETE-JULIO-CX 4040					
TIPO	SECCIÓN	DISTANCIA(M)	SHOTCRETE (M)	SHOTCRETE(S/.)	COSTO SHOTCRETE
PROGRAMADC	4.50 X 4.50	38.53	55.3	147.23	\$ 8,137.71
REAL	5.0 X 5.0	38.53	61.4	147.23	\$ 9,041.91
				DIFERENCIA	\$ 904.19
					US\$/M3
COSTOS SHOTCRETE-AGOSTO-CX 4040					
TIPO	SECCIÓN	DISTANCIA(M)	SHOTCRETE (M)	SHOTCRETE(S/.)	COSTO SHOTCRETE
PROGRAMADC	4.50 X 4.50	34.8	49.9	147.23	\$ 7,349.72
REAL	4.7 X 4.8	34.8	52.9	147.23	\$ 7,785.52
				DIFERENCIA	\$ 435.80
					US\$/M3
COSTOS SHOTCRETE-SETIEMBRE-CX 4040					
TIPO	SECCIÓN	DISTANCIA(M)	SHOTCRETE (M)	SHOTCRETE(S/.)	COSTO SHOTCRETE
PROGRAMADC	4.50 X 4.50	35.9	51.5	147.23	\$ 7,582.25
REAL	4.7 X 4.8	35.9	54.6	147.23	\$ 8,031.40
				DIFERENCIA	\$ 449.15
					US\$/M3
COSTOS SHOTCRETE-OCTUBRE-CX 4040					
TIPO	SECCIÓN	DISTANCIA(M)	SHOTCRETE (M)	SHOTCRETE(S/.)	COSTO SHOTCRETE
PROGRAMADC	4.50 X 4.50	57.6	82.6	147.23	\$ 12,165.39
REAL	4.50 X 4.50	57.6	82.6	147.23	\$ 12,165.39
				DIFERENCIA	\$ -
					US\$/M3
COSTOS SHOTCRETE-NOVIEMBRE-CX 4040					
TIPO	SECCIÓN	DISTANCIA(M)	SHOTCRETE (M)	SHOTCRETE(S/.)	COSTO SHOTCRETE
PROGRAMADC	4.50 X 4.50	35.6	51.1	147.23	\$ 7,518.89
REAL	4.50 X 4.50	35.6	51.1	147.23	\$ 7,518.89
				DIFERENCIA	\$ -
					US\$/M3

Figura 124

Costo de sostenimiento por mes CX 4040-2024

COSTOS SOSTENIMIENTO-JULIO-CX 4040											
TIPO	SECCIÓN	AVANCE	Malla (m2) Calibre 10 (3x4)	Rollo Malla 3x4	PU Malla 3x4	Swellex 7 (Pzas)	PU Swellex 7	Split Set 3' (Pzas)	PU Split Set 3'	TOTAL	
PROGRAMADO	4.5 X 4.5	38.53	542.2	10	90.2	276.1	9.8	125	3	3,982.78	
REAL	5.0 X 5.0	38.53	618.9	12	90.2	317.8	9.8	148	3	4,640.84	
										658.06	US\$/MI
COSTOS SOSTENIMIENTO-AGOSTO-CX 4040											
TIPO	SECCIÓN	AVANCE	Malla (m2) Calibre 10 (3x4)	Rollo Malla 3x4	PU Malla 3x4	Swellex 7 (Pzas)	PU Swellex 7	Split Set 3' (Pzas)	PU Split Set 3'	TOTAL	
PROGRAMADO	4.5 X 4.5	34.8	488.4	9	90.2	248.7	9.8	113	3	3,588.06	
REAL	4.7 X 4.8	34.8	523	10	90.2	260.5	9.8	133	3	3,853.90	
										265.84	US\$/MI
COSTOS SOSTENIMIENTO-SETIEMBRE- CX 4040											
TIPO	SECCIÓN	AVANCE	Malla (m2) Calibre 10 (3x4)	Rollo Malla 3x4	PU Malla 3x4	Swellex 7 (Pzas)	PU Swellex 7	Split Set 3' (Pzas)	PU Split Set 3'	TOTAL	
PROGRAMADO	4.5 X 4.5	35.9	503.8	9	90.2	256.6	9.8	116	3	3,674.48	
REAL	4.7 X 4.8	35.9	539.5	10	90.2	268.7	9.8	137	3	3,946.26	
										271.78	US\$/MI
COSTOS SOSTENIMIENTO-OCTUBRE-CX 4040											
TIPO	SECCIÓN	AVANCE	Malla (m2) Calibre 10 (3x4)	Rollo Malla 3x4	PU Malla 3x4	Swellex 7 (Pzas)	PU Swellex 7	Split Set 3' (Pzas)	PU Split Set 3'	TOTAL	
PROGRAMADO	4.5 X 4.5	57.6	808.4	15	90.2	411.7	9.8	186	3	5,945.66	
REAL	4.5 X 4.5	57.6	808.4	15	90.2	411.7	9.8	186	3	5,945.66	
										-	US\$/MI
COSTOS SOSTENIMIENTO-NOVIEMBRE-CX 4040											
TIPO	SECCIÓN	AVANCE	Malla (m2) Calibre 10 (3x4)	Rollo Malla 3x4	PU Malla 3x4	Swellex 7 (Pzas)	PU Swellex 7	Split Set 3' (Pzas)	PU Split Set 3'	TOTAL	
PROGRAMADO	4.5 X 4.5	35.6	499.6	9	90.2	254.4	9.8	115	3	3,649.92	
REAL	4.5 X 4.5	35.6	499.6	9	90.2	254.4	9.8	115	3	3,649.92	
										-	US\$/MI

Figura 125
Falta de simetría en arranque CX 4040





UNSCH

FACULTAD DE
INGENIERÍA
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 16-2026-FIMGC

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

En la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, en la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **Resolución Decanal No 072-2026-FIMGC-D**, a los **cuatro días del mes de mayo de 2026**, siendo las **4:21 p.m.**, reunidos en el **Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas**, bajo la presidencia del **MSc. Ing. José Ernesto ESTRADA CARDENAS**, y los miembros: **Dr. Jaime Alberto HUAMAN MONTES**, **Ing. Kelvis BERROCAL ARGUMEDO** y **Ing. Efrain César ALARCON MEDINA**, actuando como secretario docente el **Ing. Saul Walter RETAMOZO FERNANDEZ**, para proceder a la sustentación de tesis para optar el **Título Profesional de Ingeniero de Minas**, del Bachiller en Ciencias de la Ingeniería de Minas:

Luis Fernando HUAMAN PALOMINO

Quien presentó la tesis denominada:

Implementación de la metodología Lean Six Sigma para mejorar el proceso de perforación y voladura del CX 4040 en la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025.

Los señores miembros del jurado luego de expuesta la tesis y absueltas las preguntas, deliberaron y declararon:

Aprobado con 17 (diecisiete)

Siendo las **5:25 p.m.** del día **4 de mayo del 2026**, culmina el acto de sustentación de tesis, y en conformidad de lo actuado los miembros del jurado firmamos al pie del presente.

MSc. Ing. José Ernesto ESTRADA CARDENAS
Presidente

Dr. Jaime Alberto HUAMAN MONTES
Miembro

Ing. Kelvis BERROCAL ARGUMEDO
Miembro - Asesor

Ing. Saul Walter RETAMOZO FERNANDEZ
Secretario docente de la FIMGC



UNSCH

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El que suscribe; en mi calidad de Instructor de Originalidad de Trabajos de Investigación y encargado de certificar la originalidad de la tesis abajo indicado y por lo tanto responsable verificador de originalidad de trabajo de tesis de pregrado en primera instancia, en cumplimiento a la Resolución de Consejo Universitario N°039-2021-UNSCH-CU, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación UNSCH, deja constancia que:

- Apellidos y Nombres del Bach. : HUAMAN PALOMINO, Luis Fernando
- Escuela Profesional : Ingeniería de Minas
- Título de la Tesis : Implementación de la metodología Lean Six Sigma para mejorar el proceso de perforación y voladura del CX 4040 en la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025.
- Evaluación de la originalidad : 25% de similitud

Por tanto, según los artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, **es procedente la constancia de originalidad** para los fines que crea conveniente.

Ayacucho, 17 de mayo de 2026

.....
MBA Ing° Leonil Fernando Quispe Aronés
Instructor de Originalidad de Trabajos de Investigación

Implementación de la metodología Lean Six Sigma para mejorar el proceso de perforación y voladura del CX 4040 en la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025.

por Luis Fernando HUAMAN PALOMINO

Fecha de entrega: 17-may-2026 10:35p. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2963760540

Nombre del archivo: TESIS_LUIS_FERNANDO_HUAMAN_PALOMINO.pdf (8M)

Total de palabras: 28533

Total de caracteres: 158967

Implementación de la metodología Lean Six Sigma para mejorar el proceso de perforación y voladura del CX 4040 en la Unidad Minera Catalina Huanca, 2025.

INFORME DE ORIGINALIDAD

25%	23%	6%	13%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	6%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
3	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	3%
4	ru.dgb.unam.mx Fuente de Internet	1%
5	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	1%
6	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1%
10	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1%

11	www.scielo.org.pe Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	Submitted to Universidad Tecnica Federico Santa Maria Trabajo del estudiante	<1 %
17	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	doku.pub Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.uct.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
21	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
22	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

24	1library.co Fuente de Internet	<1 %
25	Submitted to Instituto Especializado de Estudios Superiores Loyola Trabajo del estudiante	<1 %
26	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
27	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
28	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
29	apirepositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	repositorio.unam.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
31	dspace.unach.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
32	intranet.cip.org.pe Fuente de Internet	<1 %
33	mallasmaelsa.com Fuente de Internet	<1 %
34	www.scielo.br Fuente de Internet	<1 %
35	Submitted to Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas Trabajo del estudiante	<1 %
36	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	<1 %

37	pdfcookie.com Fuente de Internet	<1 %
38	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
39	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1 %
40	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
41	fdocuments.ec Fuente de Internet	<1 %
42	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo