

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



TESIS

**MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE CARGUÍO Y ACARREO MEDIANTE
LA METODOLOGÍA SIX SIGMA EN LA EMPRESA ADMINISTRADORA
CERRO SAC – COMPAÑÍA MINERA VOLCÁN – CERRO DE PASCO**

PRESENTADO POR

BACH. CRISTIAN JAVIER QQUENAYA HURTADO

PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO DE MINAS

ASESOR:

Dr. MIGUEL VERA MIRANDA

CUSCO - PERU

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

VICE RECTORADO DE INVESTIGACIÓN

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe asesor del informe técnico titulado: **“MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE CARGUÍO Y ACARREO MEDIANTE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA EN LA EMPRESA ADMINISTRADORA CERRO SAC – COMPAÑÍA MINERA VOLCAN – CERRO DE PASCO”**

Presentado por **Cristian Javier Qquenaya Hurtado**, con DNI Nro. **73378575** y código universitario Nro. **144853** para optar al Título Profesional de: **INGENIERO DE MINAS**. Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 03 (Tres) veces, mediante el software antiplagio Turnitin, conforme al Artículo 6° del presente reglamento y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de: **09 % (nueve por ciento)**.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación, tesis, textos, libros, revistas, artículos científicos, material de enseñanza y otros (Art. 7, inc. 2 y 3)

Porcentaje	Evaluación y acciones.	Marque con una X
Del 1 al 10 %	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30%	Devolver al usuario para las correcciones.	-----
Mayores a 31 %	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a ley.	-----

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del software antiplagio.

Cusco, 17 de octubre de 2023.

FIRMA

POST FIRMA: Dr. Miguel Vera Miranda

DNI Nro.: 23876027

ORCID ID: 0000-0002-9349-8463

Se adjunta:

1. Reporte Generado por el sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio:
<https://unsaac.turnitin.com/viewer/submissions/oid:27259:278121633?locale=es-MX>

NOMBRE DEL TRABAJO

MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE CARGUÍO Y ACARREO MEDIANTE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA EN LA EMPRESA ADMINI

AUTOR

CRISTIAN JAVIER QQUENAYA HURTADO

RECUENTO DE PALABRAS

26292 Words

RECUENTO DE CARACTERES

147132 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

148 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.5MB

FECHA DE ENTREGA

Oct 17, 2023 6:45 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Oct 17, 2023 6:46 PM GMT-5

● 9% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de trabajos entregados
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)
- Material bibliográfico
- Material citado

DEDICATORIA

A Papá, Mamá, Vero y Katy, la inspiración para todos mis
retos y grandes artífices de la persona que soy.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, guía del camino de mi vida y apoyo incondicional de mis buenos y malos momentos.

A mis padres, la gran razón de todas mis hazañas y mi principal inspiración de seguir superándome.

A mis hermanas, fieles consejeras del camino que me tracé.

A toda mi familia y amigos, que son la razón de enaltecer el legado que me otorgaron.

A mi Alma Máter, la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, del cuál estoy orgulloso de haber egresado de sus aulas.

A mi Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, que mediante mis docentes y amigos, me formaron con un talante de liderazgo y de ser el profesional más destacado.

Agradezco también a la Empresa Administradora Cerro Sac, mi escuela laboral, que es el gran sueño cumplido de mi vida el haber laborado en la unidad minera que me motivó a inclinarme y elegir ésta hermosa profesión.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación aporta un estudio detallado desde el punto de vista Técnico – Económico en lo que comprende el uso de una metodología de Mejora Continua , aplicada a dos de los procesos unitarios del ciclo del minado que más investigaciones tiene realizada en el Perú, como son las operaciones unitarias del Carguío y Acarreo en una explotación superficial caracterizada por la explotación de mineral marginal . Es así que ésta investigación muestra un diagnóstico de las operaciones de explotación de Stock Piles y de un Tajo, con la peculiaridad de alimentar mineral a dos plantas de tratamiento de minerales, una de Flotación , y otra de Lixiviación, manifestando así las deficiencias en su ciclo de carguío y acarreo; y haciendo una comparación de las tarifas de alquiler de equipos que interfieren en éste proceso.

Además la investigación , aporta una simulación teórica de la asignación correcta de equipos , para identificar los tiempos improductivos y las causas que intervienen en éstos deficientes procesos.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación ,tiene la finalidad de demostrar que mediante la metodología six sigma, se mejoró el sistema de carguío y acarreo en una mina superficial, con las características de explotación con leyes marginales provistas por los stock pile y el tajo principal de producción.

Ésta investigación se identificó del tipo básica y cuantitativa, ya que se utilizaron datos recolectados numéricos y que además servirá como fuente de consulta de futuras investigaciones con ésta metodología; de la cuál dichos datos se recolectaron de las operaciones de la Empresa Administradora Cerro Sac -Cerro de Pasco, limitándose a los equipos de carguío y acarreo utilizados en las operaciones normales del Tajo Santa Rosa y los Stock Pile de Miraflores y Pampaseca; siendo la muestra de la investigación de 19 volquetes ; y además la investigación toma los datos comprendidos entre los años 2021 y 2022

Demostrándose en la investigación la variación en los indicadores de producción de los equipos de carguío y acarreo, además que mediante la simulación GPSS, se pudo identificar un exceso en la operación de 4 volquetes, sugiriéndose la reducción de estos equipos cambiando la disposición original de las maquinarias por punto de carguío.

Palabras clave: Metodología Six Sigma, Sistema de Carguío y Acarreo, Indicadores de Producción, Simulación, GPSS

ABSTRACT

The purpose of this research work is to demonstrate that through the six sigma methodology, the loading and hauling system in a surface mine was improved, with the characteristics of exploitation with marginal grades provided by the stock pile and the main production pit.

This research was identified as basic and quantitative, since numerical data were used and will also serve as a source of consultation for future research with this methodology; of which said data were collected from the operations of the Cerro Sac-Cerro de Pasco Management Company, limited to the loading and hauling equipment used in the normal operations of the Santa Rosa Tagus and the Miraflores and Pampaseca Stock Pile; being the research sample of 19 tippers ; And the research also takes data between 2021 and 2022

The research demonstrated the variation in the production indicators of the loading and hauling equipment, in addition to the fact that through the GPSS simulation, it was possible to identify an excess in the operation of 4 dump trucks, suggesting the reduction of these equipment by changing the original arrangement of the machinery by loading point.

Keywords: Six Sigma Methodology, Loading and Hauling System, Production Indicators, Simulation, GPSS.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INTRODUCCIÓN	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
1. CAPÍTULO I	13
PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
1.2.1. PROBLEMA GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	14
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	14
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	15
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.5.1. DELIMITACIÓN.....	15
2. CAPÍTULO II.....	16
MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	16

2.1.1.	ANTECEDENTES INTERNACIONALES	16
2.1.2.	ANTECEDENTES NACIONALES	17
2.2.	BASES TEÓRICAS	18
2.2.1.	MODELOS DE MEJORA CONTINUA	18
2.2.2.	METODOLOGÍA SIX SIGMA.....	21
2.2.3.	OPERACIONES DE CARGUÍO Y ACARREO.....	24
2.2.4.	TIEMPOS EN LOS EQUIPOS DE MINERÍA.....	28
2.2.5.	INDICADORES DE PRODUCCIÓN	30
2.2.6.	MÉTODOS DE SIMULACIÓN	32
2.2.7.	SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS	36
2.2.8.	PLANIFICACIÓN DE RUTAS.....	38
2.2.9.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	39
2.2.10.	MARCO LEGAL	42
2.3.	HIPÓTESIS	43
2.3.1.	HIPÓTESIS GENERAL	43
2.3.2.	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	43
2.4.	VARIABLES E INDICADORES	43
2.4.1.	VARIABLE DEPENDIENTE	43
2.4.2.	VARIABLE INDEPENDIENTE	43
2.5.	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	44

3.	CAPÍTULO III.....	45
	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN	45
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	45
3.2.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	45
3.3.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	46
3.4.	POBLACIÓN	46
3.5.	MUESTRA	46
3.6.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE CAPTURA DE INFORMACIÓN.....	47
3.6.1.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	47
3.6.2.	INSTRUMENTOS.....	48
3.7.	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS	48
4.	CAPÍTULO IV.....	49
	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	49
4.1.	DESARROLLO DE LA PROPUESTA SIX SIGMA MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO DMAIC.....	49
4.1.1.	DEFINIR	50
4.1.2.	MEDIR.....	55
4.1.3.	ANALIZAR	79
4.1.4.	MEJORAR.....	84
4.1.5.	CONTROLAR.	95

5. CAPITULO V.....	101
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	101
5.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	101
5.1.1. Análisis del Proceso Definir.....	101
5.1.2. Análisis del Proceso Medir	101
5.1.3. Análisis del Proceso “Analizar”	103
5.1.4. Análisis del Proceso Mejorar	103
5.1.5. Análisis del proceso Controlar	104
CONCLUSIONES	105
RECOMENDACIONES.....	106
BIBLIOGRAFÍA	107
ANEXOS	111
ANEXO 1.....	112
1.1. ÁMBITO DE ESTUDIO DE LA INVESTIGACIÓN	112
1.2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA ADMINISTRADORA CERRO SAC.	112
1.3. ACTIVIDADES DE LA EMPRESA ADMINISTRADORA CERRO SAC.	113
1.4. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	115
1.5. ACCESO	117
1.6. CLIMA	117
1.7. TOPOGRAFÍA.....	117

1.8.	GEOLOGÍA REGIONAL	118
1.8.1.	ESTRATIGRAFIA.....	118
1.9.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	123
1.9.1.	Plegamiento.....	123
1.9.2.	Fracturamiento	123
1.10.	GEOLOGÍA LOCAL	126
1.11.	GEOLOGÍA ECONÓMICA	126
1.11.1.	Cuerpo de sílica-pirita	126
1.11.2.	Cuerpos y Vetas de Pb-Zn.....	127
1.11.3.	Vetas y Cuerpos de Cu-Ag.....	129
1.11.4.	Cuerpos Supérgenos de Cu	129
1.11.5.	Cuerpos Oxidados Argentíferos ó Pacos.....	129
1.11.6.	Zonamiento.....	130
1.12.	CONTROLES DE MINERALIZACIÓN.....	133
1.13.	MINERALOGÍA.....	134
1.14.	DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES MINERAS.....	136
1.14.1.	EQUIPOS.....	136
1.14.2.	CICLO DE MINADO.....	143
1.14.3.	PROCESOS UNITARIO PLANTA PARAGSHA. –.....	144
	ANEXO 2.....	149

SIMULACIÓN GPSS	149
ANEXO 3.....	155
MATRIZ DE CONSISTENCIA	155
ANEXO 4.....	156
PLANO TOPOGRÁFICO DE LAS OPERACIONES.....	156

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	20
Tabla 2	30
Tabla 3	44
Tabla 4	51
Tabla 5	51
Tabla 6	53
Tabla 7	54
Tabla 8	56
Tabla 9	56
Tabla 10	57
Tabla 11	57
Tabla 12	58
Tabla 13	61
Tabla 14	62
Tabla 15	63
Tabla 16	67
Tabla 17	67
Tabla 18	68
Tabla 19	71
Tabla 20	71
Tabla 21	73
Tabla 22	74
Tabla 23	76
Tabla 24	76
Tabla 25	78
Tabla 26	79
Tabla 27	81
Tabla 28	83
Tabla 29	85
Tabla 30	88

Tabla 31	91
Tabla 32	112
Tabla 33	134
Tabla 34	135
Tabla 35	135
Tabla 36	136
Tabla 37	136

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1	19
Gráfico 2	35
Gráfico 3	49
Gráfico 4	52
Gráfico 5	53
Gráfico 6	55
Gráfico 7	60
Gráfico 8	65
Gráfico 9	70
Gráfico 10	80
Gráfico 11	81
Gráfico 12	83
Gráfico 13	86
Gráfico 14	87
Gráfico 15	89
Gráfico 16	90
Gráfico 17	93
Gráfico 18	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	26
Figura 2	27
Figura 3	28
Figura 4	50
Figura 5	55
Figura 6	114
Figura 7	116
Figura 8	117
Figura 9	120
Figura 10	122
Figura 11	125
Figura 12	131
Figura 13	132

Figura 14	137
Figura 15	138
Figura 16	138
Figura 17	139
Figura 18	140
Figura 19	140
Figura 20	141
Figura 21	141
Figura 22	142
Figura 23	142

CAPÍTULO I

PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La transición de la capacidad de Planta Paragsha de 7000 toneladas por día a 8600, asimismo la ampliación de la capacidad de Planta Óxidos de 2500 a 2900 toneladas por día, ocasionó un incremento sustancial de la productividad de mineral proveniente de los stock piles de Miraflores, Pampaseca y del tajo Santa Rosa , necesitándose así una evaluación sustancial en mejorar la producción de mineral y la productividad de los equipos.

Sin embargo la empresa administradora Cerro Sac , no cuenta con un plan de gestión del sistema de transporte y acarreo , presentando dificultades en la identificación de sus indicadores de producción ,sus relaciones beneficio – costo y desempeño de las maquinarias, ocasionándose así ciertas deficiencias en los procesos unitarios de carguío y acarreo como son : la presencia de demoras operativas, la cola de camiones, mal manejo de distribución de equipos, desconocimiento de los tiempos reales del ciclo de carguío y acarreo . Asimismo la implementación de distintas herramientas de mejora continua como plan piloto en el año 2021 para mejorar el sistema de carguío y acarreo, no es utilizado adecuadamente ya que no se opta por una sola metodología de todas las probadas, de las cuáles podemos identificar las metodologías LEAN(Kaizen, Deming, Six Sigma) que fueron analizadas en su momento sin llegar a una conclusión satisfactoria.

Siendo así de necesidad de implementar un plan d de mejoramiento del sistema de carguío y acarreo utilizando la metodología Six Sigma con sus procesos de Definir, Medir, Analizar ,

Mejorar, Controlar ; para así identificar los tiempos improductivos ,demoras en la operación , indicadores reales de producción y determinar una adecuada disposición de equipos en su relación de productividad – costo por cada maquinaria.

1.2.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN

- ¿Cuál es el resultado de aplicar la metodología Six Sigma a la gestión del sistema de carguío y acarreo en las operaciones de la empresa administradora Cerro Sac – Compañía Minera Volcan?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS DE LA INVESTIGACIÓN

- ¿Cuál es la situación de las operaciones de carguío y acarreo en la Empresa Administradora Cerro Sac – Compañía Minera Volcan?
- ¿Cuál es el efecto en los costos de alquiler de equipos al aplicar la metodología Six Sigma?
- ¿Cómo es la asignación correcta de los equipos de carguío y acarreo de mineral en las operaciones de los Stock Pile de Pampaseca , Miraflores y el Tajo Santa Rosa?

1.3.JUSTIFICACIÓN

La Gestión del ciclo del minado para mejorar los procesos depende de una adecuada metodología para que los resultados sean los más convenientes para la empresa minera, y así obtener una mayor producción con menor riesgo y al mayor detalle posible.

Es así que surge la importancia de usar una metodología que sirve como una herramienta de gestión para adecuar los procesos al mayor nivel óptimo posible, brindando soluciones de la disposición de equipos y analizar los costos óptimos de alquiler en beneficio de la empresa minera. Además cubre los requerimientos de identificar y proponer un plan de manejo del sistema de

carguío y acarreo en un tipo de minería superficial con la particularidad de explotar stock piles de mineral marginal como principal fuente de alimentación a planta concentradora.

Asimismo la investigación tiene importancia desde el punto de vista académico, ya que implementa una metodología de gestión de procesos aplicada a la Ingeniería de Minas.

1.4.OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar el resultado de aplicar la metodología Six Sigma a la gestión del sistema de carguío y acarreo en las operaciones de la Empresa Administradora Cerro Sac – Compañía Minera Volcan .

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer la situación de las operaciones de carguío y acarreo de la Empresa Administradora Cerro Sac – Compañía Minera Volcan.
- Determinar el efecto en los costos de alquiler de equipos al aplicar la metodología Six Sigma.
- Determinar la asignación correcta de los equipos de carguío y acarreo de mineral en las operaciones de los Stock Pile de Pampaseca, Miraflores y el Tajo Santa Rosa.

1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. DELIMITACIÓN

Delimitación Geográfica. La investigación fue realizada en el Tajo Santa Rosa y los Stock Pile de Miraflores y Pampaseca , éstos en las operaciones de la Empresa Administradora Cerro Sac- Pasco.

Delimitación Temporal. El trabajo de investigación utiliza los datos comprendidos entre los meses de Enero y Marzo del año 2021.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

(Pérez Benavides, 2003) "REDUCCIÓN DE TIEMPOS MUERTOS DE OPERACIÓN USANDO SEIS SIGMA" Tesis de Postgrado presentado en la Universidad Autónoma de Nueva León – México

En la cuál concluye que la aplicación de la metodología Six Sigma mejoró la reducción de tiempos muertos en equipos, y que las etapas de esta metodología controlaron la operación de mejor manera.

El planteamiento que propone Six Sigma para la resolución de los problemas llevó a medir el desempeño del proceso, analizar las causas que ocasionan este desempeño, buscar la mejora para las causas verificadas y establecer los controles necesarios para mantener la mejora.

(Quiroz Alegria, 2016) "IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA LEAN EN MINERÍA SUBTERRÁNEA - ESTUDIO DE CASO ESMERALDA" Tesis de Maestría presentado en la Universidad de Chile – Santiago de Chile

Ésta tesis de maestría concluye que cualquier intento de implementación de la metodología LEAN (incluido el Six Sigma) requiere invariablemente mecanismos técnicos de sistemas de monitoreo & control, uso masivo de las tecnologías de información e internet de las cosas. Es importantísimo medir y conocer que está pasando a todo nivel y con el mayor nivel de detalle, precisión y entrega oportuna de la información.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

(Anchiraico Giraldo & Rojas Oré, 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 pregrado presentado en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas -Lima

Ésta tesis concluye que al aplicar la metodología Six Sigma nos ayuda a identificar la disposición adecuada de la flota de equipos y su requerimiento ideal para minimizar costos de alquiler de maquinarias.

Así también, sugiere la implementación de un volquete adicional a la operación , ya que mediante simulación GPSS reconoce un punto vacío en la transferencia de mineral , por lo tanto los indicadores del ciclo de transporte serán los más adecuados.

(Aguero Marcelo & Ramirez Gonzales, 2020) **"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA LEAN SIX SIGMA PARA REDUCIR EL TIEMPO IMPRODUCTIVO EN LAS ETAPAS DE ACARREO Y TRANSPORTE EN MINA CANTA"** Tesis de Pregrado presentado en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas-Lima

Trabajo de investigación del cuál se deduce que la principal propuesta de mejora aplicada fue la implementación del modelo de Gestión de tiempos que incluye un análisis de brechas para poder organizar las operaciones y establecer metas a corto plazo.

Esto a su vez justificado con la identificación de indicadores de gestión mediante la metodología Six Sigma, el cuál reconoce una mejora y reducción en los tiempos improductivos ocasionados por la deficiente planificación operacional de los equipos de acarreo.

(Martínez Fuentes & Vasquez Llatas, 2021) **"METODOLOGÍA SIX SIGMA PARA MEJORAR EL NIVEL DE PRODUCCIÓN DEL SECTOR I DE LA CARRETERA R.B. FERREÑAFE"** Tesis de pregrado presentado en la Universidad Cesar Vallejo – Chiclayo

Ésta tesis concluye que al aplicar Six Sigma, esta metodología ayudó a poder reconocer los contratiempos de la Cantera, se propuso la implementación de personal en el área de carguío, mejora en la parte de mantenimiento de las maquinarias, capacitaciones hacia los trabajadores y la supervisión diaria de ellos. Los distintos problemas como el mal uso de la maquinarias, falta de supervisión, mantenimientos de las maquinarias, entre otros , ocasiona la disminución de producción del día de la Cantera.

2.2.BASES TEÓRICAS

2.2.1. *MODELOS DE MEJORA CONTINUA*

En la industria de manufactura internacional, se asocia los modelos de Mejora Continua, a la filosofía Lean, que en la industria minera éstos métodos más utilizados son los siguientes: EFQM, Deming, Six Sigma, Kaizen, 7-step y Crosby. (Aslla Clavijo, 2020)

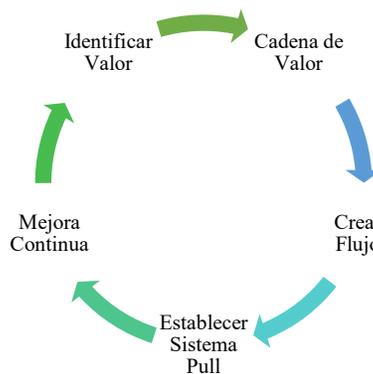
2.2.1.1. FILOSOFÍA LEAN

La filosofía Lean adaptada a la industria o también conocido como “Lean Manufacturing” (producción esbelta), El enfoque principal de la metodología Six Sigma es eliminar todo tipo de pérdidas, ya sea de tiempo, material, eficiencia o procesos. En resumen, su objetivo es eliminar lo innecesario para aumentar la productividad y la capacidad empresarial, permitiendo a la empresa ser competitiva en el mercado. (Aguero Marcelo & Ramirez Gonzales, 2020).

Así también , “Lean es un paradigma altamente influyente en la manufactura que ha trascendido su aplicación inicial en la industria automotriz y proveedores de componentes, extendiéndose también a la industria de metales pesados y la aeroespacial” (Martínez Martínez, 2008)

Gráfico 1

Principios LEAN



Nota: Elaboración Propia

El gráfico 1 muestra el ciclo de los principios Lean, identificándose como pilar a la mejora continua

2.2.1.2. COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE MEJORA CONTINUA

Se puede diferenciar los distintos métodos de mejora continua según su enfoque; como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1*Métodos de Mejora Continua*

EFQM	DEMING	KAIZEN	7-STEP	CROSBY	SIX SIGMA
Se fundamenta en la idea de que, mediante el liderazgo, el personal, las políticas y estrategias, las alianzas, los recursos y los procesos, es posible alcanzar excelentes resultados en cuanto al rendimiento, los clientes, las personas y la sociedad.	Desarrollar un sistema de organización que fomente la cooperación interna y externa, y permita promover la implementación de prácticas de gestión de procesos.	La mejora continua implica esforzarse por el cambio, incluyendo lo personal, familiar, social y laboral. Esto implica que tanto los directivos como los trabajadores deben estar involucrados en este proceso. Si se sigue operando de la misma manera, no habrá progreso.	Conformar un equipo de trabajo para concienciar sobre temas de calidad y productividad con el fin de encontrar soluciones efectivas. Realice un seguimiento de sus limitaciones para crear un nuevo ciclo de mejora.	Establecer una cultura administrativa que promueva la comprensión de todos los empleados de la empresa sobre cómo asumir la responsabilidad personal en el desempeño de esta actividad.	Entender y analizar estos procesos para poder modificarlos y minimizar el desperdicio y los errores, lo cual se reflejará en una reducción en el costo de producción y permitirá ofrecer un precio competitivo para el producto o servicio en el mercado.

Fuente: (Aslla Clavijo, 2020)

2.2.2. METODOLOGÍA SIX SIGMA

“Six Sigma es una metodología que tiene como objetivo mejorar la calidad y eficiencia de los procesos de una organización. Es un enfoque sistemático que se centra en reducir los defectos y minimizar la variación para lograr la excelencia operativa” (Patel & Arunbhai Desai, 2018)

La metodología de Six Sigma se ha aplicado ampliamente en diversas industrias, incluida la minería. La implementación efectiva de Six Sigma en la minería requiere comprender los factores críticos de éxito y los ingredientes clave para su implementación. Se llevaron a cabo una encuesta piloto en organizaciones manufactureras y de servicios del Reino Unido para identificar los ingredientes clave para una implementación exitosa de Six Sigma (Antony & Banuelas, 2002). Estos ingredientes clave son esenciales para la implementación efectiva de proyectos Seis Sigma en las organizaciones (Antony & Banuelas, 2002).

En resumen,” Es una metodología de mejora de procesos, enfocada en la reducción de la variabilidad de éstos mismos, consiguiendo reducir o eliminar los defectos y fallas en la entrega de un producto. La meta de Six Sigma es llegar a un máximo de 3,4 defectos por millón de eventos u oportunidades ,entendiéndose como defecto cualquier evento en que un producto no logra cumplir los requisitos del cliente. Six sigma utiliza herramientas estadísticas para la caracterización y estudio de los procesos, de ahí el nombre de la herramienta, ya que sigma es la desviación típica que da una idea de la variabilidad en un proceso y el objetivo de la metodología seis sigma es reducir ésta de modo que el proceso se encuentre siempre dentro de los límites establecidos por los requisitos del cliente” (Olmedo Alba & Castelblanco Cano, 2012)

2.2.2.1. FASES DE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA

Ésta metodología de gestión de mejora continua , se caracteriza por cinco etapas o fases conocida como DMAIC, las cuáles se detallan en : Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar.

Definir. En ésta primera etapa ,se identifica todos los procesos y se evaluará por parte de la compañía o el grupo humano encargado en mejorar el proceso. En esta etapa se van a definir los objetivos de mejora (Salgado Medina & Nuñez Ramirez, 2021)

❖ *Objetivos:*

Según (Martínez Fuentes & Vasquez Llatas, 2021) en la primera fase se debe cumplir los siguientes objetivos:

- Identificar los procesos
- Validar el estatus del proyecto que se viene a desarrollar
- Identificar las posibles ganancias rápidas en el proceso
- Poder hacer las guias para el desarrollo, en los equipos y las reglas básicas.
- Utilizar herramientas y técnicas potenciales: Encuestas, Diagramas de flujos del proceso.

Medir. Fase donde se planifica el alcance del trabajo, se conoce el desempeño actual del proceso, así como definir las características de producto y los parámetros que afectan al funcionamiento del proceso. A partir de esta caracterización, se elige el sistema de medida y se mide la capacidad del proceso. (Aguero Marcelo & Ramirez Gonzales, 2020)

Analizar. Esta fase se centra en evaluar los resultados actuales y pasados, identificar así también analizar las potenciales fuentes reales de variación., se hace una comparación inicial con el estado actual del procedimiento o proceso. Se comprueban hipótesis sobre posibles relaciones causa-efecto utilizando las herramientas estadísticas pertinentes. De esta forma, el equipo prioriza las partes del proceso (Aguero Marcelo & Ramirez Gonzales, 2020)

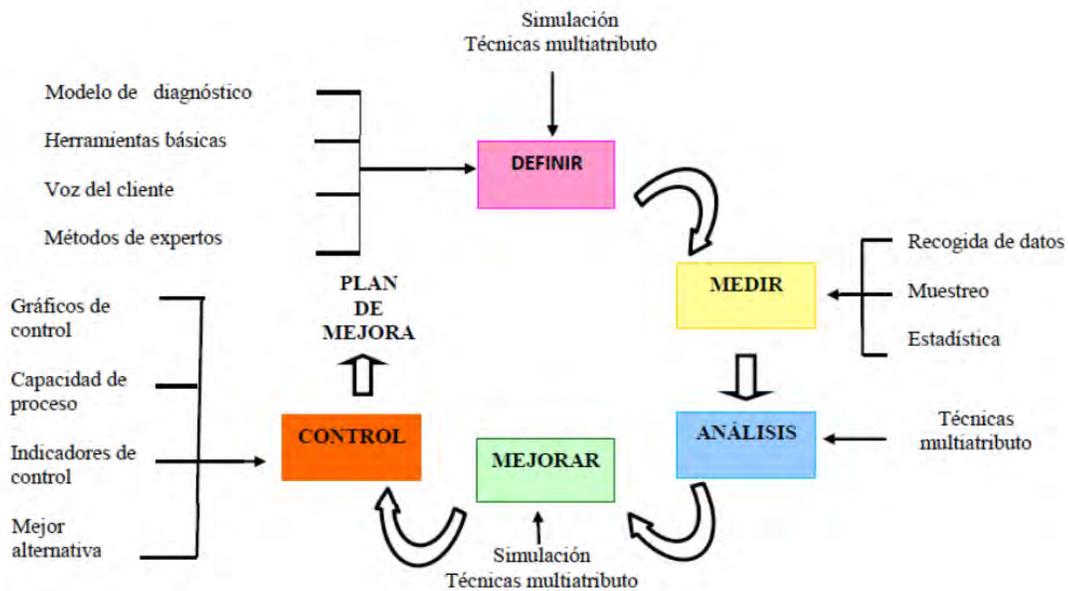
Mejorar. En esta etapa se identifican las posibles causas que están dentro del proceso que más adelante se podrán perfeccionar o rediseñar, se proponen posibles soluciones para mitigar

o eliminar las causas que provocan los problemas en los procesos y así cumplir con la expectativa y las necesidades del clientes. (Garza Ríos y otros, 2016)

Controlar. Esta es la parte final de la fase cuando se obtiene ya una posible solución; también se debe tener dentro del proceso, la solución práctica que se ha trabajado para poder equilibrar las mejoras obtenidas dentro de las soluciones propuestas en la anterior etapa. (Garza Ríos y otros, 2016)

Gráfico 2

Fases de la Metodología Six Sigma



Fuente: (Garza Ríos y otros, 2016)

El gráfico 2 muestra las fases de la metodología six sigma, identificándose los procesos para la recolección de datos, procesamiento de datos y posterior implementación de mejora.

2.2.3. OPERACIONES DE CARGUÍO Y ACARREO

2.2.3.1. CARGUÍO

Es una etapa del ciclo del minado, que consiste en la carga de material (mineral o estéril) fragmentado del yacimiento para conducirlo a los posibles destinos, ya sea a planta, stock de mineral o botaderos de estéril. La operación de carguío involucra el desarrollo de una serie de funciones que aseguran que el proceso se lleve a cabo con normalidad y eficiencia. Esta etapa se ocupa de definir los sectores de carga, las direcciones de carguío (a frentes de carga, posición de equipos de carguío y nivel de pisos) y el destino de los materiales de acuerdo con leyes de clasificación según políticas de cada empresa y tonelajes definidas previamente. (Barreto Taipe, 2017)

2.2.3.2. ACARREO

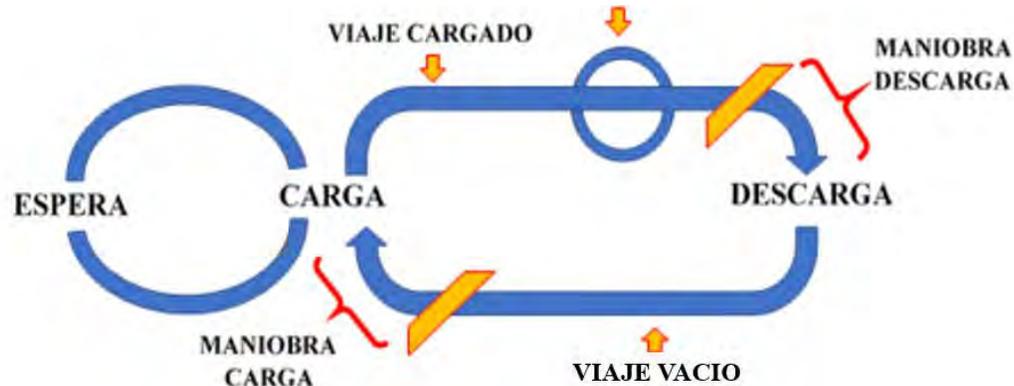
Es la operación del ciclo de minado posterior al carguío, que consiste en el traslado de material mineralizado y/o estéril desde el yacimiento hacia los posibles destinos, ya sea el chancado, stock de mineral o botaderos. Las funciones involucradas en el proceso de transporte son las siguientes: Aquí se planifica bien la definición de las rutas de transporte y del destino de los materiales de acuerdo con leyes de mineral y tonelajes ya definidos. (Barreto Taipe, 2017)

2.2.3.3. CICLO DE CARGUÍO Y ACARREO

En cualquier trabajo de remoción de tierra, las máquinas se adaptan a un ciclo de trabajo determinado. En este ciclo se incluyen operaciones de carga, acarreo, descarga y vuelta al lugar inicial, con algunas variaciones en ciertos casos. (Bustamante Morales, 2022)

Gráfico 3

Ciclo de Carguío y Acarreo



Fuente: (Bustamante Morales, 2022)

El gráfico 3 muestra el ciclo típico de carguío y acarreo en minería superficial.

2.2.3.4. EQUIPOS DE CARGUÍO Y ACARREO

En el contexto de la minería superficial y la gestión de los sistemas de carguío y acarreo, es necesario contar con diversos equipos especializados para llevar a cabo estas tareas. Algunos de los equipos comunes utilizados en este tipo de operaciones son:

Cargador Frontal. El cargador frontal también denominada cargadora, o pala cargadora, pala cargadora frontal. El cargador es una máquina que puede estar equipada con orugas o ruedas y tiene una cuchara grande en la parte delantera. Estos equipos se utilizan para cargar, transportar y, en algunos casos, excavar en distancias cortas. (Amable Salazar, 2017)

- **Cargador Sobre Ruedas.**- Son los cargadores que ruedan encima de llantas, en cuanto a su evolución de mejoras y en tamaño han seguido al tamaño de los volquetes, que llego en la década pasada o sea 90 a 25 m³, este equipo se utiliza mayormente en los grandes proyectos como es la minería, pero en las obras de construcción civil se usan cargadores medianos como es hasta de 6.0 m³. (Amable Salazar, 2017)

Figura 1

Cargador Sobre Ruedas.



Fuente: Propia.

Excavadora Hidráulica. Estas máquinas se utilizan para excavar material en superficies de menor dureza y transportarlo a corta distancia. Son fácilmente reconocibles por su apariencia, que incluye un brazo móvil con una cuchara o balde y una cabina de control. Las variables que se miden en esta máquina son el rango de movimiento y la capacidad de carga. Los tipos de excavadoras varían según las condiciones del terreno y los requisitos del trabajo. (Aguero Marcelo & Ramirez Gonzales, 2020)

Figura 2

Excavadora Hidráulica



Fuente: Propia

Volquetes. Existen de diversas dimensiones, en minería son mayormente usados los de 10 TM, 15 TM, 25 TM hasta 35 TM como capacidad de tolva. Quizás el medio de transporte más comúnmente utilizado en la industria minera y sus sectores relacionados para el transporte de carga, este tipo de camión está equipado con un mecanismo de volcado mecánico para depositar la carga en un lugar específico.

Figura 3

Flota de Camiones Volquete en Cerro Sac



Fuente: Propia

2.2.4. TIEMPOS EN LOS EQUIPOS DE MINERÍA

En el contexto anterior, se menciona la necesidad de implementar un plan de gestión de mejoramiento del sistema de carguío y acarreo utilizando la metodología Six Sigma. Esto implica identificar los tiempos improductivos y demoras en la operación de los equipos de minería y determinar una adecuada disposición de los mismos en relación a su productividad y costo.

Es importante destacar que los tiempos en los equipos de minería son un factor clave para la eficiencia y productividad de las operaciones. Estos tiempos incluyen el tiempo de carga, el tiempo de transporte y el tiempo de descarga, los cuales deben ser optimizados para maximizar la producción y minimizar los costos.

Al aplicar la metodología Six Sigma, se busca identificar y reducir los tiempos improductivos y las demoras en los procesos de carguío y acarreo. Esto se logra a través de los procesos de Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, que permiten identificar las causas de los tiempos improductivos y demoras, medir su impacto en la producción, analizar las posibles soluciones, implementar mejoras y controlar los resultados.

Entonces tenemos los siguientes tiempos:

- ❖ **Tiempo Total (TT).** Son el tiempo total de trabajo las 24 horas del día, los 365 días del año y debe de considerarse para cada equipo.
- ❖ **Tiempo Disponible/Tiempo Operativo(TD).** Es el total de horas en que el equipo está disponible para ser usado.
 - **Tiempo Demora(TEO).** Es cuando el equipo está encendido , pero no está haciendo un trabajo productivo.
 - **Tiempo Operando /Efectivo(TO).** Es el total de horas en que el equipo tiene un operador asignado y estar operando productivamente o no; se considera el funcionamiento del motor (Horómetro inicial y Horómetro final).
 - **Tiempo Stand By(S).** Se le denomina así cuando el equipo está disponible y apagado, pero no está haciendo trabajo alguno
- ❖ **Tiempo de Mantenimiento(TM).** Es el total de horas en el que el equipo No está disponible para ser usado; por averías o por paradas programadas.
 - **Mantenimiento Programado (MP).** Es el total de horas en que el equipo no está disponible debido a tiempos improductivos programados para su mantenimiento, (Mantenimiento Preventivo).
 - **Mantenimiento Correctivo (Mc).** Se refiere al tiempo total en el que se ha programado utilizar el equipo, pero no está disponible debido a una falla. (Mantenimiento Correctivo)

Tabla 2

Esquema de Distribución de Tiempos

Tiempo Total				
Tiempo Operativo/Tiempo Disponible			Mantenimiento	
Operando/Efectivo	Demora	Stand By	Programado	Correctivo

Fuente: Área de Planeamiento de la Empresa Administradora Cerro Sac.

2.2.5. INDICADORES DE PRODUCCIÓN

Al implementar el plan de mejoramiento del sistema de carguío y acarreo utilizando la metodología Six Sigma, es importante establecer indicadores de producción para evaluar el desempeño de los equipos y procesos.

Los indicadores de producción, son medidas financieras o no financieras utilizadas para evaluar el nivel de logro de los objetivos establecidos previamente. Estos indicadores suelen estar incluidos en el plan estratégico de la organización y reflejan su desempeño en un período específico. Los indicadores se aplican en varias áreas de una empresa, como compras, ventas, logística y servicio al cliente. (Bustamante Morales, 2022)

2.2.5.1. INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD DE EQUIPOS

Disponibilidad (%D): Corresponde al tiempo en el que el equipo está disponible para ser usado con respecto al tiempo total programado. Nos indica que porcentaje del tiempo total el equipo está operativo. (Saldaña, 2013)

$$DISPONIBILIDAD(\%D) = \frac{\textit{Tiempo Operativo}}{\textit{Tiempo Total}}$$

Uso de la disponibilidad (UD): El porcentaje de tiempo que el equipo está encendido, en producción o en demoras, respecto al tiempo que está disponible mecánicamente. Este parámetro involucra directamente a los Stand By. (Saldaña, 2013)

$$UD = \frac{\text{Tiempo Operando} + \text{Demora}}{\text{Tiempo Operativo}}$$

Uso del equipo (Use): El porcentaje de tiempo en que el equipo está produciendo, respecto del total de tiempo en que está con el motor encendido. Este parámetro involucra directamente a las demoras operativas. (Saldaña, 2013)

$$USE = \frac{\text{Tiempo Operando efectivo}}{\text{Tiempo Operando efectivo} + \text{Demora}}$$

Utilización (%U): El porcentaje de tiempo en que el equipo está produciendo, respecto del total de tiempo disponible mecánicamente. Es una media de la eficiencia del aprovechamiento de los recursos por parte de Operaciones. (Saldaña, 2013)

$$USAGE = \frac{\text{Tiempo Operando efectivo}}{\text{Tiempo Operativo}}$$

Tiempo medio entre falla (MTBF – Mind Time Between Failure): Es el tiempo promedio en horas entre interrupciones en la producción ocasionadas por eventos de pérdidas por averías mientras el equipo está siendo utilizado productivamente. Nos permite conocer la frecuencia con que suceden las averías.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo Operando efectivo} + \text{demora}}{\#Paradas no programadas}$$

Tiempo medio de reparación (MTTR – Mind Time To Repair): Es el tiempo promedio ocupado para reparar un evento de pérdida por avería. No se incluyen las reparaciones efectuadas debido a

tareas de mantenimiento planificadas y programadas. Esta medida indica la facilidad del equipo de reparación y la efectividad de los recursos de movilización cuando ocurre una falla por avería. Nos permite conocer la importancia de las averías que se producen en un equipo considerando el tiempo medio hasta su solución:

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo de Mantenimiento no programado}}{\textit{\#Paradas no programadas}}$$

2.2.6. MÉTODOS DE SIMULACIÓN

Hay varios métodos de simulación que se utilizan según el diseño del modelo (continuo, discreto, estocástico y matemático), que representa las características del sistema real con el fin de comprender su comportamiento y evaluar nuevas estrategias. Estos métodos se dividen en grupos, como la simulación de sistemas continuos, discretos, procesos por lotes, simulación combinada y simulación de Monte Carlo. (Anchiraico Giraldo & Rojas Oré, 2020)

2.2.6.1. Simulación de sistemas continuos.

Normalmente, los modelos matemáticos dinámicos representan sistemas continuos, lo que significa que las actividades principales del sistema provocan cambios pequeños en los atributos de sus entidades. Estos modelos están formalmente definidos por ecuaciones diferenciales. (Anchiraico Giraldo & Rojas Oré, 2020)

2.2.6.2. Simulación de sistemas discretos.

Identificar las causas y el momento de los cambios de estado, a los que nos referiremos como eventos, es necesario para el monitoreo. Las ecuaciones del modelo se convierten entonces en las ecuaciones lógicas y las relaciones que determinan las condiciones en las que se produce un evento. (Anchiraico Giraldo & Rojas Oré, 2020)

2.2.6.3. Simulación de procesos por lotes.

No se requiere una evolución temporal continua, ya que las modificaciones en el sistema simulado ocurren en intervalos de tiempo específicos y espaciados de manera no uniforme. En este caso, se necesita un reloj asíncrono que funcione según los eventos ocurridos en el sistema. (Anchiraico Giraldo & Rojas Oré, 2020)

2.2.6.4. Simulación combinada.

Contempla procesos mixtos en los que existe subprocesos de tipo continuo junto con subprocesos en lotes. (Anchiraico Giraldo & Rojas Oré, 2020)

2.2.6.5. Simulación Montecarlo.

En este tipo de simulación, el factor tiempo no tiene un impacto significativo, ya que se permiten múltiples variables y se utilizan como métodos de integración numérica, especialmente cuando se trata de fenómenos reales que no se pueden integrar analíticamente y que requieren la generación de números aleatorios para resolver problemas estocásticos o determinísticos. (Anchiraico Giraldo & Rojas Oré, 2020)

2.2.6.6. GPSS.

El GPSS (General Purpose Simulation System) es un lenguaje y un programa de simulación ampliamente utilizado para la simulación de sistemas dinámicos y estocásticos, pues goza de un gran número de aquellas características que son deseables en un paquete de simulación. (Anchiraico Giraldo & Rojas Oré, 2020)

En la metodología GPSS, que es un programa de simulación de sistemas, las entidades temporales son llamadas transacciones, como clientes o productos, mientras que las entidades permanentes son llamadas recursos, como facilidades en inglés. Cada transacción tiene su ciclo de

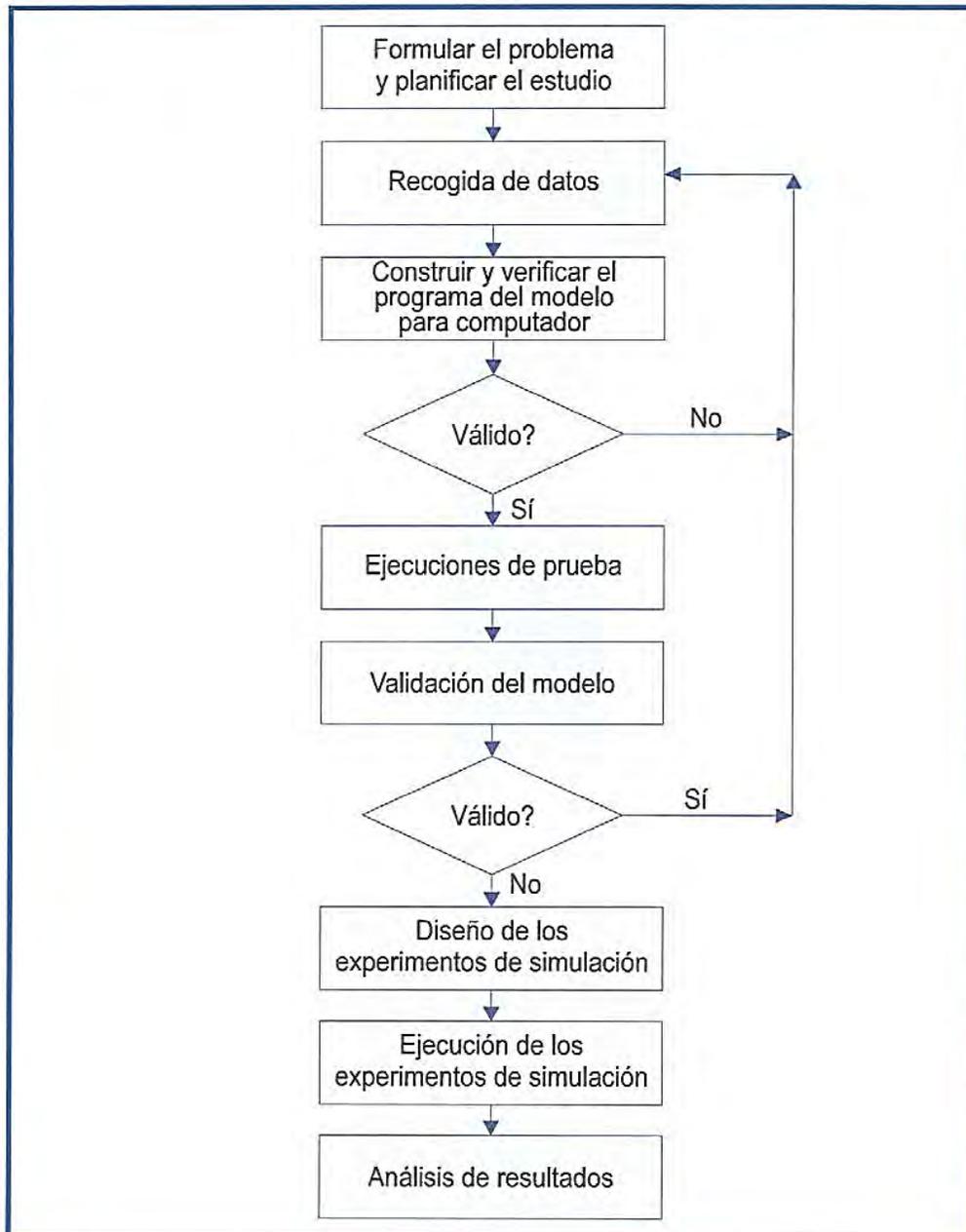
vida en el sistema, el cual se representa como un segmento o módulo en el programa de simulación y puede ser visualizado mediante un diagrama de bloques. Es posible que dos segmentos correspondientes a diferentes transacciones estén relacionados entre sí. (Anchiraico Giraldo & Rojas Oré, 2020)

Para poder analizar la implementación del sistema de simulación GPSS se debe tener en cuenta los siguientes pasos:

- ❖ Identificación de los elementos del sistema a estudiar
- ❖ Aplicación de los resultados en el análisis del sistema
- ❖ Descripción de la lógica que gobierna el sistema
- ❖ Construcción del diagrama de flujo del modelo GPSS/H.
- ❖ Prueba del modelo
- ❖ Análisis del modelo para detectar errores.
- ❖ Experimentación con el sistema.

Gráfico 2

Diagrama de Flujo de la Simulación GPSS



Fuente: (Anchiraico Giraldo & Rojas Oré, 2020)

El gráfico 2 muestra el diagrama de flujo de entradas y salidas, para programar en base a una recolección de datos con GPSS.

2.2.6.6.1. Ventajas del GPSS

- ❖ Los programas son fáciles de preparar y muy versátiles, lo que los hace aplicables a problemas operativos de minería.
- ❖ Su código computacional es corto y puede ser continuamente mejorado.
- ❖ Se encuentra disponible.
- ❖ Está escrito en un lenguaje de programación y por tanto es muy veloz.
- ❖ La capacidad de resolver problemas de manera rápida y precisa es aplicable a una amplia gama de áreas, como la ingeniería, la industria manufacturera, la ciencia y los negocios.
- ❖ Ha probado ser extremadamente versátil para el modelamiento en minería.

2.2.7. SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS

Se debe tener una serie de condiciones esenciales para el proceso de carguío y acarreo, ya que de ello dependerá la eficacia al momento de realizar dichas tareas (Anchiraico Giraldo & Rojas Oré, 2020). Las condiciones que se debe considerar son:

- a) **Naturaleza de los materiales.** Es necesario obtener los datos de densidad del material, el incremento de volumen en la roca después de la explotación (factor de esponjamiento) y su nivel de abrasividad. Estos tres valores son fundamentales para seleccionar adecuadamente los equipos de acarreo y transporte. (Aguero Marcelo & Ramirez Gonzales, 2020)
- b) **Requerimientos de producción.** El rendimiento de la mina está estrechamente vinculado con las labores de carguío y acarreo, ya que la cantidad de mineral que llega a la planta para su procesamiento depende de estos equipos. Por lo tanto, es crucial buscar realizar estas tareas con el menor costo posible, a fin de obtener mayores beneficios económicos.

Es fundamental trabajar con la premisa de minimizar los costos de carga y transporte del mineral.(Aguero Marcelo & Ramirez Gonzales, 2020)

- c) **Condiciones de operación.** En ocasiones, las condiciones de diseño de la mina pueden presentar circunstancias desfavorables que pueden causar problemas graves en los equipos, ya que estos fueron seleccionados teniendo en cuenta las pendientes, distancias de recorrido, curvas, giros, entre otros. Con el fin de evitar paradas inesperadas en el proceso de las operaciones, es necesario realizar una simulación más precisa y anticipada de los equipos, teniendo en cuenta los posibles problemas que puedan surgir por diversas razones. (Aguero Marcelo & Ramirez Gonzales, 2020)
- d) **Capacidad del equipo.** Esto adquiere una gran importancia debido a que la cantidad de mineral que se carga y transporta en los equipos tiene un impacto directo en la eficiencia y efectividad de las operaciones. Es crucial establecer un ritmo de carga programado que sea equilibrado con las capacidades de traslado del proceso.(Aguero Marcelo & Ramirez Gonzales, 2020)
- e) **Tipo de motor.** Esto debe ir en función de las restricciones operativas.
- f) **Trabajos posteriores.** Debemos considerar la utilización total de los equipos en todas las labores que se requieran, sin sobrepasar el nivel de saturación de estos. Es por ello por lo que se debe tomar en cuenta ciertos indicadores de productividad, como la disponibilidad mecánica, utilización efectiva y rendimiento operativo para darles el mejor uso posible a través del tiempo. (Aguero Marcelo & Ramirez Gonzales, 2020)

2.2.8. PLANIFICACIÓN DE RUTAS

La planificación de rutas de transporte es un proceso para determinar cómo se va a transportar una carga de un punto a otro. Es crucial para el control de cargas y facilitar la búsqueda de las mejores rutas, optimizando el trayecto y disminuyendo los costos. Dicha planificación usualmente consta de tres etapas (Baldeón Quispe, 2011):

- a) **Parametrización:** En este punto se establecen los factores o parámetros iniciales de la operación, como los caminos predefinidos, los tiempos máximos de recorrido, las distancias, el tipo de carga, los equipos a utilizar, su consumo de combustible, las condiciones del terreno, la distribución geográfica y el horario de acopio o tiempo límite de entrega. Es necesario analizar estos factores junto con todo el proceso de transporte desde el punto de inicio hasta el punto final . (Baldeón Quispe, 2011)
- b) **Ejecución:** Las opciones de ruta se definen según los parámetros mencionados anteriormente y se evalúan en términos de tiempo y costo, utilizando una función objetivo en una programación lineal. A partir de esto, se realiza la planificación y se selecciona la opción más eficiente o mejor camino. En esta etapa, es importante considerar las posibles mejoras en función de los cambios en los parámetros, así como identificar obstáculos que puedan afectar la planificación, como zonas de riesgo, áreas de paradas o tráfico, cambios climáticos, entre otros, para realizar las correcciones necesarias. (Baldeón Quispe, 2011)
- c) **Monitoreo:** En esta fase final se verifica la eficacia de la ruta seleccionada y se identifican posibles fallas durante la ejecución, además de asegurarse de que se cumplan las restricciones de la operación. Todo este proceso permite ajustar la estrategia planificada según los objetivos establecidos. Cuando la zona de trabajo es amplia y hay muchos equipos o vehículos involucrados, se recomienda utilizar un software especializado que

utilice algoritmos avanzados para gestionar la planificación de rutas complejas y minimizar los errores en la toma de decisiones. Estos programas también ofrecen beneficios adicionales, como seguimiento en tiempo real, informes detallados, modificaciones de ruta en tiempo real y una planificación más automatizada. (Baldeón Quispe, 2011)

2.2.9. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- ❖ **RENDIMIENTO.** El rendimiento de un equipo específico se refiere al volumen o peso de producción teórica que se puede lograr en una unidad de tiempo. Por lo general, se expresa en términos de producción por hora, pero también se puede utilizar la tasa por turno o día.
- ❖ **PRODUCCIÓN.** El volumen o peso total de material a ser manejado en una operación particular, ya sea el mineral con valor económico que se extrae o el estéril que se debe remover para acceder a él. A menudo, la producción de mineral se mide en unidades de peso, mientras que el movimiento de estéril se expresa en volumen.
- ❖ **PRODUCTIVIDAD.** La productividad se refiere a la capacidad de producir más utilizando menos recursos, lo cual resulta en costos más bajos al utilizar la cantidad adecuada de equipos de carguío y transporte, lo que permite reducir los presupuestos.
- ❖ **CARGUÍO.** Corresponde a una operación de carga de mineral y/o desmonte a los camiones volquetes, para que sean trasladados hacia a la planta concentradora o hacia una cancha de acumulación de mineral. En esta operación se incluyen tareas de remoción y acopio del material fragmentado.
- ❖ **ACARREO.** Se denomina acarreo al traslado corto de material roto en la mina, es decir que el transporte tiene limitaciones, o tiene un determinado radio de acción y estarán ubicados en los frentes de operación, efectuados por los equipos Scooptram.

- ❖ **TRANSPORTE.** Efectuada la voladura del mineral, este es extraído de la mina hacia el exterior, para ello, se acumula y se carga a los diferentes medios de transporte de los que se disponen.
- ❖ **CAPACIDAD DE CARGA.** Se refiere al volumen de material que una unidad de carguío o transporte puede contener en un momento dado (por ejemplo, el volumen del balde de una pala o de la tolva de un camión). La capacidad se puede expresar de dos maneras:
 - *Capacidad al ras:* El volumen de material en una unidad de carguío o transporte cuando es llenado hasta el tope, pero sin material sobre los lados o llevado en algún accesorio externo como los dientes del balde.
 - *Capacidad colmada:* Máximo volumen de material que una unidad de carguío o transporte puede manejar cuando el material es acumulado sobre los lados del contenedor. Mientras que la capacidad rasa es una constante para un equipo dado, la capacidad colmada depende del material transportado y de sus propiedades (tamaño de granos, ángulo de reposo, etc.)
- ❖ **CAPACIDAD DE CARGA NOMINAL.** Es la capacidad de fábrica de un determinado equipo, en términos del peso máximo que puede manejar. La mayoría de los equipos están diseñados para movilizar un determinado peso, en lugar de un volumen máximo. Por lo tanto, el volumen de material manejado dependerá de la densidad del material, y variará con la densidad para un mismo equipo, mientras que el peso máximo es constante y es una función de la resistencia de los componentes del equipo.
- ❖ **FACTOR DE ESPONJAMIENTO.** El incremento fraccional del volumen del material que ocurre cuando está fragmentado y ha sido sacado de su estado natural (volumen in situ) y depositado en un sitio no confinado (volumen no confinado). Puede expresarse como una fracción decimal o como un porcentaje.

- ❖ **FACTOR DE LLENADO.** Un ajuste de la capacidad de llenado del cazo o tolva de equipos de carguío y transporte. Se expresa generalmente como una fracción decimal y corrige la capacidad del caso y tolva al volumen que realmente puede mover, dependiendo de las características del material y su ángulo de reposo, y la habilidad del operador del equipo para efectuar la maniobra de llenado.
- ❖ **FACTOR DE ACOPLAMIENTO.** Es la relación existente entre la capacidad de producción de un equipo de transporte con respecto a la capacidad de carga dispuesta para dicho equipo de transporte
- ❖ **TIEMPO.** Es una magnitud física con la que medimos la duración o separación de acontecimientos, sujetos a cambio, de los sistemas sujetos a observación. El tiempo permite ordenar los sucesos en secuencias, estableciendo un pasado, un futuro y un tercer conjunto de eventos ni pasados ni futuros respecto a otro.
- ❖ **TIEMPO DE CICLO.** El tiempo de ciclo corresponde al tiempo que el equipo de carguío demora en ir al lugar de extracción de mineral o estéril y transportarlo al sitio de descarga incluye además el tiempo ocupado en maniobras realizadas en esta operación. El tiempo de ciclo está compuesto por los tiempos fijos y los tiempos variables. Los primeros dependen de las condiciones bajo las cuales opera el equipo. Los tiempos variables además de depender de las condiciones de trabajo, varían según la longitud de los tramos a recorrer y la velocidad que en éstos se desarrolle.
- ❖ **MINA.** Yacimiento de donde se extrae el mineral rentable mediante un sistema productivo. La extracción se efectúa por etapas: primero se hace exploraciones.
- ❖ **YACIMIENTO.** Depósito natural de rocas o mineral rentable, donde generalmente se abre una mina.

- ❖ **MINERAL.** Se refiere al material con valor económico que es enviado a la planta de procesamiento. Se diferencia de material de baja ley que no es enviado a la planta, pero podría algún día ser enviado; lastre o estéril, material que no tiene valor económico. La calidad del mineral es expresada según su concentración del metal de interés.
- ❖ **MINERAL MARGINAL.** Se denomina así al mineral que presenta material de baja ley o está en el límite de una ley de cut off(Ley de Corte)
- ❖ **LEY DE CORTE.** También llamado cut off, es el grado mínimo para que un mineral sea extraído y aprovechado económicamente.
- ❖ **MINERÍA SUPERFICIAL.** También llamada minería a Cielo Abierto, éste tipo de minería se desarrolla en la superficie del terreno, y es caracterizada por el uso de Equipos a mediana o gran escala(Ton), y por extraer grandes cantidades de mineral y desmonte.
- ❖ **STOCKPILE.** También llamada cancha de almacenamiento o de acopio tanto de mineral marginal y de desmonte .

2.2.10. MARCO LEGAL

Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería Decreto Supremo 023-2017 EM.

ART. 272.- Los equipos móviles que circulen dentro de las áreas operativas como camiones, volquetes, motoniveladoras, tractores, cargadores frontales, camiones cisterna, palas eléctricas, retroexcavadoras, entre otros, solo serán operados por trabajadores autorizados. Los equipos móviles para el transporte de personal y carga que salgan del área operativa serán conducidos únicamente por trabajadores autorizados, quienes deberán contar con una licencia de conducir vigente correspondiente al tipo de equipo móvil que conducirán, expedida por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

ART. 309.- Es necesario romper las grandes rocas antes de cargarlas, ya que podrían representar un riesgo para los trabajadores o afectar la estabilidad del equipo móvil.

2.3.HIPÓTESIS

2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL

- “Al aplicar la metodología Six Sigma en el sistema de carguío y acarreo, permitió mejorar los indicadores de producción en equipos”.

2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- La situación actual de las operaciones de carguío y acarreo , permitió identificar los estándares a corregir .
- La identificación de los costos de alquiler de equipos con la aplicación de la metodología Six Sigma permitió analizar procesos de mejora continua.
- La asignación de equipos en las operaciones de Pampaseca, Miraflores y el Tajo Santa Rosa permitió alcanzar eficiencias más altas.

2.4.VARIABLES E INDICADORES

2.4.1. VARIABLE DEPENDIENTE

X: Indicadores de Producción en Equipos.

2.4.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Y: Metodología Six Sigma en el sistema de Carguío y Acarreo

2.5. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 3

Tabla de Variables

TIPO DE VARIABLES	VARIABLES	INDICADORES
INDEPENDIENTE	Metodología Six Sigma en el sistema de Carguío y Acarreo	- <u>Definir</u> – Tiempos improductivos(Hr)
		- <u>Medir</u> – Indicadores del sistema de Carguío y Acarreo(Ton/Hr)
		- <u>Analizar</u> – Histogramas del ciclo de carguío y acarreo
		- <u>Mejorar</u> – Implementación del sistema GPSS(Nº de equipos de flota óptima)
DEPENDIENTES	Indicadores de producción de Equipos	- <u>Controlar</u> – Variabilidad de costos de alquiler de equipos (\$/hr)
		- Tiempo del ciclo de transporte (Hr.)
		- Producción horaria de equipos (TM/Hr.)
		- Costo de alquiler de maquinaria pesada (\$/Hr.)

Nota: Elaboración Propia

CAPÍTULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es del tipo Básica y Cuantitativa, ya que la investigación a realizar utiliza datos medibles para el análisis del uso de la metodología del Six Sigma en el sistema de Carguío y Acarreo en las Operaciones de la Empresa Cerro Sac.

Según (ÑAUPAS PAITAN y otros, 2018, pág. 133) “La investigación es del tipo básica ya que no está interesada por un objetivo crematístico, su motivación es la simple curiosidad, el inmenso gozo de descubrir nuevos conocimientos, en este tipo de investigación no tiene como objetivo resolver ningún problema inmediato, ya que, sirven de base teórica para otros tipos de investigación”

Asimismo (Hernández Sampieri y otros, 2014) nos dice: “La investigación tiene el enfoque cuantitativo cuando utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis mediante estadística, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar sus teorías”

3.2.NIVEL DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con los alcances de la investigación, la presente investigación es:

Correlacional, ya que tiene como finalidad conocer la relación que exista entre dos o más conceptos o variables en una muestra o contexto en particular. (Hernández Sampieri y otros, 2014)

3.3.DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo con los diseños de la investigación, la presente investigación es:

Descriptiva, ya que comprende la colección de datos para probar una hipótesis o responder a preguntas concernientes a la situación corriente de los sujetos que intervienen en el estudio. Un estudio descriptivo determina los modos de ser de los objetos. (ÑAUPAS PAITAN y otros, 2018).

Explicativa, es decir, que pretende establecer las causas de los sucesos o fenómenos que se estudian. (Hernández Sampieri y otros, 2014).

3.4.POBLACIÓN

La población que se analizó es un total de 19 equipos de acarreo (Camiones Volquete) y sus respectivos equipos de carguío (1 Cargador Frontal y 2 Excavadoras Hidráulicas) ubicados estratégicamente en las operaciones de los Stock Pile de Miraflores, Pampaseca y el Tajo Santa Rosa.

3.5.MUESTRA

La muestra se calculará con la siguiente fórmula por ser de población finita:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Donde:

N: Tamaño de Muestra

Z: Nivel de confianza

d: Margen de error

p: Proporción esperada de la muestra

q: 1-p

Entonces nuestros datos serían los siguientes:

N: 20 (Número de Volquetes en la Operación)

Z:1.96 (Por ser del 95% de confiabilidad)

d: 0.05 (5% de margen de error)

p: 0.5(50% al no existir una encuesta anterior de la población total)

q: 0.5(1-0.5)

Reemplazando en la fórmula:

$$n = \frac{(19) * 1.96^2 * 0.5 * 0.5}{0.05^2 * (19 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} = \frac{18.2476}{1.0054} = 18.150$$

La muestra nos da resultado de 18, sin embargo para el caso práctico de la presente investigación y su mayor exactitud , se opta por analizar los 19 Volquetes y los equipos de carguío correspondientes a éstos.

3.6.TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE CAPTURA DE INFORMACIÓN

3.6.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas usadas en la recolección de datos se basaron en la observación directa de los ciclos de carguío y acarreo de mineral y/o desmonte, así como la medición de la distancia de los diferentes tramos de acarreo. Por otro lado, se recopiló datos por observación indirecta, de informes, estándares de mina y reportes de rendimiento de los equipos de carguío y acarreo, existentes en la base de datos de la Empresa Administradora Cerro SAC, asimismo se hizo uso de las encuestas a los conductores acerca del cumplimiento de sus labores diarias planificadas.

3.6.2. INSTRUMENTOS

Los instrumentos utilizados en la investigación fueron:

- Ficha Técnica de Campo
- Ficha de encuestas
- Guía de observación
- Guía de herramienta de Gestión Six Sigma.
- Mapas Topográficos para la ubicación de labores.

3.7. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS

La información recolectada fue evaluada y analizada con el objetivo de identificar los tiempos improductivos en la operación para lo cual se hizo uso de:

- Microsoft Excel.- Para la organización de los Datos y formulación de indicadores
- AutoCAD.- Para la ubicación de las labores metradas y dimensionadas
- Software GPSS: Para la simulación del sistema de carguío y acarreo.
- Paquete estadístico Minitab: Para el análisis estadístico de la investigación.

CAPÍTULO IV

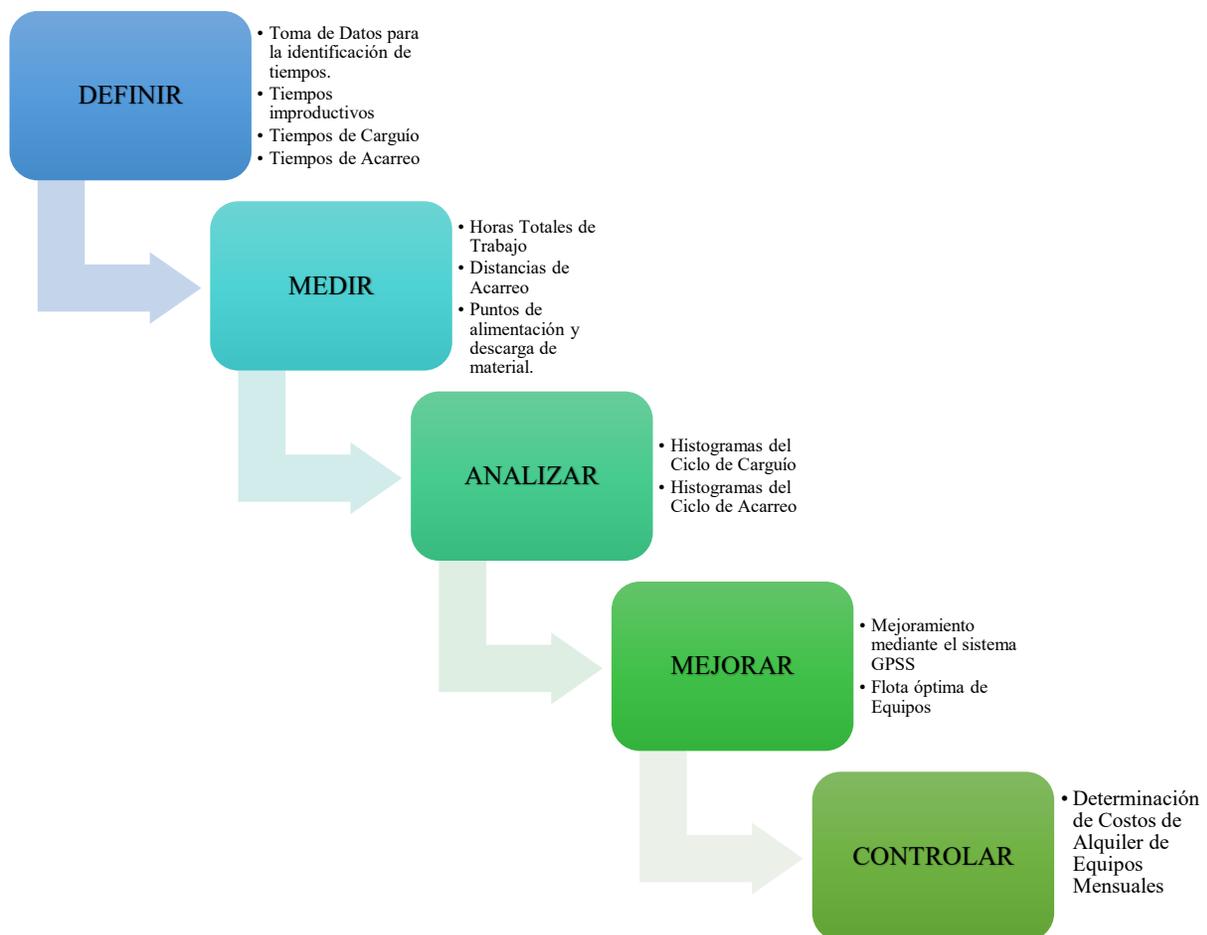
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. DESARROLLO DE LA PROPUESTA SIX SIGMA MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO DMAIC

La investigación utiliza la muestra de 19 Volquetes para el análisis de la problemática, éstos a su vez designados en los Stock Pile de Miraflores, Pampaseca, y el Tajo Santa Rosa, para lo cuál se define el proceso DMAIC en la delimitación de toma de muestra durante 60 días variables durante el año 2021.

Gráfico 3

Proceso DMAIC de la Investigación



Nota: Se muestra el proceso según los objetivos de la investigación

4.1.1. DEFINIR

En ésta etapa inicial se desarrollará la toma de datos para la identificación de tiempos, de los cuáles la muestra nos indica 19 volquetes.

Se empleó los estándares de tiempos que tiene como política interna , es así que tenemos la recolección de tiempos en los distintos frentes de trabajo.

Figura 4

Vista en planta de la Ubicación de los Stock Pile y Planta



Nota: Se visualiza la cercanía de la Operación a la Ciudad de Cerro de Pasco

Tabla 4*Diagrama de Tiempos Cerro Sac*

Tiempo Total				
Tiempo Operativo/Tiempo Disponible			Mantenimiento	
Operando/Efectivo	Demora	Stand By	Programado	Correctivo

Nota: La investigación se basa en este diagrama de Tiempos

4.1.1.1. Análisis de los Tiempos en Stock Pile Miraflores

El análisis se realizará del primer punto de carguío ubicado en el Stock Pile de Miraflores.

En la tabla se puede apreciar los tiempos promedio de 7 volquetes ubicados estratégicamente en la zona norte del Stock Pile de Miraflores.

- El carguío analizado fue con la Excavadora EC380DL Volvo.

- ◆ Análisis del Tiempo Total

Tabla 5*Tabla de Tiempo Total en Stock Pile de Miraflores*

Volquete	Tiempo Operando(Min)	Tiempo Demora(Min)	Tiempo Stand by (Min)	Tiempo de Mantenimiento	Tiempo total
AWG-822	3.9	0.3	0.0	0.0	4.3
AXU-847	3.1	0.3	0.1	0.0	3.5
BAO-755	4.0	0.2	0.1	1.1	5.4
BAQ-827	4.1	0.5	0.0	0.0	4.6
BCY-789	3.9	0.4	0.0	0.0	4.3
FOG-716	3.8	0.3	0.0	0.0	4.1
FOG-733	3.9	0.2	0.0	0.0	4.1

Nota: El análisis de la tabla es con el carguío de la Excavadora 380DL Volvo

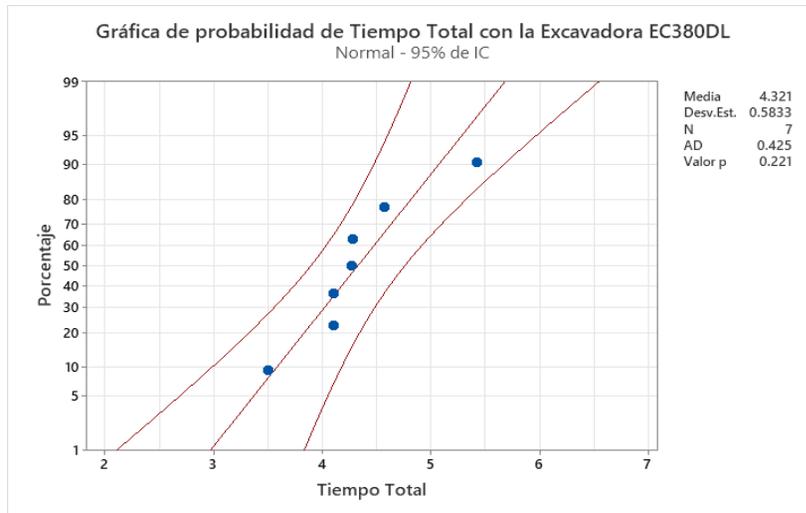
Se puede visualizar los tiempos promedio del total de la data tomada, en cuánto se refiere al tiempo de operación, tiempo demora, tiempo de stand by; y tiempo de mantenimiento, sumados todos éstos podemos analizar el Tiempo Operativo Promedio por cada Volquete.

$Tiempo\ Operativo = Tiempo\ de\ Operación + Tiempo\ Demora + Tiempo\ Stand\ By$

$Tiempo\ Total = Tiempo\ de\ Operativo + Tiempo\ de\ Mantenimiento$

Gráfico 4

Gráfica de Probabilidad de Tiempos de la Excavadora EC380DL



Nota: El gráfico es realizado con el software Minitab

De la gráfica podemos deducir según el Valor P= 0.221, que al ser un valor mayor a 0.05 (por el nivel de confianza del 95%), ésta tiende a una distribución normal, la cuál tiene afinidad a una investigación desarrollada con Six Sigma.

4.1.1.2. Análisis de los tiempo en Tajo Santa Rosa (Zona VGS)

En la tabla se puede apreciar los tiempos promedio de 5 volquetes ubicados estratégicamente en la Zona VGS del Tajo Santa Rosa.

- El carguío fue realizado con la Excavadora 336DL- Caterpillar

Tabla 6

Tabla de Tiempo Total en la Zona VGS del Tajo Santa Rosa

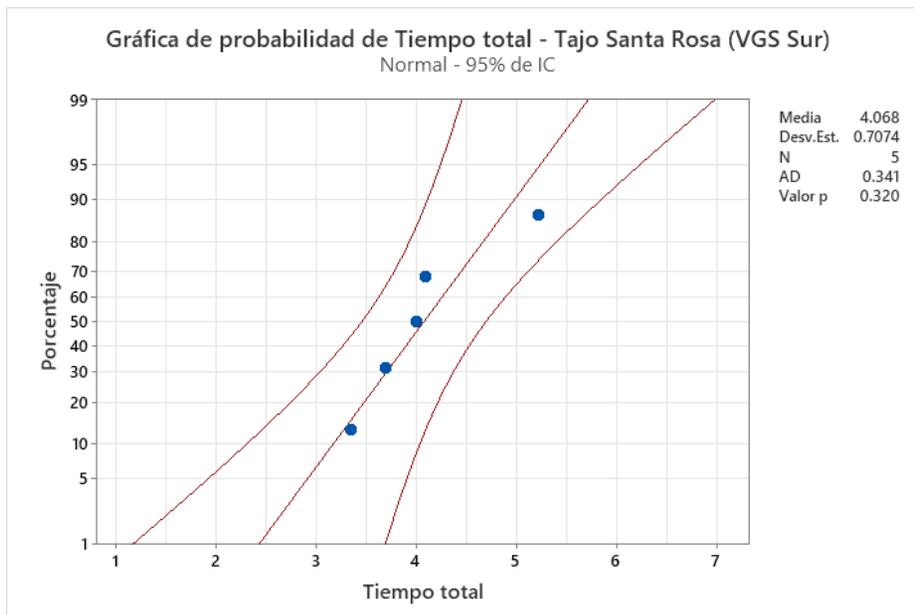
Volquete	Tiempo Operando(Min)	Tiempo Demora(Min)	Tiempo Stand by (Min)	Tiempo de Mantenimiento	Tiempo Total
AVA-838	3.9	0.2	0.0	0.0	4.1
BAN-877	3.6	0.2	0.0	0.2	4.0
BAN-879	3.7	0.2	0.1	1.3	5.2
FOF-895	3.5	0.2	0.0	0.0	3.7
FOF-949	3.1	0.2	0.0	0.0	3.3

Nota: El análisis de la tabla es tomada de un día al azar del carguío de la Excavadora

De la gráfica podemos deducir según el Valor $P=0.320$, que al ser un valor mayor a 0.05 (por el nivel de confianza del 95%), ésta tiende a una distribución normal, la cuál tiene afinidad a una investigación desarrollada con Six Sigma.

Gráfico 5

Gráfica de Probabilidad de Tiempos de la Excavadora 336DL



Nota: Gráfico desarrollado en el Software Minitab

4.1.1.3. Análisis de los tiempos en el Stock Pile de Pampa Seca (Pool Cureña)

En la tabla se puede apreciar los tiempos promedio de 7 volquetes ubicados estratégicamente en el Stock Pile de Pampa Seca zona Pool cureña

- El carguío fue realizado con el Cargador Frontal 966 H – Caterpillar

Tabla 7

Tabla de Tiempo Total en el Stock Pile de Pampa Seca

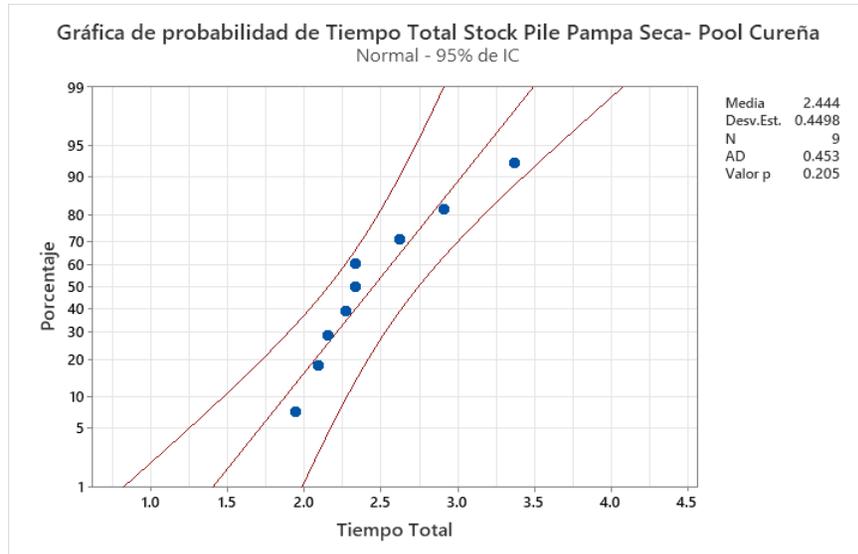
Volquete	Tiempo Operando(Min)	Tiempo Demora(Min)	Tiempo Stand by (Min)	Tiempo de Mantenimiento	Tiempo Total
AVA-838	3.4	0.4	0.0	0.0	3.8
AVA-939	2.0	0.4	0.0	0.0	2.4
BAN-879	3.6	0.2	0.1	1.3	5.1
BAO-831	3.0	0.1	0.1	1.3	4.5
FOF-895	3.0	0.1	0.0	0.0	3.2
FOF-927	2.7	0.3	0.0	0.0	3.0
FOF-949	2.9	0.2	0.0	0.0	3.1

Nota: El análisis es tomado de un día al azar del carguío del Cargador Frontal 966H

De la gráfica podemos deducir según el Valor $P= 0.205$, que al ser un valor mayor a 0.05 (por el nivel de confianza del 95%), ésta tiende a una distribución normal, la cuál tiene afinidad a una investigación desarrollada con Six Sigma.

Gráfico 6

Gráfico de Probabilidad de Tiempos del Cargador 966H



Nota: Gráfico desarrollado en el software minitab

4.1.2. MEDIR

4.1.2.1. Medición de los Indicadores de Rendimiento del Ciclo de Carguío

Figura 5

Ciclo de Carguío



Fuente: Elaboración Propia

4.1.2.1.1. Indicadores del Ciclo de Carguío en el Cargador Frontal 966H

Tabla 8

Tiempos del ciclo de carguío y acarreo

Tiempo Total				
Tiempo Operativo/Tiempo Disponible			Mantenimiento	
Operando/Efectivo	Demora	Stand By	Programado	Correctivo

Nota: Se utiliza este formato por la estandarización de Volcan

Dentro de los tiempos ya determinados, en el Caso del Tiempo Operando /Efectivo, para el sistema de carguío , Volcan determina 3 tipos de tiempo dentro de éstos, como a continuación se muestra:

Tabla 9

Tiempo Operando/Tiempo Efectivo

Tiempo Operando Efectivo		
Cargando	Acomodo	Esperando(Hang)

Nota: El desarrollo de estos tiempos es para equipos de carguío

Entonces en la siguiente tabla, tenemos los tiempos promedios por ciclo de 9 volquetes que cumplen la función neta de carguío de mineral en la ruta Miraflores – Tolva de Gruesos Paragsha.

Tabla 10*Tiempo Operando del Cargador Frontal 966H*

Volquete	Tiempo Cargando (Min)	Tiempo Acomodo(Min)	Hang (Min)	Tiempo Operando Promedio por ciclo(Min)
AXU-847	1.3	0.8	0.3	2.4
BAO-755	1.8	0.5	0.1	2.4
BAQ-827	1.6	0.9	0.2	2.7
BCB-903	1.2	0.8	0.2	2.2
BHI-841	1.2	0.4	0.2	1.9
FOF-733	0.7	0.8	0.2	1.8
FOF-949	2.1	0.7	0.2	2.9
FOG-716	2.2	0.9	0.2	3.3
FOG-733	1.8	0.8	0.2	2.8

Nota: Se desarrolla los tiempos promedios en un mes de trabajo

Entonces, podemos determinar el tiempo total de horas por día por cada Volquete de la siguiente manera:

$$\textit{T tiempo Operando en el día} = \textit{T tiempo Promedio por ciclo(Min)} * \textit{Numero de Viajes en el Día}$$

Por lo tanto podemos hallar el tiempo operativo por día del equipo de carguío , en este caso del cargador frontal 966H.

Tabla 11*Tiempo operando promedio por día*

Volquete	Tiempo Operando Promedio por ciclo(Min)	Numero de Viajes en el día	Tiempo Operando en el día (Min)
AXU-847	2.4	20	48.7
BAO-755	2.4	18	43.6
BAQ-827	2.7	17	46.2
BCB-903	2.2	19	42.4
BHI-841	1.9	20	37.2
FOF-733	1.8	20	35.0
FOF-949	2.9	16	46.7
FOG-716	3.3	14	46.8
FOG-733	2.8	22	61.2
Total			407.7

Nota: Elaboración Propia

$$Tiempo Operando en el día = \frac{407.7min}{Día} * \frac{1Hora}{60min} = 6.795Horas/día$$

Así de la misma forma hallamos para el tiempo Hang, Cargando y Acomodo Total por Día:

Tabla 12

Resumen de Tiempos promedio de Acarreo

Tiempo Cargando por día	0.58 Horas/Día
Tiempo Acomodo por día	2.02 Horas/Día
Tiempo Hang por día	4.2 Horas /Día
Tiempo Operando por día	6.8Horas/día

Nota: Los tiempos fueron hallados promediando los Datos Mensuales

Al evaluar el tiempo Hang, cabe precisar que éste tiempo de espera es aprovechado por el Cargador Frontal, para el coneo y apilamiento de mineral.

➤ ESPERA CARGUÍO – HANG

$$Espera Carguío = \frac{Tiempo Esperando Hang}{Tiempo Operando efectivo}$$

$$Espera Carguío(%) = \frac{4.2Horas/día}{6.8 Horas/día} = 61.76\%$$

El cuál quiere decir que el Cargador Frontal con la flota de Volquetes asignada, presenta un 61.76% del tiempo total como tiempo de Espera entre camiones, siendo un porcentaje alto de los estándares permitidos en Volcan.

➤ TIEMPO DE ESPERA

$$Tiempo Espera(minutos) = \frac{Tiempo Esperando Hang}{\#Viajes Promedio por día}$$

$$\text{Tiempo Espera (minutos)} = \frac{4.2 \text{ Horas/día} * 60 \text{ min/hora}}{18 \text{ Viajes/día}} = 14 \text{ minutos}$$

Donde podemos analizar que el Cargador Frontal 966 H espera 14 minutos en el día por volquete, lo cual en total sería 2.1 horas al día de tiempo de espera, el cuál según orden de capataz o supervisor lo aprovecha para apilar mineral en forma de Coneo.

➤ PRODUCTIVIDAD INSTANTÁNEA

$$\text{Productividad Instantánea} = \frac{m^3}{\text{Tiempo Cargando}}$$

$$\text{Productividad Instantánea} = \frac{15m^3/\text{día}}{0.58 \text{ Horas/día}} = 25.86m^3/\text{hora}$$

De la cuál interpretamos que la productividad instantánea debería ser de 25.86 metros cúbicos de mineral por cada hora, si esto lo llevamos a toneladas, debemos de conocer la densidad del material que se carga como a continuación se detalla:

- Densidad de Mineral en Stock Pile Miraflores : 2.1 Ton/ m3
- Densidad de Mineral en Stock Pile Pampaseca : 2.0 Ton / m3
- Densidad de Mineral en Tajo Santa Rosa : 1.7 Ton / m3

Para el presente análisis, se usará el valor de 2.1 Ton /m3 del Stock Pile de Miraflores, por lo tanto haciendo la siguiente conversión:

$$\text{Productividad Instantánea} = \frac{25.86m^3}{\text{hora}} * 2.1 \frac{\text{Ton}}{m^3} = 54.306 \text{ Ton/Hora}$$

Es así que deducimos que en una hora se mueve 54.306 toneladas de mineral por Volquete.

➤ PRODUCTIVIDAD EFECTIVA

$$\text{Productividad Efectiva} = \frac{m^3}{\text{Tiempo Cargando} + \text{Tiempo acomodo}}$$

$$\text{Productividad Efectiva} = \frac{15m^3}{0.58\text{Horas/día} + 2.02\text{Horas/día}} = 5.77m^3/\text{hora}$$

$$\text{Productividad Efectiva} = \frac{5.77m^3}{\text{hora}} * 2.1 \frac{\text{Ton}}{m^3} = 12.117\text{Ton/Hora}$$

➤ PRODUCTIVIDAD OPERATIVA

$$\text{Productividad Operativa} = \frac{m^3}{\text{Tiempo Operando por día}}$$

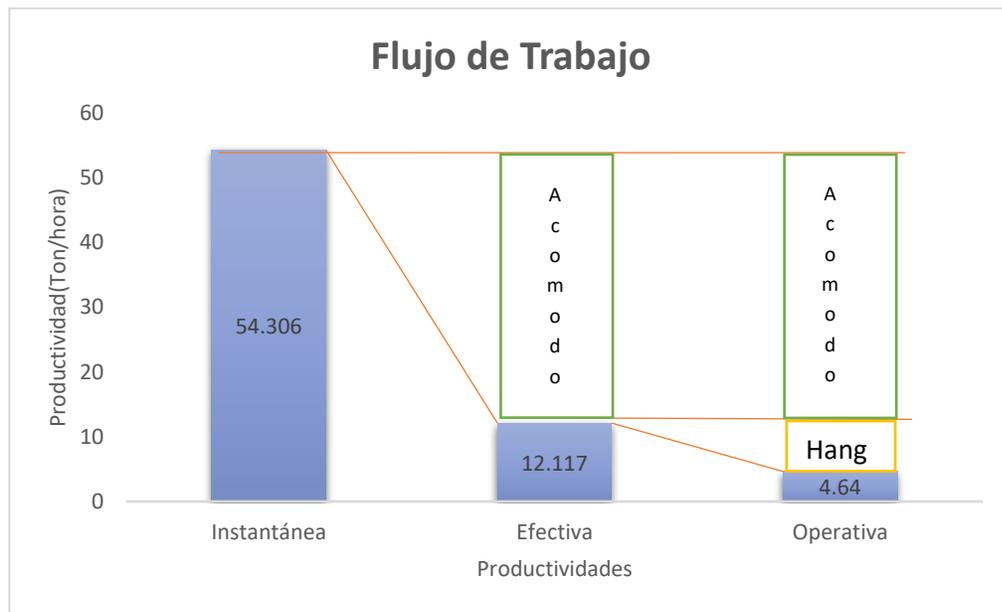
$$\text{Productividad Operativa} = \frac{15m^3}{6.8\text{Horas/día}} = 2.21m^3/\text{hora}$$

$$\text{Productividad Operativa} = \frac{2.21m^3}{\text{hora}} * 2.1 \frac{\text{Ton}}{m^3} = 4.64\text{Ton/Hora}$$

➤ ANÁLISIS DEL FLUJO DE TRABAJO DEL CARGADOR 966H

Gráfico 7

Flujo de Trabajo del Cargador 966H.



Nota: Elaboración Propia

Podemos visualizar la relación de la productividad instantánea, efectiva y operativa, en la cuál se observa de color verde que la productividad perdida por el tiempo de acomodo es sustancial, siendo un indicador de demora continua en este equipo.

4.1.2.1.2. Indicadores del Ciclo de Carguío en la Excavadora 336DL

Entonces en la siguiente tabla, tenemos los tiempos promedios por ciclo de 12 volquetes que cumplen la función neta de carguío de mineral en la Pampa Seca – Tolva de Gruesos Paragsha.

Tabla 13

Tiempo Operando/Efectivo promedio Excavadora 336DL

Volquete	Tiempo Cargando (Min)	Tiempo Acomodo(Min)	Hang (Min)	Tiempo Operando Promedio por ciclo(Min)
----------	-----------------------	---------------------	------------	---

AVA-838	2.46	0.86	0.20	3.52
AVA-939	2.47	0.86	0.20	3.53
AWG-822	3.07	0.77	0.17	4.01
BAN-877	2.36	0.69	0.21	3.25
BAN-879	2.75	0.65	0.15	3.55
BAO-831	2.76	0.65	0.15	3.56
BAQ-827	1.61	0.90	0.21	2.72
BCY-789	2.69	0.74	0.20	3.63
FOF-895	2.18	0.55	0.26	2.99
FOF-927	2.11	0.62	0.22	2.94
FOF-949	2.07	0.65	0.20	2.92
FOG-733	1.79	0.79	0.20	2.78

Nota: Los tiempos son el resumen promedio de lo recolectado en campo.

Entonces, podemos determinar el tiempo total de horas por día por cada Volquete de la siguiente manera:

$$\text{Tiempo Operando en el día} = \text{Tiempo Promedio por ciclo (Min)} * \text{Numero de Viajes en el Día}$$

Por lo tanto podemos hallar el tiempo operativo por día del equipo de carguío , en este caso de la Excavadora Hidráulica 336DL.

Tabla 14

Tiempo Promedio Operando por día

Volquete	Tiempo Operando Promedio por ciclo (Min)	Numero de Viajes en el día	Tiempo Operando en el día (Min)
AVA-838	3.52	14	49.33
AVA-939	3.53	13	45.92
AWG-822	4.01	12	48.11
BAN-877	3.25	10	32.55
BAN-879	3.55	8	28.36
BAO-831	3.56	8	28.46
BAQ-827	2.72	9	24.46

BCY-789	3.63	10	36.32
FOF-895	2.99	8	23.95
FOF-927	2.94	10	29.45
FOF-949	2.92	9	26.28
FOG-733	2.78	12	33.36
Total			406.55

Nota: Elaboración Propia

$$\text{Tiempo Operando en el día} = \frac{406.55 \text{min}}{\text{Día}} * \frac{1 \text{Hora}}{60 \text{min}} = 6.76 \text{Horas/día}$$

Así de la misma forma hallamos para el tiempo Hang, Cargando y Acomodo Total por Día:

Tabla 15

Tiempos Promedio del Ciclo de Carguío de la Excavadora 336DL

Tiempo Cargando por día	0.41 Horas/Día
Tiempo Acomodo por día	1.52 Horas/Día
Tiempo Hang por día	4.85 Horas /Día
Tiempo Operando por día	6.78Horas/día

Nota: Elaboración Propia

➤ ESPERA CARGUÍO – HANG

$$\text{Espera Carguío} = \frac{\text{Tiempo Esperando Hang}}{\text{Tiempo Operando efectivo}}$$

$$\text{Espera Carguío}(\%) = \frac{4.85 \text{Horas/día}}{6.78 \text{Horas/día}} = 71.53\%$$

El cuál quiere decir que la Excavadora Hidráulica con la flota de Volquetes asignada, presenta un 71.53% del tiempo total como tiempo de Espera entre camiones, siendo un porcentaje alto de los estándares permitidos en Volcan.

➤ TIEMPO DE ESPERA

$$\text{Tiempo Espera (minutos)} = \frac{\text{Tiempo Esperando Hang}}{\# \text{Viajes Promedio por día}}$$

$$\text{Tiempo Espera (minutos)} = \frac{4.85 \text{ Horas/día} * 60 \text{ min/hora}}{10 \text{ Viajes/día}} = 29 \text{ minutos}$$

Donde podemos analizar que la Excavadora Hidráulica 336DL espera 29 minutos en el día por volquete, lo cual en total sería 5.8 horas al día de tiempo de espera, el cuál según orden de capataz o supervisor lo aprovecha para apilar mineral en forma de Cono.

➤ PRODUCTIVIDAD INSTANTÁNEA

$$\text{Productividad Instantánea} = \frac{m^3}{\text{Tiempo Cargando}}$$

$$\text{Productividad Instantánea} = \frac{15m^3/\text{día}}{0.41 \text{ Horas/día}} = 36.58m^3/\text{hora}$$

De la cuál interpretamos que la productividad instantánea debería ser de 36.58 metros cúbicos de mineral por cada hora, si esto lo llevamos a toneladas, debemos de conocer la densidad del material que se carga como a continuación se detalla:

$$\text{Productividad Instantánea} = \frac{36.58m^3}{\text{hora}} * 2.0 \frac{\text{Ton}}{m^3} = 73.16 \text{ Ton/Hora}$$

Es así que deducimos que en una hora se mueve 73.16 toneladas de mineral por Volquete.

➤ PRODUCTIVIDAD EFECTIVA

$$\text{Productividad Efectiva} = \frac{m^3}{\text{Tiempo Cargando} + \text{Tiempo acomodo}}$$

$$\text{Productividad Efectiva} = \frac{15m^3}{0.41 \text{ Horas/día} + 1.52 \text{ Horas/día}} = 7.77m^3/\text{hora}$$

$$Productividad\ Efectiva = \frac{7.77m^3}{hora} * 2.0 \frac{Ton}{m^3} = 15.54Ton/Hora$$

➤ PRODUCTIVIDAD OPERATIVA

$$Productividad\ Operativa = \frac{m^3}{Tiempo\ Operando\ por\ día}$$

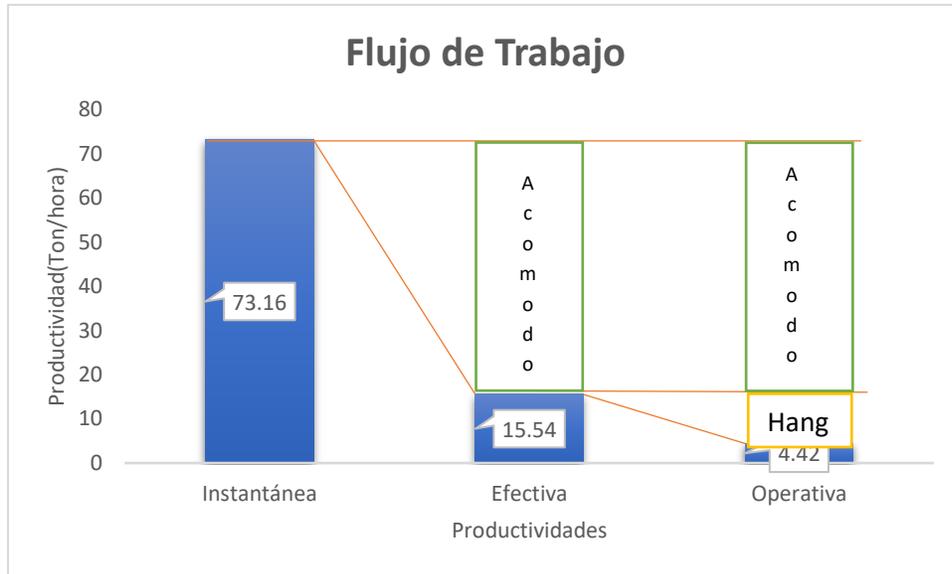
$$Productividad\ Operativa = \frac{15m^3}{6.78Horas/dia} = 2.21m^3/hora$$

$$Productividad\ Operativa = \frac{2.21m^3}{hora} * 2.0 \frac{Ton}{m^3} = 4.42Ton/Hora$$

➤ ANÁLISIS DEL FLUJO DE TRABAJO DE LA EXCAVADORA HIDRÁULICA
336DL

Gráfico 8

Flujo de Trabajo de la Excavadora 336DL



Nota: Elaboración Propia

Podemos visualizar la relación de la productividad instantánea, efectiva y operativa, en la cuál se observa de color verde que la productividad perdida por el tiempo de acomodo es sustancial, siendo un indicador de demora continua en este equipo.

4.1.2.1.3. Indicadores del Ciclo de Carguío en la Excavadora Volvo

EC380DL

Entonces en la siguiente tabla, tenemos los tiempos promedios por ciclo de 9 volquetes que cumplen la función neta de carguío de mineral en la ruta Tajo Santa Rosa – Placa 5 A

Tabla 16*Tiempo Operando Efectivo Excavadora EC380*

Volquete	Tiempo Cargando (Min)	Tiempo Acomodo(Min)	Hang (Min)	Tiempo Operando Promedio por ciclo(Min)
AWG-822	3.01	0.77	0.17	3.95
AXU-847	1.35	0.81	0.31	2.47
BAO-755	1.81	0.52	0.10	2.43
BAQ-827	1.61	0.90	0.21	2.72
BCY-789	2.77	0.74	0.20	3.71
BHI-841	1.21	0.44	0.21	1.86
FOG-716	2.24	0.91	0.19	3.34
FOG-733	1.79	0.79	0.20	2.78
FQF-949	2.38	0.79	0.20	3.37

Nota: Los tiempos son promedios de la data recolectada en campo

Entonces, podemos determinar el tiempo total de horas por día por cada Volquete de la siguiente manera:

$$\textit{T tiempo Operando en el día} = \textit{T tiempo Promedio por ciclo(Min)} * \textit{Numero de Viajes en el Día}$$

Por lo tanto podemos hallar el tiempo operativo por día del equipo de carguío , en este caso de la Excavadora Hidráulica EC380DL.

Tabla 17*Tiempo Operando Promedio por Día*

Volquete	Tiempo Operando Promedio por ciclo(Min)	Numero de Viajes en el día	Tiempo Operando en el día (Min)
AWG-822	3.95	4.00	15.81
AXU-847	2.47	5.00	12.37
BAO-755	2.43	4.00	9.72
BAQ-827	2.72	4.00	10.86
BCY-789	3.71	6.00	22.29
BHI-841	1.86	3.00	5.58
FOG-716	3.34	8.00	26.72

FOG-733	2.78	3.00	8.34
FQF-949	3.37	3.00	10.11
Total			121.80

Nota: Elaboración Propia

$$\text{Tiempo Operando en el día} = \frac{121.8\text{min}}{\text{Día}} * \frac{1\text{Hora}}{60\text{min}} = 2.03\text{Horas/día}$$

Así de la misma forma hallamos para el tiempo Hang, Cargando y Acomodo Total por Día:

Tabla 18

Tiempos del ciclo de Carguío

Tiempo Cargando por día	0.13 Horas/Día
Tiempo Acomodo por día	0.52 Horas/Día
Tiempo Hang por día	1.38 Horas /Día
Tiempo Operando por día	2.03 Horas/día

Nota: Elaboración Propia

➤ ESPERA CARGUÍO – HANG

$$\text{Espera Carguío} = \frac{\text{Tiempo Esperando Hang}}{\text{Tiempo Operando efectivo}}$$

$$\text{Espera Carguío}(\%) = \frac{1.38\text{Horas/día}}{2.03\text{Horas/día}} = 67.98\%$$

El cuál quiere decir que la Excavadora Hidráulica con la flota de Volquetes asignada, presenta un 67.98% del tiempo total como tiempo de Espera entre camiones, siendo un porcentaje alto de los estándares permitidos en Volcan.

➤ TIEMPO DE ESPERA

$$\text{Tiempo Espera}(\text{minutos}) = \frac{\text{Tiempo Esperando Hang}}{\#\text{Viajes Promedio por día}}$$

$$\text{Tiempo Espera}(\text{minutos}) = \frac{1.38 \text{ Horas/día} * 60\text{min/hora}}{5 \text{ Viajes/día}} = 17 \text{ minutos}$$

Donde podemos analizar que la Excavadora Hidráulica EC380DL espera 17 minutos en el día por volquete, lo cual en total sería 2.6 horas al día de tiempo de espera, el cuál según orden de capataz o supervisor lo aprovecha para apilar mineral en forma de Cono o para el diseño de Talud.

➤ PRODUCTIVIDAD INSTANTÁNEA

$$\text{Productividad Instantánea} = \frac{m^3}{\text{Tiempo Cargando}}$$

$$\text{Productividad Instantánea} = \frac{15m^3/\text{día}}{0.13\text{Horas/día}} = 115.38m^3/\text{hora}$$

De la cuál interpretamos que la productividad instantánea debería ser de 115.38 metros cúbicos de mineral por cada hora, si esto lo llevamos a toneladas, debemos de conocer la densidad del material que se carga como a continuación se detalla:

$$\text{Productividad Instantánea} = \frac{115.38m^3}{\text{hora}} * 1.7 \frac{\text{Ton}}{m^3} = 196.15 \text{ Ton/Hora}$$

Es así que deducimos que en una hora se mueve 196.15 toneladas de mineral por Volquete.

➤ PRODUCTIVIDAD EFECTIVA

$$\text{Productividad Efectiva} = \frac{m^3}{\text{Tiempo Cargando} + \text{Tiempo acomodo}}$$

$$\text{Productividad Efectiva} = \frac{15m^3}{0.13\text{Horas/día} + 0.52\text{Horas/día}} = 23.08m^3/\text{hora}$$

$$Productividad\ Efectiva = \frac{23.08m^3}{hora} * 1.7 \frac{Ton}{m^3} = 39.24Ton/Hora$$

➤ PRODUCTIVIDAD OPERATIVA

$$Productividad\ Operativa = \frac{m^3}{Tiempo\ Operando\ por\ día}$$

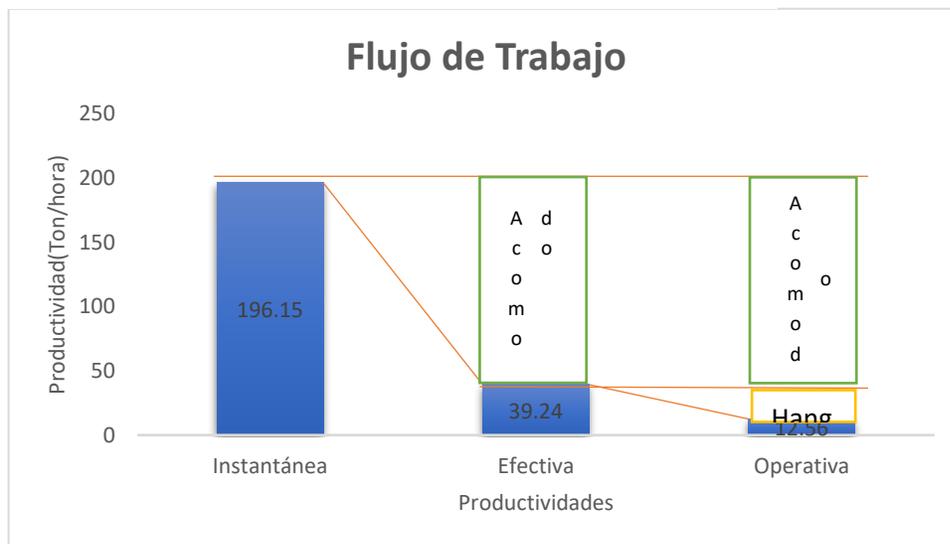
$$Productividad\ Operativa = \frac{15m^3}{2.03Horas/día} = 7.39m^3/hora$$

$$Productividad\ Operativa = \frac{7.39m^3}{hora} * 1.7 \frac{Ton}{m^3} = 12.56Ton/Hora$$

➤ ANÁLISIS DEL FLUJO DE TRABAJO DE LA EXCAVADORA HIDRÁULICA EC380DL

Gráfico 9

Flujo de Trabajo de la Excavadora EC380



Nota: Elaboración Propia

Podemos visualizar la relación de la productividad instantánea, efectiva y operativa, en la cuál se observa de color verde que la productividad perdida por el tiempo de acomodo es sustancial, siendo un indicador de demora continua en este equipo.

4.1.2.2. Medición de los Indicadores de Rendimiento del Ciclo de Acarreo

Para hallar éstos indicadores, se recurrió a una encuesta, que fue dirigida hacia los conductores de los Camiones Volquetes en la Operación, la cuál consiste en el llenado de tiempos de sus ciclo de acarreo como indica a continuación:

Tabla 19

Tiempo Operando Efectivo del Ciclo de Acarreo

Tiempo Operando Efectivo									
Tiempo de Viaje Vacío	Tiempo de Cola	Tiempo de Acomodo	Tiempo Cuadrado	Tiempo Cargando	Tiempo de Viaje Cargado	Tiempo de Espera de Descarga	Tiempo retrocediendo	Tiempo Descargando	

Nota: Los tiempos son dados según los estándares de Volcan

4.1.2.2.1. Tiempos en la ruta de Stock Pile Miraflores- Tolva de Gruesos.

Tabla 20

Tiempos Promedio del ciclo de acarreo en la Ruta Stock Pile Miraflores- Tolva de Gruesos Paragsha

Volquetes	Tiempo de Viaje Vacío	Tiempo de Cola	Tiempo de Acomodo	Tiempo Cuadrado	Tiempo Cargando	Tiempo de Viaje Cargado	Tiempo de Espera de Descarga	Tiempo retrocediendo	Tiempo Descargando	Tiempo Operando Total	Número de Viajes por día
AXU-847	5.2	2.2	1.6	0.7	1.3	9.4	0.8	0.6	1.3	23.2	20
BAO-755	6.1	2.7	1.5	0.5	1.8	11.6	0.4	0.4	0.9	25.9	18
BAQ-827	5.8	2.0	0.8	0.7	1.6	10.8	0.8	0.3	1.0	23.8	17
BCB-903	5.7	2.2	1.2	0.7	1.2	10.4	0.7	0.8	1.2	24.1	19
BHI-841	4.7	2.0	2.1	0.9	1.2	8.7	0.9	0.1	0.8	21.3	20

FOF-733	5.3	2.2	1.6	0.4	0.7	9.5	0.2	0.4	0.8	21.1	20
FOF-949	5.2	2.2	1.6	0.8	2.1	9.4	0.8	0.4	0.4	22.8	16
FOG-716	7.2	2.2	2.6	0.9	2.2	13.8	0.8	0.8	0.7	31.2	14
FOG-733	6.4	2.2	1.8	0.9	1.8	11.0	0.6	0.6	0.9	26.2	22

Nota: Los tiempos son el promedio de los indicados tomados en campo .

Para el análisis se trabajará con los siguientes indicadores:

Para el caso del primer Volquete AXU- 847 tenemos:

➤ COLA DE ACARREO

$$COLA(\%) = \frac{\text{Tiempo Cola}}{\text{Tiempo operando efectivo}}$$

$$COLA(\%) = \frac{2.2}{23.15} = 9.50\%$$

➤ TIEMPO DE COLA

$$TIEMPO DE COLA (Min) = \text{Tiempo cola} * N^{\circ} \text{ de Viajes}$$

$$TIEMPO DE COLA (Min) = 2.2 * 20 = 44 \text{ min/Día}$$

➤ PRODUCTIVIDAD

$$Productividad \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Hr}} \right) = \frac{\text{Toneladas}}{\text{Tiempo operando efectivo}}$$

$$Productividad \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Hr}} \right) = \frac{15.0m^3 * \frac{2.1\text{Ton}}{m^3}}{23.2 \text{ min} * 1\text{hr}/60 \text{ min}} = 81.64\text{Ton}/\text{Hr}$$

➤ VELOCIDAD VACÍO

$$Velocidad Vacío \left(\frac{\text{Km}}{\text{Hr}} \right) = \frac{\text{Distancia en Km}}{\text{Tiempo de Viaje Vacío}}$$

$$Velocidad Vacío \left(\frac{\text{Km}}{\text{Hr}} \right) = \frac{1.53\text{Km}}{5.2\text{min} * 1\text{hr}/60\text{min}} = 17.65\text{Km}/\text{Hr}$$

➤ VELOCIDAD CARGADO

$$\text{Velocidad Cargado} \left(\frac{\text{Km}}{\text{Hr}} \right) = \frac{\text{Distancia en Km}}{\text{Tiempo de Viaje Cargado}}$$

$$\text{Velocidad Cargado} \left(\frac{\text{Km}}{\text{Hr}} \right) = \frac{1.53\text{Km}}{9.4 \text{ min} * 1\text{hr}/60\text{min}} = \frac{9.77\text{Km}}{\text{Hr}}$$

➤ PAYLOAD

$$\text{PAYLOAD EFECTIVO} = \text{PESO TOTAL} - \text{TARA}$$

$$\text{PAYLOAD EFECTIVO} = 50\text{Ton} - 16\text{Ton} = 34\text{Ton}$$

Entonces tenemos hallados los indicadores del ciclo de acarreo en los 9 volquetes que cubren la ruta Stock Pile Miraflores – Tolva de Gruesos de Paragsha.

Tabla 21

Indicadores hallados en la ruta Stock Pile Miraflores- Tolva de Gruesos

Volquetes	%Cola	Tiempo de Cola /Día(Min)	Productividad (Ton/Hr)	Velocidad Vacío(Km/Hr)	Velocidad Cargado(Km/Hr)	Payload Efectivo(Ton)
AXU-847	9.5%	44.0	81.6	17.7	9.8	34.0
BAO-755	10.4%	48.6	73.0	15.0	7.9	38.0
BAQ-827	8.2%	33.3	79.5	15.8	8.5	27.0
BCB-903	9.1%	41.8	78.4	16.2	8.8	29.0
BHI-841	9.4%	40.0	88.7	19.7	10.6	26.0
FOF-733	10.4%	44.0	89.7	17.5	9.7	33.0

FOF-949	9.6%	35.2	82.8	17.7	9.8	30.0
FOG-716	7.0%	30.8	60.5	12.8	6.7	29.0
FOG-733	8.4%	48.4	72.1	14.3	8.3	29.0

Nota: Los indicadores fueron hallados para cada volquete con los cálculos anteriores

4.1.2.2.2. *Tiempos en la ruta de Pampa Seca- Tolva de Gruesos.*

Tabla 22

Tiempos Promedio del ciclo de acarreo en la Ruta Stock Pile Pampa Seca- Tolva de Gruesos Paragsha

Volquetes	Tiempo de Viaje Vacío	Tiempo de Cola	Tiempo de Acomodo	Tiempo Cuadrado	Tiempo Cargando	Tiempo de Viaje Cargado	Tiempo de Esnera de	Tiempo retrocedien	Tiempo Descargan	Tiempo Operando	Número de Viajes por
AVA-838	9.4	1.8	0.8	0.7	2.5	19.5	1.8	0.6	0.7	37.7	14
AVA-939	10.8	1.9	0.4	0.7	2.5	21.5	1.8	0.8	0.2	40.6	13
AWG-822	10.1	3.1	0.3	0.5	3.1	20.4	1.2	0.4	0.3	39.4	12
BAN-877	11.5	1.5	0.4	0.6	2.4	19.7	1.0	0.2	0.2	37.5	10
BAN-879	9.2	1.0	0.6	0.6	2.8	19.1	0.5	0.6	0.6	35.0	8
BAO-831	9.9	2.3	0.8	0.8	2.8	19.0	1.9	0.3	0.4	38.2	8
BAQ-827	10.6	2.4	0.8	0.8	1.6	18.6	2.8	0.4	0.8	38.8	9
BCY-789	10.0	2.0	0.6	0.7	2.7	20.8	2.7	0.9	0.4	40.8	10
FOF-895	9.9	1.7	0.5	0.6	2.2	20.4	2.1	0.4	0.5	38.3	8
FOF-927	11.8	1.7	0.4	0.7	2.1	21.5	1.4	0.3	0.7	40.6	10
FOF-949	12.0	2.1	0.4	0.4	2.1	21.9	0.9	0.3	0.8	40.9	9
FOG-733	10.2	2.2	0.4	0.7	1.8	19.8	1.4	0.5	0.2	37.1	12

Nota: Los tiempos fueron recolectados en campo

Para el análisis se trabajará con los siguientes indicadores:

Para el caso del primer Volquete AVA- 838 tenemos:

➤ COLA DE ACARREO

$$COLA(\%) = \frac{\text{Tiempo Cola}}{\text{Tiempo operando efectivo}}$$

$$COLA(\%) = \frac{1.8}{37.7} = 4.77\%$$

➤ TIEMPO DE COLA

*TIEMPO DE COLA (Min) = Tiempo cola * N°de Viajes*

*TIEMPO DE COLA (Min) = 1.8 * 14= 25.2 min/Día*

➤ **PRODUCTIVIDAD**

$$Productividad\left(\frac{Ton}{Hr}\right) = \frac{Toneladas}{Tiempo\ operando\ efectivo}$$

$$Productividad\left(\frac{Ton}{Hr}\right) = \frac{15.0m^3 * \frac{2.0Ton}{m^3}}{37.7\ min * 1hr/60\ min} = 47.73Ton/Hr$$

➤ **VELOCIDAD VACÍO**

$$Velocidad\ Vacío\left(\frac{Km}{Hr}\right) = \frac{Distancia\ en\ Km}{Tiempo\ de\ Viaje\ Vacío}$$

$$Velocidad\ Vacío\left(\frac{Km}{Hr}\right) = \frac{2.54Km}{9.4min * 1hr/60min} = 16.21Km/Hr$$

➤ **VELOCIDAD CARGADO**

$$Velocidad\ Cargado\left(\frac{Km}{Hr}\right) = \frac{Distancia\ en\ Km}{Tiempo\ de\ Viaje\ Cargado}$$

$$Velocidad\ Cargado\left(\frac{Km}{Hr}\right) = \frac{2.54Km}{19.5\ min * 1hr/60min} = \frac{7.81Km}{Hr}$$

➤ **PAYLOAD**

PAYLOAD EFECTIVO = PESO TOTAL – TARA

PAYLOAD EFECTIVO = 53Ton – 16Ton = 37Ton

Entonces tenemos hallados los indicadores del ciclo de acarreo en los 12 volquetes que cubren la ruta Stock Pile Pampa Seca – Tolva de Gruesos de Paragsha.

Tabla 23

Indicadores hallados en la ruta Stock Pile Pampa Seca- Tolva de Gruesos

Volquetes	%Cola	Tiempo de Cola /Día(Min)	Productividad (Ton/Hr)	Velocidad Vacío(Km /Hr)	Velocidad Cargado(Km/Hr)	Payload Efectivo(Ton)
AVA-838	4.8%	25.2	47.7	16.2	7.8	37.0
AVA-939	4.7%	24.7	44.4	14.1	7.1	35.0
AWG-822	7.9%	37.2	45.7	15.1	7.5	29.0
BAN-877	4.0%	15.0	48.1	13.3	7.7	36.0
BAN-879	2.9%	8.0	51.5	16.6	8.0	33.0
BAO-831	6.0%	18.4	47.2	15.4	8.0	30.0
BAQ-827	6.2%	21.6	46.4	14.4	8.2	29.0
BCY-789	4.9%	20.0	44.1	15.2	7.3	32.0
FOF-895	4.4%	13.6	47.0	15.4	7.5	32.0
FOF-927	4.2%	17.0	44.3	12.9	7.1	34.0
FOF-949	5.1%	18.9	44.0	12.7	7.0	33.0
FOG-733	5.9%	26.4	48.5	14.9	7.7	35.0

Nota: Los indicadores fueron hallados para cada Volquete con los cálculos anteriores

4.1.2.2.3. *Tiempos en la ruta de Tajo Santa Rosa (Zona VGS Sur)- Placa*

5A.

Tabla 24

Tiempos Promedio del ciclo de acarreo en la Ruta Tajo Santa Rosa- Placa 5A

Volquetes	Tiempo de Viaje Vacío	Tiempo de Cola	Tiempo de Acomodo	Tiempo Cuadrado	Tiempo Cargando	Tiempo de Viaje Cargado	Tiempo de Espera de Descarga	Tiempo retrocediendo	Tiempo Descargando	Tiempo Operando Total	Número de Viajes por día
AWG-822	25.6	4.2	0.8	1.6	3.0	53.2	2.8	0.8	0.7	92.7	4
AXU-847	28.8	4.1	0.9	1.8	1.4	65.8	2.2	0.4	0.2	105.6	5
BAO-755	30.2	4.6	1.2	0.9	1.8	70.1	2.4	0.2	0.1	111.5	4
BAQ-827	25.2	6.5	0.7	1.1	1.6	55.4	2.3	0.5	0.4	93.7	4

BCY-789	25.6	7.8	0.7	0.8	2.8	50.1	2.7	0.6	0.2	91.3	6
BHI-841	25.8	5.2	1.3	1.4	1.2	62.2	1.8	0.4	0.3	99.6	3
FOG-716	31.8	4.8	0.8	1.1	2.2	59.2	0.7	0.4	0.3	101.3	8
FOG-733	29.8	7.8	0.9	1.4	1.8	77.4	1.4	0.7	0.2	121.4	3
FQF-949	29.1	5.1	1.1	1.8	2.4	75.4	2.1	0.8	0.2	118.0	3

Nota: Los tiempos fueron tomado en Campo

Para el análisis se trabajará con los siguientes indicadores:

Para el caso del primer Volquete AWG- 822 tenemos:

➤ COLA DE ACARREO

$$COLA(\%) = \frac{\text{Tiempo Cola}}{\text{Tiempo operando efectivo}}$$

$$COLA(\%) = \frac{4.2}{92.7} = 4.53\%$$

➤ TIEMPO DE COLA

$$TIEMPO DE COLA (Min) = \text{Tiempo cola} * N^{\circ} \text{ de Viajes}$$

$$TIEMPO DE COLA (Min) = 4.2 * 4 = 18.12 \text{ min/Día}$$

➤ PRODUCTIVIDAD

$$Productividad \left(\frac{Ton}{Hr} \right) = \frac{\text{Toneladas}}{\text{Tiempo operando efectivo}}$$

$$Productividad \left(\frac{Ton}{Hr} \right) = \frac{15.0m^3 * \frac{1.7Ton}{m^3}}{92.7 \text{ min} * 1hr/60 \text{ min}} = 16.5Ton/Hr$$

➤ VELOCIDAD VACÍO

$$Velocidad Vacío \left(\frac{Km}{Hr} \right) = \frac{\text{Distancia en Km}}{\text{Tiempo de Viaje Vacío}}$$

$$\text{Velocidad Vacío} \left(\frac{\text{Km}}{\text{Hr}} \right) = \frac{2.54\text{Km}}{9.4\text{min} * 1\text{hr}/60\text{min}} = 16.21\text{Km}/\text{Hr}$$

➤ VELOCIDAD CARGADO

$$\text{Velocidad Cargado} \left(\frac{\text{Km}}{\text{Hr}} \right) = \frac{\text{Distancia en Km}}{\text{Tiempo de Viaje Cargado}}$$

$$\text{Velocidad Cargado} \left(\frac{\text{Km}}{\text{Hr}} \right) = \frac{4.10\text{Km}}{53.2\text{min} * 1\text{hr}/60\text{min}} = \frac{4.62\text{Km}}{\text{Hr}}$$

➤ PAYLOAD

$$\text{PAYLOAD EFECTIVO} = \text{PESO TOTAL} - \text{TARA}$$

$$\text{PAYLOAD EFECTIVO} = 55\text{Ton} - 16\text{Ton} = 39\text{Ton}$$

Entonces tenemos hallados los indicadores del ciclo de acarreo en los 9 volquetes que cubren la ruta Tajo Santa Rosa – Placa 5A.

Tabla 25

Indicadores hallados en la ruta Tajo Santa Rosa- Placa 5A

Volquetes	%Cola	Tiempo de Cola /Día(Min)	Productividad (Ton/Hr)	Velocidad Vacío(Km/Hr)	Velocidad Cargado(Km/Hr)	Payload Efectivo(Ton)
AWG-822	4.5%	16.8	16.5	6.0	2.9	39
AXU-847	3.9%	20.5	14.5	5.3	2.3	37
BAO-755	4.1%	18.4	13.7	5.0	2.2	40
BAQ-827	6.9%	26.0	16.3	6.0	2.8	37
BCY-789	8.5%	46.8	16.8	6.0	3.0	37
BHI-841	5.2%	15.6	15.4	5.9	2.5	38

FOG-716	4.7%	38.4	15.1	4.8	2.6	38
FOG-733	6.4%	23.4	12.6	5.1	2.0	39
FQF-949	4.3%	15.3	13.0	5.2	2.0	40

Nota: Los indicadores fueron hallados para cada Volquete según los cálculos anteriores

4.1.3. ANALIZAR

4.1.3.1. ANÁLISIS DEL NIVEL SIGMA EN EL CICLO DE CARGUÍO

4.1.3.1.1. Análisis del ciclo del Cargador 966H

Para el análisis del ciclo de carguío, nos guiaremos de los tiempos promedio por ciclo que implica un carguío de Volquetes, por lo cuál tenemos:

Tabla 26

Tiempo Promedio por ciclo del Cargador 966H

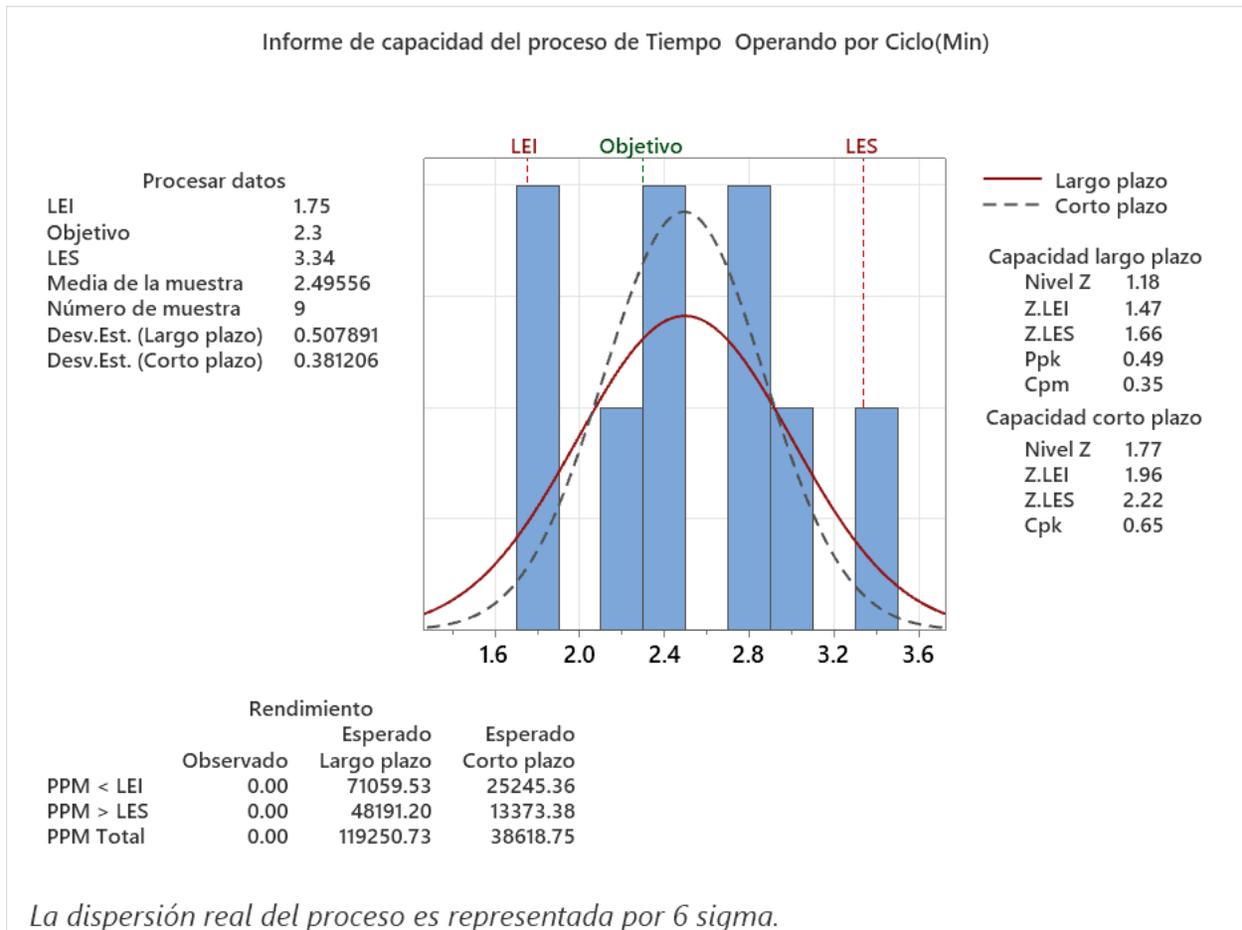
Volquete	Tiempo Operando Promedio por ciclo(Min)
AXU-847	2.44
BAO-755	2.42
BAQ-827	2.72
BCB-903	2.23
BHI-841	1.86
FOF-733	1.75
FOF-949	2.92
FOG-716	3.34
FOG-733	2.78

Nota: Datos hallados en la investigación

Posteriormente la investigación se apoya del software minitab para el cálculo del nivel sigma de éstos datos, como vemos a continuación:

Gráfico 10

Nivel Sigma del ciclo del Cargador 966H



Nota: Gráfico elaborado en Minitab

En el gráfico de informe de capacidad con Nivel Sigma, podemos deducir las capacidades a largo y corto plazo, sin embargo los Niveles Z que nos da en ambos son de 1.18 y de 1.77, lo cuál según los indicadores Sigma Óptimos nos dice que los procesos inferiores a un Nivel sigma de 3, son deficientes y debe analizarse una mejora en su estructura, si fuera el caso de ser superior a 3, éste proceso estaría encaminado a llegar a un Nivel Óptimo de 6, el cuál significaría que el proceso funciona a la perfección.

4.1.3.1.2. *Análisis del ciclo de la Excavadora 336DL*

Para el análisis del ciclo de carguío, nos guiaremos de los tiempos promedio por ciclo que implica un carguío de Volquetes, por lo cuál tenemos:

Tabla 27

Tiempo Promedio por ciclo de la Excavadora 336DL

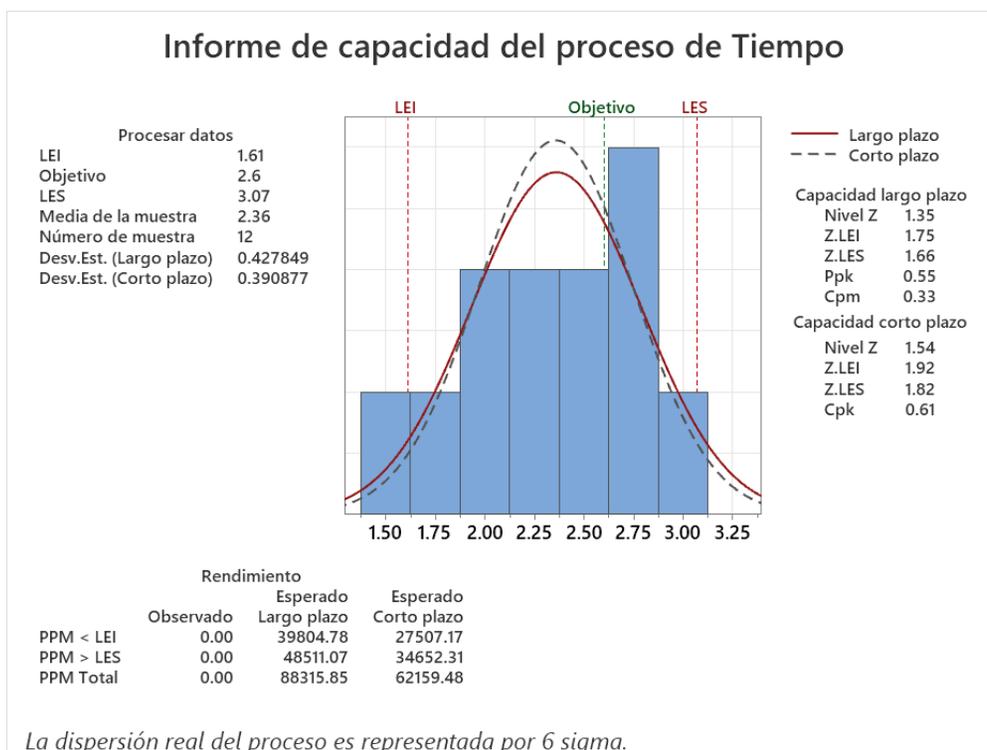
Volquete	Tiempo Promedio por ciclo (min)
AVA-838	2.46
AVA-939	2.47
AWG-822	3.07
BAN-877	2.36
BAN-879	2.75
BAO-831	2.76
BAQ-827	1.61
BCY-789	2.69
FOF-895	2.18
FOF-927	2.11
FOF-949	2.07
FOG-733	1.79

Nota: Datos hallados en la investigación.

Posteriormente la investigación se apoya del software minitab para el cálculo del nivel sigma de éstos datos, como vemos a continuación:

Gráfico 11

Nivel Sigma del Ciclo de la Excavadora 336DL



Nota: Gráfico realizado en Minitab

En el gráfico de informe de capacidad con Nivel Sigma, podemos deducir las capacidades a largo y corto plazo, sin embargo los Niveles Z que nos da en ambos son de 1.35 y de 1.54, lo cuál según los indicadores Sigma Óptimos nos dice que los procesos inferiores a un Nivel sigma de 3 , son deficientes y debe analizarse una mejora en su estructura, si fuera el caso de ser superior a 3 , éste proceso estaría encaminado a llegar a un Nivel Óptimo de 6 , el cuál significaría que el proceso funciona a la perfección.

4.1.3.1.3. Análisis del ciclo de la Excavadora EC380

Para el análisis del ciclo de carguío, nos guiaremos de los tiempos promedio por ciclo que implica un carguío de Volquetes, por lo cuál tenemos:

Tabla 28

Tiempo Promedio por ciclo de la Excavadora EC380

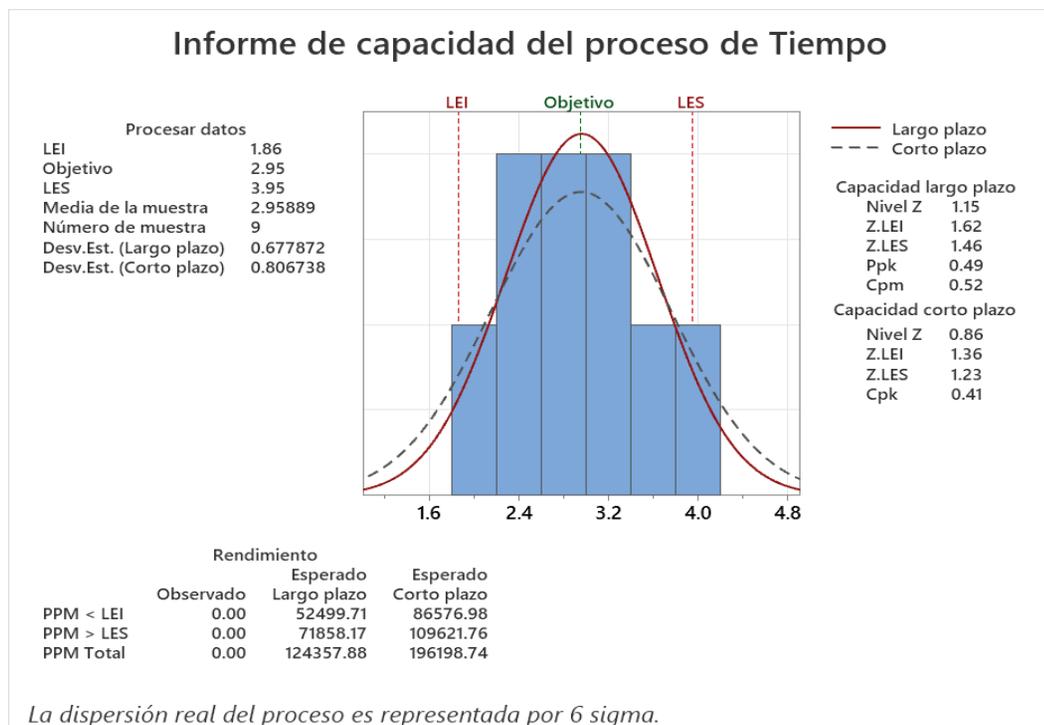
Volquete	Tiempo Promedio por ciclo (min)
AWG-822	3.95
AXU-847	2.47
BAO-755	2.43
BAQ-827	2.72
BCY-789	3.71
BHI-841	1.86
FOG-716	3.34
FOG-733	2.78
FQF-949	3.37

Nota: Datos hallados en la investigación.

Posteriormente la investigación se apoya del software minitab para el cálculo del nivel sigma de éstos datos, como vemos a continuación:

Gráfico 12

Nivel Sigma del Ciclo de la Excavadora EC380



Nota: Gráfico realizado en Minitab

En el gráfico de informe de capacidad con Nivel Sigma, podemos deducir las capacidades a largo y corto plazo, sin embargo los Niveles Z que nos da en ambos son de 0.86 y de 1.15, lo cuál según los indicadores Sigma Óptimos nos dice que los procesos inferiores a un Nivel sigma de 3 , son deficientes y debe analizarse una mejora en su estructura, si fuera el caso de ser superior a 3, éste proceso estaría encaminado a llegar a un Nivel Óptimo de 6 , el cuál significaría que el proceso funciona a la perfección.

4.1.4. MEJORAR

Para esta parte del proceso DMAIC, se optó por un software de mejora para el sistema de carguío y acarreo, utilizado en la simulación de camiones y correcto desarrollo de operaciones; el software a utilizar es el programador GPSS, que simulará la cantidad de mineral por mes movido según el Budget dado en el área de planeamiento , así también nos hará el reconocimiento del número de camiones utilizados en dicho proceso .

Por consiguiente, haremos la simulación en las 3 rutas ya analizadas en la parte del proceso MEDIR.

4.1.4.1. Simulación GPSS en la Ruta Stock Pile Miraflores – Tolva de Gruesos

Paragsha

Definimos los datos mensuales del área de planeamiento para introducir en el GPSS, entonces tenemos:

Cantidad de horas trabajadas por día : 10hr

Payload Promedio de Camiones: 35Ton

Tiempo de Carguío óptimo: 1.50 min

Tiempo de Descarga óptimo: 0.80 min

Tiempo de Recorrido en vía: 6 min

Tonelaje movido esperado Mensual de Stock Pile Miraflores: 96,000 Ton

Tonelaje movido esperado diario de Stock Pile Miraflores: >3400Ton

Entonces tenemos la simulación introduciendo los datos anteriores, obteniéndose una serie de datos por número de camión introducido a la simulación, es así que se probó para cada número de camión del 1 al 19, iterando valores en el software GPSS; como a continuación tenemos los resultados:

Tabla 29

Resultado de la Simulación en GPSS- Miraflores- Tolva de Gruesos

Nºde Camiones	TM(Toneladas movidas en 10hr)	Total Días
1	1715	55.977
2	2730	35.165
3	3150	30.476
4	3325	28.872
5	3395	28.27
6	3360	28.571
7	3395	28.277
8	3500	27.429
9	3430	27.988
10	3465	27.706
11	3500	27.429
12	3500	27.429
13	3535	27.157
14	3570	26.891
15	3535	27.157
16	3570	26.891
17	3500	27.429
18	3535	27.157
19	3640	26.374

Nota: Los valores en azul, nos indica los valores favorables a la operación.

Entonces en la tabla podemos ver los valores del número de camiones, las toneladas movidas por día y el número de días en las que se logra mover esa cantidad de mineral.

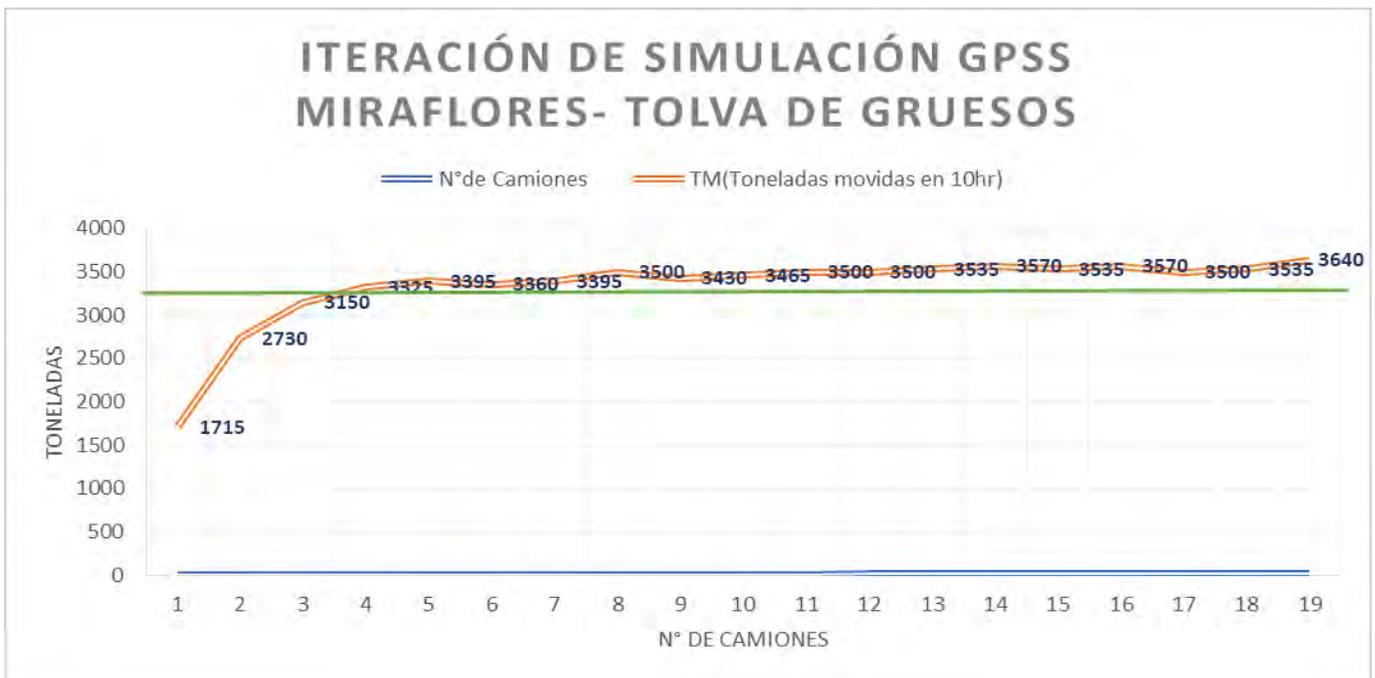
Sin embargo debemos de conocer los Valores del área de Planeamiento para hacer una comparación de los resultados, por consiguiente tenemos que:

El área de planeamiento, tiene planificado el trabajo con 9 volquetes, que deben cubrir el movimiento de mineral a planta de 3400 toneladas por día o superior a ésta (para fines de Stockeo de Mineral), además que se trabajan 28 días por mes, dando así un total de aprox 96,000 toneladas movidas por mes desde éste stock pile.

Por otro lado, al analizar la simulación, la llevaremos a dos gráficas de mejor visualización:

Gráfico 13

Toneladas Vs Nro de Camiones en ruta Miraflores- Tolva de Gruesos



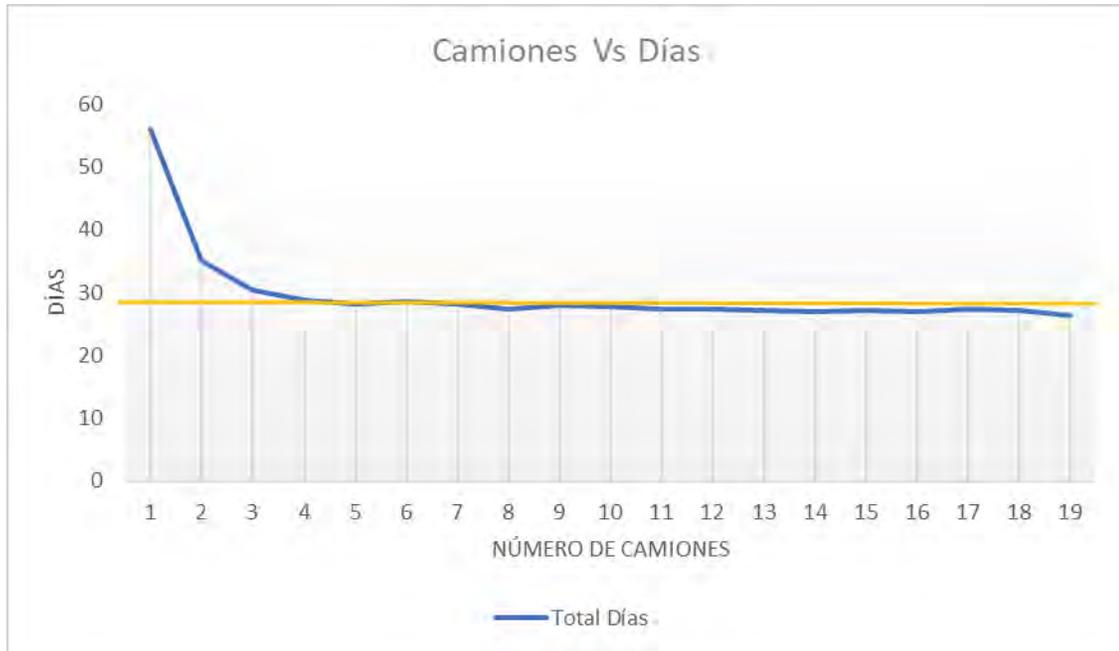
Nota: Elaboración Propia

En aquí podemos ver que para un número de camiones menores a 7, no se alcanza con el tonelaje diario planeado, por lo cuál quedaría descartado; en cambio para un número de camiones mayores o iguales a 7 se logra el tonelaje, sin embargo si analizamos bien el gráfico, podemos ver que con 8 camiones se logra un mayor tonelaje comparado a los 9 volquetes utilizados usualmente, y esto

debido a la cola que se produce en el tramo de entrada a la tolva de gruesos, tramo que consta de una sola vía .

Gráfico 14

Nº de Camiones vs Nro de Días Ruta Miraflores- Tolva de Gruesos



Nota: Elaboración Propia

En ésta gráfica, podemos ver el comportamiento del número de días con el número de camiones, donde la línea amarilla nos delimita que los valores por debajo de ésta , son los adecuados que no exceden de 28 días como nos da el Budget del área de planeamiento, en la cuál los valores mayores iguales a 8 camiones son los óptimos para la operación de Stock Pile Miraflores- Tolva de Gruesos.

4.1.4.2. Simulación GPSS en la Ruta Stock Pile Pampaseca – Tolva de Gruesos

Paragsha

Definimos los datos mensuales del área de planeamiento para introducir en el GPSS, entonces tenemos:

Cantidad de horas trabajadas por día : 10hr

Payload Promedio de Camiones: 35Ton

Tiempo de Carguío óptimo: 1.50 min

Tiempo de Descarga óptimo: 0.80 min

Tiempo de Recorrido en vía: 7.10 min

Tonelaje movido esperado Mensual de Stock Pile Pampaseca: 100,000 Ton

Tonelaje movido esperado diario de Stock Pile Pampasec: ≥ 3500 Ton

Entonces tenemos la simulación introduciendo los datos anteriores, obteniéndose una serie de datos por número de camión introducido a la simulación, es así que se probó para cada número de camión del 1 al 19, iterando valores en el software GPSS; como a continuación tenemos los resultados:

Tabla 30

Resultado de la Simulación en GPSS-Pampaseca- Tolva de Gruesos

Nºde Camiones	TM(Toneladas movidas en 10hr)	Total Días
1	1470	68.027
2	2380	42.017
3	3045	32.841
4	3185	31.397
5	3325	30.075
6	3360	29.762
7	3395	29.455
8	3430	29.155
9	3430	29.155
10	3465	28.86
11	3500	28.571
12	3465	28.86
13	3430	29.155
14	3500	28.571
15	3500	28.571
16	3535	28.289
17	3570	28.011

18	3605	27.739
19	3675	27.211

Nota: Los valores en azul son los óptimos para la operación

Entonces en la tabla podemos ver los valores del número de camiones, las toneladas movidas por día y el número de días en las que se logra mover esa cantidad de mineral.

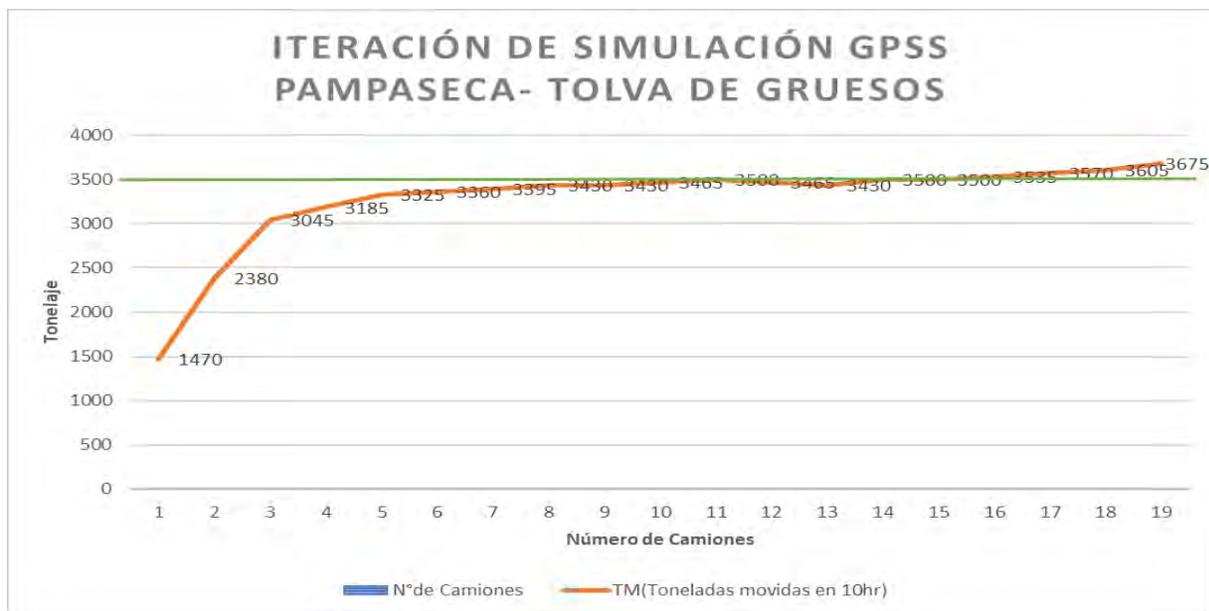
Sin embargo debemos de conocer los Valores del área de Planeamiento para hacer una comparación de los resultados, por consiguiente tenemos que:

El área de planeamiento, tiene planificado el trabajo con 12 volquetes, que deben cubrir el movimiento de mineral a planta de 3500 toneladas por día o superior a ésta(para fines de Stockeo de Mineral), además que se trabajan 28 días por mes, dando así un total de aprox 100,000 toneladas movidas por mes desde éste stock pile.

Por otro lado, al analizar la simulación , la llevaremos a dos gráficas de mejor visualización:

Gráfico 15

Tonelaje vs N° de Camiones Ruta Pampaseca- Tolva de Gruesos



Nota: Elaboración Propia

En aquí podemos ver que para un número de camiones menores a 11, no se alcanza con el tonelaje diario planeado, por lo cuál quedaría descartado; en cambio para un número de camiones mayores o iguales a 11 se logra el tonelaje, sin embargo si analizamos bien el gráfico, podemos ver que con 11 camiones se logra un mayor tonelaje comparado a los 12 volquetes utilizados usualmente, y esto debido a la cola que se produce en el tramo de entrada a la tolva de gruesos, tramo que consta de una sola vía .

Gráfico 16

Nº de Camiones vs Nro de Días Ruta Pampaseca- Tolva de Gruesos



Nota: Elaboración Propia

En ésta gráfica, podemos ver el comportamiento del número de días con el número de camiones, donde la línea verde nos delimita que los valores por debajo de ésta , son los adecuados que no exceden de 28 días como nos da el Budget del área de planeamiento, en la cuál los valores mayores iguales a 10 camiones son los óptimos para la operación de Stock Pile Pampaseca- Tolva de Gruesos.

4.1.4.3. Simulación GPSS en la Ruta Tajo Santa Rosa– Placa 5A

Definimos los datos mensuales del área de planeamiento para introducir en el GPSS, entonces tenemos:

Cantidad de horas trabajadas por día : 10hr

Payload Promedio de Camiones: 36Ton

Tiempo de Carguío óptimo: 1.50 min

Tiempo de Descarga óptimo: 0.80 min

Tiempo de Recorrido en vía: 20 min

Tonelaje movido esperado Mensual de Tajo Santa Rosa: 70,000 Ton

Tonelaje movido esperado diario de Tajo Santa Rosa: ≥ 2500 Ton

Entonces tenemos la simulación introduciendo los datos anteriores, obteniéndose una serie de datos por número de camión introducido a la simulación, es así que se probó para cada número de camión del 1 al 19, iterando valores en el software GPSS; como a continuación tenemos los resultados:

Tabla 31

Resultado de la Simulación en GPSS-Tajo Santa Rosa- Placa5A

N°de Camiones	TM(Toneladas movidas en 10hr)	Total Días
1	540	129.63
2	1008	69.444
3	1404	49.858
4	1728	40.509
5	2268	30.864
6	2412	29.022

7	2448	28.595
8	2520	27.778
9	2556	27.387
10	2520	27.778
11	2556	27.387
12	2556	27.387
13	2628	26.636
14	2592	27.006
15	2664	26.276
16	2664	26.276
17	2628	26.636
18	2700	25.926
19	2736	25.585

Nota: Los valores en azul son los óptimos para la operación.

Entonces en la tabla podemos ver los valores del número de camiones, las toneladas movidas por día y el número de días en las que se logra mover esa cantidad de mineral.

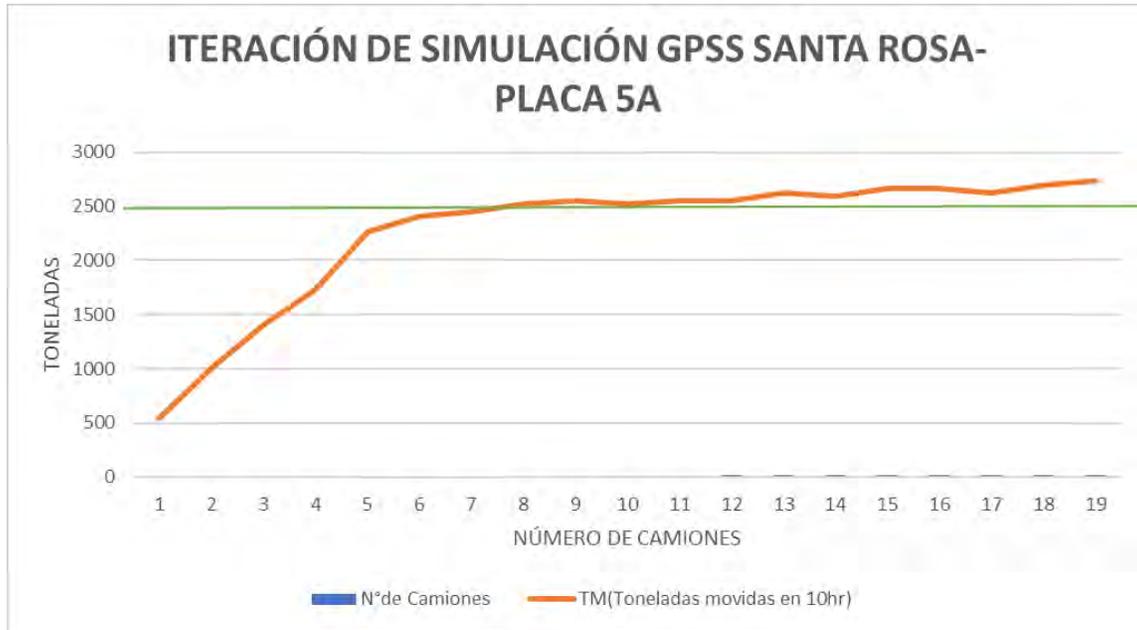
Sin embargo debemos de conocer los Valores del área de Planeamiento para hacer una comparación de los resultados, por consiguiente tenemos que:

El área de planeamiento, tiene planificado el trabajo con 9 volquetes, que deben cubrir el movimiento de mineral a planta de 2500 toneladas por día o superior a ésta(para fines de Stockeo de Mineral), además que se trabajan 28 días por mes, dando así un total de aprox 70,000 toneladas movidas por mes desde Tajo Santa Rosa.

Por otro lado, al analizar la simulación , la llevaremos a dos gráficas de mejor visualización:

Gráfico 17

N° de Camiones Vs Toneladas Ruta Tajo Santa Rosa – Placa 5A

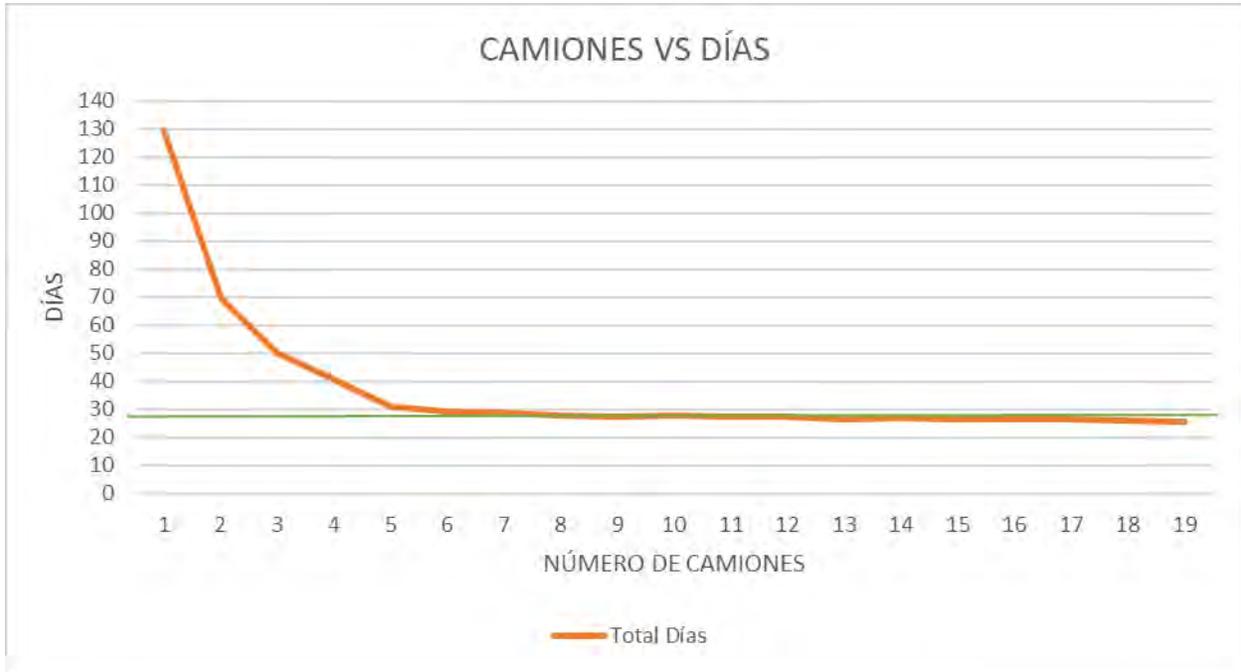


Nota: Elaboración Propia

En aquí podemos ver que para un número de camiones menores a 8, no se alcanza con el tonelaje diario planeado, por lo cuál quedaría descartado; en cambio para un número de camiones mayores o iguales a 8 se logra el tonelaje, sin embargo si analizamos bien el gráfico, podemos ver que con 8 camiones se logra un mayor tonelaje comparado a los 9 volquetes utilizados usualmente, y esto debido a la cola que se produce en el tramo de entrada a la Placa 5A, tramo que consta de una sola vía .

Gráfico 18

Nº de Camiones Vs Nº de Días ruta Tajo Santa Rosa – Placa 5A



Nota: Elaboración Propia

En ésta gráfica, podemos ver el comportamiento del número de días con el número de camiones, donde la línea verde nos delimita que los valores por debajo de ésta , son los adecuados que no exceden de 28 días como nos da el Budget del área de planeamiento, en la cuál los valores mayores iguales a 8 camiones son los óptimos para la operación de Tajo Santa Rosa- Placa 5A.

4.1.5. CONTROLAR.

Para esta parte del proceso DMAIC, se analiza los costos por tarifa de equipos, para lo cuál se aclara que la totalidad de la flota son alquiladas de las empresas comunales proveedoras de la Empresa Administradora Cerro SAC, entonces analizaremos los costos horarios de cada Equipo implicado en la operación y en la presente investigación.

4.1.5.1. Análisis del costo unitario de la Excavadora 336DL Caterpillar (Empresa Comunal Rancas)

Cabe resaltar que el precio unitario de alquiler de la excavadora por hora, es a todo costo, es decir que la Empresa Comunal Rancas asume el sueldo de su operador, mantenimiento mecánico, movilización , desmovilización y combustible.

Tarifa por hora Excavadora 336DL Caterpillar: \$112.00

Capacidad de Cucharón(m^3) : $2.41 m^3$

Productividad Instantánea por volquete: $36.58m^3/hora$

Entonces podemos hallar el costo por metro cubico cargado.

$$\text{Costo/metro cubico} = \frac{\left(\frac{112\$}{hora}\right)}{\left(\frac{36.58m^3}{hora}\right) * (12Volquetes)} = 0.26\$/m^3$$

Del cálculo podemos decir que por cada metro cúbico , se paga 0.26\$, lo cuál en toneladas sería 0.13\$/ton.

$$\text{Costo/Cuchara de llenado: } 2.41m^3 / 1 \text{ cuchara} * 0.26\$/m^3 = 0.63\$/cuchara$$

De donde podemos analizar que por cada cuchara movida llena, el costo es de 0.63\$.

Sin embargo éstos son cálculos que sirven como indicadores dentro del proceso operativo normal en la Empresa Administradora Cerro SAC.

En cambio si analizamos el costo por hora como tarifa de alquiler de la Excavadora, podemos analizar el costo por mes por alquiler de éste equipo.

$$\text{Costo total por mes} : 112\$/\text{Hora} * 10\text{horas} /\text{día} * 28\text{dias}/\text{mes} = 31,360\$/\text{mes}$$

Entonces, el verdadero costo por máquina en las valorizaciones mensuales por el servicio prestado por la Excavadora es de 31,360\$ por mes. Éste análisis es cuando la excavadora trabaja las 10 horas efectivas según su horómetro, sin embargo debemos analizar que también hay un descuento por 15 minutos previos de calentamiento, otra consideración que se debe tener es que se tiene 4 excavadoras de las mismas características por frente, en éste caso en el Stock Pile de PampaSeca; sin embargo , éstas no trabajan de manera constante, ya que sirven de apoyo a la excavadora principal y también como maquina de cambio en caso ocurra una eventualidad.

4.1.5.2. Análisis del costo unitario de la Excavadora EC380DL Volvo

(Empresa Comunal Rancas)

Cabe resaltar que el precio unitario de alquiler de la excavadora por hora, es a todo costo, es decir que la Empresa Comunal Rancas asume el sueldo de su operador, mantenimiento mecánico, movilización , desmovilización y combustible.

Tarifa por hora Excavadora EC380DL Volvo: \$116.00

Capacidad de Cucharón(m^3) : $3.0 m^3$

Productividad Instantánea por volquete: $115.38m^3/\text{hora}$

Entonces podemos hallar el costo por metro cubico cargado.

$$\text{Costo/metro cubico} = \frac{\left(\frac{116\$}{\text{hora}}\right)}{\left(\frac{115.38m^3}{\text{hora}}\right) * (9\text{Volquetes})} = 0.11\$/m^3$$

Del cálculo podemos decir que por cada metro cúbico , se paga 0.11\$, lo cuál en toneladas sería 0.064\$/ton.

$$\text{Costo/Cuchara de llenado: } 3.0m^3 / 1 \text{ cuchara} * 0.11\$/m^3 = 0.33\$/cuchara$$

De donde podemos analizar que por cada cuchara movida llena, el costo es de 0.33\$.

Sin embargo éstos son cálculos que sirven como indicadores dentro del proceso operativo normal en la Empresa Administradora Cerro SAC.

En cambio si analizamos el costo por hora como tarifa de alquiler de la Excavadora, podemos analizar el costo por mes por alquiler de éste equipo.

$$\text{Costo total por mes : } 116\$/\text{Hora} * 10\text{horas} / \text{día} * 28\text{dias}/\text{mes} = 32,480\$/\text{mes}$$

Entonces, el verdadero costo por máquina en las valorizaciones mensuales por el servicio prestado por la Excavadora es de 32,480\$ por mes. Éste análisis es cuando la excavadora trabaja las 10 horas efectivas según su horómetro, sin embargo debemos analizar que también hay un descuento por 15 minutos previos de calentamiento, otra consideración que se debe tener es que se tiene 2 excavadoras de las mismas características por frente, en éste caso en el Tajo Santa Rosa; sin embargo , éstas no trabajan de manera constante, ya que sirven de apoyo a la excavadora principal y también como maquina de cambio en caso ocurra una eventualidad.

4.1.5.3. Análisis del costo unitario del Cargador Frontal 966H Caterpillar

(Empresa Comunal Rancas)

Cabe resaltar que el precio unitario de alquiler del cargador frontal por hora, es a todo costo, es decir que la Empresa Comunal Rancas asume el sueldo de su operador, mantenimiento mecánico, movilización , desmovilización y combustible.

Tarifa por hora Cargador Frontal 966H: \$72.00

Capacidad de Cucharón(m^3) : 4.0 m^3

Productividad Instantánea por volquete: $25.86m^3/hora$

Entonces podemos hallar el costo por metro cubico cargado.

$$\text{Costo/metro cubico} = \frac{\left(\frac{72\$}{hora}\right)}{\left(\frac{25.86m^3}{hora}\right) * (9Volquetes)} = 0.31\$/m^3$$

Del cálculo podemos decir que por cada metro cúbico, se paga 0.31\$, lo cuál en toneladas sería 0.15\$/ton.

$$\text{Costo/Cuchara de llenado: } 4.0m^3/1 \text{ cuchara} * 0.31\$/m^3 = 1.24\$/cuchara$$

De donde podemos analizar que por cada cuchara movida llena, el costo es de 1.24\$.

Sin embargo, éstos son cálculos que sirven como indicadores dentro del proceso operativo normal en la Empresa Administradora Cerro SAC.

En cambio, si analizamos el costo por hora como tarifa de alquiler del Cargador Frontal, podemos analizar el costo por mes por alquiler de éste equipo.

$$\text{Costo total por mes : } 72\$/Hora * 10horas /día * 28días/mes = 20,160\$/mes$$

Entonces, el verdadero costo por máquina en las valorizaciones mensuales por el servicio prestado por la Excavadora es de 20,160\$ por mes. Éste análisis es cuando la excavadora trabaja las 10 horas efectivas según su horómetro, sin embargo debemos analizar que también hay un descuento por 15 minutos previos de calentamiento, otra consideración que se debe tener es que se tiene 2 cargadores frontales de las mismas características por frente, en éste caso en el Stock Pile de Miraflores; sin embargo , éstas no trabajan de manera constante, ya que sirven de apoyo a el cargador frontal principal y también como máquina de cambio en caso ocurra una eventualidad.

4.1.5.4. Análisis del costo unitario de los Volquetes FMX Volvo y Mercedes

Benz

Cabe resaltar que el precio unitario de alquiler de la excavadora por hora, es a todo costo, es decir que la Empresa Comunal Rancas asume el sueldo de su operador, mantenimiento mecánico, movilización , desmovilización y combustible.

Tarifa por hora Volquetes : \$44.00

Capacidad de tolva(m^3) : 15- 20 m^3

Productividad Instantánea por volquete Ruta Miraflores – Tolva de Gruesos: $81.64m^3/hora$

Productividad Instantánea por volquete Ruta Pampa Seca – Tolva de Gruesos: $47.73m^3/hora$

Productividad Instantánea por volquete Ruta Santa Rosa – Placa 5A: $16.5m^3/hora$

Entonces podemos hallar el costo por Tolva cargada.

Caso Miraflores

$$\text{Costo/Tolva} = \frac{\left(\frac{44\$}{hora}\right)}{\left(\frac{81.64m^3}{hora}\right) * (1Tolva/15m^3)} = 8.08\$/Tolva$$

Caso Pampa Seca

$$\text{Costo/Tolva} = \frac{\left(\frac{44\$}{hora}\right)}{\left(\frac{47.73m^3}{hora}\right) * \left(\frac{1Tolva}{15m^3}\right)} = 13.83\$/Tolva$$

Caso Santa Rosa

$$\text{Costo/Tolva} = \frac{\left(\frac{44\$}{hora}\right)}{\left(\frac{16.5m^3}{hora}\right) * \left(\frac{1Tolva}{15m^3}\right)} = 40\$/Tolva$$

En cambio, si analizamos el costo por hora como tarifa de alquiler por volquete, podemos analizar el costo por mes por alquiler de éste equipo.

$$\text{Costo total por mes} : 44\$/\text{Hora} * 10\text{horas} /\text{día} * 28\text{días}/\text{mes} = 12,320\$/\text{mes}$$

Entonces, el verdadero costo por máquina en las valorizaciones mensuales por el servicio prestado por el volquete es de 12,320\$ por mes. Éste análisis es cuando el volquete trabaja las 10 horas efectivas según su horómetro, sin embargo debemos analizar que también hay un descuento por 15 minutos previos de calentamiento, otra consideración que se debe tener es que se tiene una flota de 20 Volquetes de las mismas características por frente, en éste caso en los diferentes frentes.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Como se mostró a lo largo de la investigación, se desarrolló la metodología Six Sigma para encontrar las deficiencias en el sistema de Carguío y Acarreo en la Empresa Administradora Cerro SAC, para lo cual analizamos los procesos DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) que a continuación se presenta:

5.1.1. Análisis del Proceso Definir

En este primer proceso se pudo identificar los tiempos por ruta de traslado de mineral, para lo cual se escogió los datos de un día al azar para determinar el comportamiento estadístico de su ciclo; en el cual podemos deducir que tanto para las Rutas: Stock Pile Miraflores- Tolva de Gruesos; Stock Pile Pampaseca- Tolva de Gruesos, y Tajo Santa Rosa-Placa 5A; en todas estas rutas, el análisis de tiempos de Carguío corresponden a una distribución normal, la cual se interpreta como un sistema confiable y analizable con la metodología Six Sigma, y a partir de este análisis se puede proseguir al siguiente proceso del Sistema DMAIC.

5.1.2. Análisis del Proceso Medir

En esta segunda etapa, y gracias a que en el proceso anterior pudimos inferir que los tiempos tenían afinidad a una distribución normal; se pudo determinar los indicadores de producción en el sistema de Carguío y Acarreo, para lo cual en el sistema de Carguío se analizó los indicadores de 3 equipos, ubicados estratégicamente en los Stockpile de Miraflores, Stock Pile de Pampaseca y el Tajo Santa Rosa, de los cuales podemos concluir:

- El Cargador Frontal 966H presenta una productividad instantánea de 54.306 ton/hora y una productividad operativa de 4.64 ton/hora, habiendo una diferencia entre éstas de 49.7 ton /hora que es la productividad diferencial gastada en el tiempo de acomodo, entonces nuestro estándar anterior en la misma zona del Stock Pile de Miraflores con otro equipo era de 70Ton/hora de productividad instantánea , con lo cuál podemos concluir que la estrategia de ubicar el cargador frontal 966H en éste stockpile, es más deficiente que la anterior disposición de equipos previo a la implementación del plan piloto de la metodología Six Sigma.
- La excavadora 336DL presenta una productividad instantánea de 73.16ton/hora y una productividad operativa de 4.42 ton /hora, habiendo una diferencia de 68.74 ton /hora que es la productividad diferencial no aprovechada por el tiempo de acomodo, entonces el estándar anterior en el Stock Pile de Pampaseca con otro equipos era de 70 Ton/hora de productividad Instantánea, con lo que se concluye que la nueva disposición de equipos en este stock pile, desde la implementación de la metodología six sigma, da productividades superiores por lo que la implementación resultó favorable.
- La excavadora EC380 presenta una productividad instantánea de 196.15ton/hora y una productividad operativa de 12.56 ton /hora, habiendo una diferencia de 183.59 ton /hora que es la productividad diferencial no aprovechada por el tiempo de acomodo, entonces el estándar anterior en el Tajo Santa Rosa con otro equipo era de 70 Ton/hora de productividad Instantánea, con lo que se concluye que la nueva disposición de equipos en el Tajo Santa Rosa, desde la implementación de la

metodología six sigma, da productividades superiores por lo que la implementación resultó favorable.

5.1.3. *Análisis del Proceso “Analizar”*

- En el proceso analizar, se pudo evaluar los niveles Sigma de los equipos de Carguío y su comportamiento de distribución normal, en el cuál se puede concluir que a pesar de que ninguno de los 3 equipos no lleguen al nivel 3 favorable para definir como un proceso confiable y en crecimiento, se puede decir que es un análisis favorable ya que éstos equipos tienen demoras significativas debido a los tiempos de acomodo y las colas presentes por la aún mala distribución de equipos de acarreo, pudiendo ser creciente en un futuro el indicador Z para asemejarse a un sistema Six Sigma óptimo.

5.1.4. *Análisis del Proceso Mejorar*

- La simulación GPSS en la primera ruta de Stock Pile Miraflores a tolva de Gruesos, permite deducir que aunque trabajen 9 volquetes de manera constante con un indicador de 3430 ton/día, la simulación opta por 8 volquetes que cumplirán un tonelaje movido superior de 3500 ton/día y en menor tiempo, lo cuál concluimos que a pesar de implementar la Metodología Six Sigma, aun se puede mejorar con ésta simulación.
- La simulación GPSS en la segunda ruta de Stock Pile Pampaseca a tolva de Gruesos, permite deducir que aunque trabajen 12 volquetes de manera constante con un indicador de 3465 ton/día, la simulación opta por 10 volquetes que cumplirán un tonelaje movido igual de 3465 ton/día y en el mismo tiempo, lo cuál

concluimos que a pesar de implementar la Metodología Six Sigma, aun se puede mejorar con ésta simulación.

- La simulación GPSS en la tercera ruta de Tajo Santa Rosa a Placa 5A, permite deducir que aunque trabajen 9 volquetes de manera constante con un indicador de 2556 ton/día, la simulación opta por 8 volquetes que cumplirán un tonelaje movido de 2520 ton/día y en un tiempo similar, lo cuál concluimos que a pesar de implementar la Metodología Six Sigma, aun se puede mejorar con ésta simulación.

5.1.5. Análisis del proceso Controlar

- Los costos de alquiler por Volquete en un mes es de \$12,320.00, sin embargo, en el proceso anterior “Mejorar”, pudimos analizar que en el Stock Pile de Miraflores , puede prescindir de 1 volquete, en el Stock Pile de PampaSeca, puedes prescindir de 2 volquetes y en el Tajo santa Rosa, la simulación sugiere prescindir de 1 Volquete; siendo en total 4 Volquetes en la Operación de los cuales se puede prescindir sus servicios, y la operación continuaría de igual o mejor forma mejorando los indicadores de producción, por lo tanto se determina que en una valorización mensual se puede disminuir en \$49,280.00 al ya no requerir los 4 volquetes.

CONCLUSIONES

- La aplicación de la metodología Six Sigma en el sistema de Carguio y Acarreo dio como resultado la mejoría de los indicadores de producción de los equipos en la operación, identificándose una productividad instantánea de 54.306 ton/hora en el Cargador Frontal 966H, 73.16ton/hora en la Excavadora 336DL y 196.15ton/hora en la Excavadora EC380DL.
- La situación de las operaciones de Carguío y Acarreo tiene un diagnóstico favorable identificados mediante los indicadores de producción de los equipos, los cuáles reflejan una productividad mayor a 70 Ton/hr en los equipos de acarreo en la ruta Miraflores – Tolva de gruesos, una productividad mayor a 45 Ton/hr en la mayoría delos equipos de acarreo en la ruta Pampaseca- Tolva de gruesos, y una productividad mayor a 15 Ton/hr en la mayoría de los equipos de acarreo en la ruta Tajo Santa Rosa – Placa 5A.
- Al prescindir de 4 volquetes en la operación, identificados mediante la simulación GPSS; se reduce los costos por alquiler de equipos de acarreo en \$49,280.00.
- La asignación de equipos óptima según la simulación GPSS deduce que en Stock Pile Miraflores deben operar 8 Volquetes, y no 9 como ya estaba planificado; en Stock Pile Pampaseca deben opera 10 volquetes, y no 12 como ya estaba planificado; y en el Tajo Santa Rosa deben operar 8 Volquetes y no 9 según la planificación.

RECOMENDACIONES

- Se requiere de data de mayor tiempo de recolección para minimizar los errores de cálculo de la presente investigación, por lo cuál se recomienda una implementación de un monitoreo más preciso de los equipos contratados.
- Se recomienda el cambio de equipos de carguío en Stock Pile de Miraflores a uno de mayor capacidad de cucharón, para cumplir con la productividad planificada y evitar demoras por colas.
- Para minimizar aún mas los costos por alquiler de Equipos, se sugiere incrementar el llenado a los Volquetes de 20 m³ a su capacidad límite, para incrementar los indicadores de producción por equipo.
- Se sugiere un mantenimiento más exhaustivo en las vías de la Ruta Tajo Santa Rosa, Placa 5 A, ya que las demoras de los equipos son mayores a las previstas.
- Se sugiere la implementación de un Sistema de monitoreo Satelital a tiempo real para identificar los indicadores y tener mejoras inmediatas.
- Se recomienda el replanteo de las tarifas de alquiler de equipos, ya que son superiores a las del mercado, tanto en equipos de carguío como de acarreo.
- Se recomienda poner en funcionamiento los equipos de carguío propios de Cerro Sac, ya que reducirían los costos de alquiler , debido a las elevadas tarifas propuestas por las empresas comunales.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguero Marcelo, F. J., & Ramirez Gonzales, G. (2020). *"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA LEAN SIX SIGMA PARA REDUCIR EL TIEMPO IMPRODUCTIVO EN LAS ETAPAS DE ACARREO Y TRANSPORTE EN MINA CANTA"*. Tesis de Pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Programa Académico de Ingeniería de Gestión Minera, Lima.
- Amable Salazar, J. B. (2017). *"INFLUENCIA DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN LA DISPONIBILIDAD DEL CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 966 - C DE LA MUNICIPALIDAD DE HUANCAYO"*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Mecánica, Huancayo.
- Anchiraico Giraldo, A. L., & Rojas Oré, K. R. (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 PREGRADO, UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS, PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA DE GESTIÓN MINERA, LIMA.*
- Antony, J., & Banuelas, R. (2002). "KEY INGREDIENTS FOR THE EFFECTIVE IMPLEMENTATION OF SIX SIGMA PROGRAM". *MEASURING BUSINESS EXCELLENCE*, 1(1), 20-27. <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/13683040210451679>
- Aslla Clavijo, Y. (2020). *"INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD CON EL MÉTODO KAIZEN DE MEJORA CONTINUA EN LA MINA SAN CARLOS LAMPA - PUNO.* Tesis

de Pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, Cusco.

Baldeón Quispe, Z. L. (2011). *"GESTIÓN EN LAS OPERACIONES DE TRANSPORTE Y ACARREO PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN CIA.MINERA CONDESATBLE S.A."*. Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Lima.

Barreto Taipe, L. (2017). *"OPTIMIZACIÓN DEL NÚMERO DE CAMIONES 785C CAT Y CARGADOR FRONTAL 992K CAT MEDIANTE EL MATCH FACTOR EN LA RUTA MINERAL - STOCK PILE ANTAPACAY - CHANCADORA TINTAYA SAN MARTÍN CONTRATISTAS GENERALES S.A."*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Geología, Geofísica y Minas, Arequipa.

Bustamante Morales, M. A. (2022). *"INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN A PARTIR DE LA UBICACIÓN ÓPTIMA DE PLATAFORMAS Y SU NÚMERO RESPECTIVO DE BAHÍAS DE CAMBIO EN CALIENTE EN LA MINA CERRO VERDE - AREQUIPA -2019"*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Facultad de Ingeniería Geológica , Minas y Metalúrgica, Cusco.

Garza Ríos, R. C., González Sanchez, C. N., Rodríguez Gonzales, E. L., & Hernández Asco, C. (2016). "APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC DE SEIS SIGMA CON SIMULACIÓN DISCRETA Y TÉCNICAS MULTICRITERIO". *REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA*, 22(2), 19-35.
<https://doi.org/http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=233148815002>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta ed.). Ciudad de Mexico, México: Mc Graw Hull Education.

- Martínez Fuentes, J. A., & Vasquez Llatas, Y. A. (2021). *"METODOLOGÍA SIX SIGMA PARA MEJORAR EL NIVEL DE PRODUCCIÓN DEL SECTOR I DE LA CARRETERA R.B. FERREÑAFE"*. Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, Chiclayo.
- Martínez Martínez, A. L. (2008). *"METODOLOGÍA DE DESPLIEGUE SIX SIGMA BASADA EN LA METODOLOGÍA DE SISTEMAS SUAVES"*. Tesis de Maestría en Ciencias, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Monterrey, División de Ingeniería y Arquitectura, Monterrey.
- ÑAUPAS PAITAN, H., VALDIVIA DUEÑAS, M. R., PALACIOS VILELA, J. P., & ROMERO DELGADO, H. E. (2018). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA . CUALITATIVA Y REDACCIÓN DE LA TESIS*. EDICIONES DE LA U.
- Olmedo Alba, N., & Castelblanco Cano, E. M. (2012). *"Metodología Lean Seis Sigma Aplicada a un proceso de Manufactura"*. Tesis de Especialidad, Universidad EAN, Facultad de Posgrados, Bogotá.
- Patel, M., & Arunbhai Desai, D. (2018). Critical review and analysis of measuring the success of Six Sigma implementation in manufacturing sector. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 35(8), 1519-1545. <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/ijqrm-04-2017-0081>
- Pérez Benavides, R. F. (2003). *"REDUCCIÓN DE TIEMPOS MUERTOS DE OPERACIÓN USANDO SEIS SIGMA"*. Tesis de Postgrado, Universidad Autónoma de Nueva León, Facultad de Ingeniería Mecánica y Electrónica División de Estudios de Postgrado, Monterrey.

Quiroz Alegria, R. A. (2016). *"IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA LEAN EN MINERÍA SUBTERRÁNEA - ESTUDIO DE CASO ESMERALDA"*. Tesis para optar al grado de Magister en Gestión y Dirección de Empresas versión Industria Minera, Universidad De Chile, Departamento de Ingeniería Industrial, Santiago de Chile.

Salgado Medina, L. A., & Nuñez Ramirez, D. A. (2021). *"MEJORA DE LA GESTIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE LA FLOTA DE CARGUÍO Y ACARREO U.M CUAJONE, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA PARA DISMINUIR LAS DEMORAS OPERATIVAS EN EL RELEVO DEL PERSONAL"*. Tesis de Pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería , Lima.

ANEXOS

ANEXO 1

1.1.ÁMBITO DE ESTUDIO DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA ADMINISTRADORA CERRO SAC.

La empresa administradora Cerro Sac, perteneciente al grupo VOLCAN, es una unidad minera de explotación principal de sulfuros, que opera en el departamento Cerro de Pasco a 4200msnm, ocupando las instalaciones de la otrora Cerro de Pasco Cooper Corporation y posterior Centromin Perú, constando de una mina a tajo abierto (Tajo Raúl Rojas), actualmente con la ampliación al Tajo Santa Rosa, y con 3 StockPile de mineral marginal en Operación(Miraflores, Rumiallana, Hanancocha, y otros 2 Stock Pile de almacenamiento. Asimismo cuenta con 2 plantas de concentración de minerales(Paragsha-San Expedito, Óxidos).

Tabla 32

Datos de las Plantas Concentradoras

Planta	Altura (MSNM)	Inicio de Operación
Paragsha	4,312	1943
San Expedito	4,302	1976
Óxidos	4,360	2014

Fuente: Gerencia de Operaciones Empresa Administradora Cerro SAC

1.3.ACTIVIDADES DE LA EMPRESA ADMINISTRADORA CERRO SAC.

La operación de U.M . Cerro de Pasco -Sulfuros opera con mineral polimetálico marginal de stock piles al 100% , los cuáles se alimentan a Planta Paragsha-San Expedito con una capacidad de 7000TPD, produciendo finos de Zn, Pb y Ag, asimismo Cerro óxidos realiza el tratamiento del Tajo in situ(60%) y Stock Piles (40%) en la zona conocida como Tajo Sur o Tajo Santa Rosa, alimentando a la Planta Óxidos con una capacidad de 2500TPD; ambas operaciones son de reaprovechamiento de pasivos del Tajo Raúl Rojas, es también importante mencionar que tanto Cerro Sulfuros como Cerro Óxidos emplean el 86% de mano de obra local.

También consta de una mina Subterránea que se encuentra actualmente en Care Maintenance, por lo cual se realizan únicamente labores de rehabilitación, sostenimiento y drenaje de aguas ácidas. Esta unidad operativa cuenta con la primera planta de lixiviación de Volcan e inició sus operaciones el 2014, alcanzando su plena capacidad productiva en junio de 2015. Durante el 2020, el tratamiento de stock piles en Óxidos alcanzó las 675 mil toneladas con leyes de 9.13 oz Ag/TM y 0.36 gr Au/TM.

Figura 6

Ubicación Satelital de las Operaciones de Cerro SAC



Nota: Vista Satelital del tajo, plantas y stock pile

1.4.UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La U.M. Cerro de Pasco se encuentra a una altura de 4,200 m.s.n.m. en la capital del departamento de Pasco, aproximadamente a 295 kms de Lima y con acceso a la Carretera Central.

El yacimiento de Cerro de Pasco está localizado en el Perú central, al NE de la ciudad de Lima, en las estribaciones occidentales de la Cordillera Central de los andes peruanos. Políticamente se encuentra entre los distritos de Chaupimarca y Yanacancha, en la provincia de Cerro de Pasco, departamento de Pasco, Geográficamente se ubica entre las coordenadas 10° 42' de latitud Sur, y 76° 15' de longitud Oeste.

En coordenadas UTM WGS 84 la ubicación es: 8'819,500 Norte - 363000 Este.

Figura 7

Mapa de Ubicación de Cerro Sac



Fuente: Gerencia de Operaciones Cerro Sac.

1.5.ACCESO

El principal acceso se da mediante la carretera central en la ruta Lima – Cerro de Pasco a aproximadamente 300 km.

Figura 8

Accesos a la Unidad Minera

TRAMO	DISTANCIA	TIEMPO	ESTADO
Carretera Central:			
Lima – Oroya-Cerro de Pasco	315Km	8 Horas	Asfaltada
Carretera afirmada:			
Lima -Canta- Cerro de Pasco	410Km	10 Horas	Via asfaltada y afirmada

Fuente: Web Oficial Compañía Minera Volcan.

1.6.CLIMA

El área del yacimiento se caracteriza por un clima típico de serranía con dos estaciones bien marcadas. Una lluviosa entre los meses de noviembre y marzo, y otra seca con temperaturas menores a 0° C entre los meses de abril y octubre.

1.7.TOPOGRAFÍA

El yacimiento está ubicado en una elevada meseta conocida como Nudo de Pasco, su relieve es relativamente suave, en donde la diferencia de altura entre las partes más altas y más bajas no es mayor de 300 m. Hacia el norte la meseta termina en una serie de cañones profundos de pendientes empinadas, que luego constituyen los valles interandinos. Hacia el sur las pendientes son más suaves y concluyen en la extensa Pampa de Junín.

1.8.GEOLOGÍA REGIONAL

Se compone de rocas sedimentarias que abarcan desde el Paleozoico inferior hasta el cuaternario. En la región de la cordillera Oriental se encuentran las rocas paleozoicas más antiguas, mientras que a nivel local se desarrolla una altiplanicie donde se pueden observar afloramientos de sedimentos marinos del Mesozoico y sedimentos continentales del Terciario. También hay pequeñas intrusiones del Mioceno que son responsables de la mayor parte de la mineralización en la zona.

1.8.1. ESTRATIGRAFIA

1.8.1.1.Filitas Excelsior (Silúrico-Devónico).

Son las rocas más antiguas de la zona y están compuestas de filitas, cuarcitas y lutitas carbonosas. Constituyen el núcleo del anticlinal de Cerro de Pasco.

1.8.1.2.Grupo Mitu (Permico).

Yace discordante sobre el Excelsior y está constituido de areniscas, cuarcitas y conglomerados rojos. En los alrededores de Cerro de Pasco su potencia varía entre 50 y 80 m.

1.8.1.3.Calizas Pucará (Triásico-Jurásico).

En el flanco oriental las calizas del Grupo Pucará sobreyacen en clara discordancia angular al Grupo Mitu, con potencia de 2900 m. Están compuestas por:

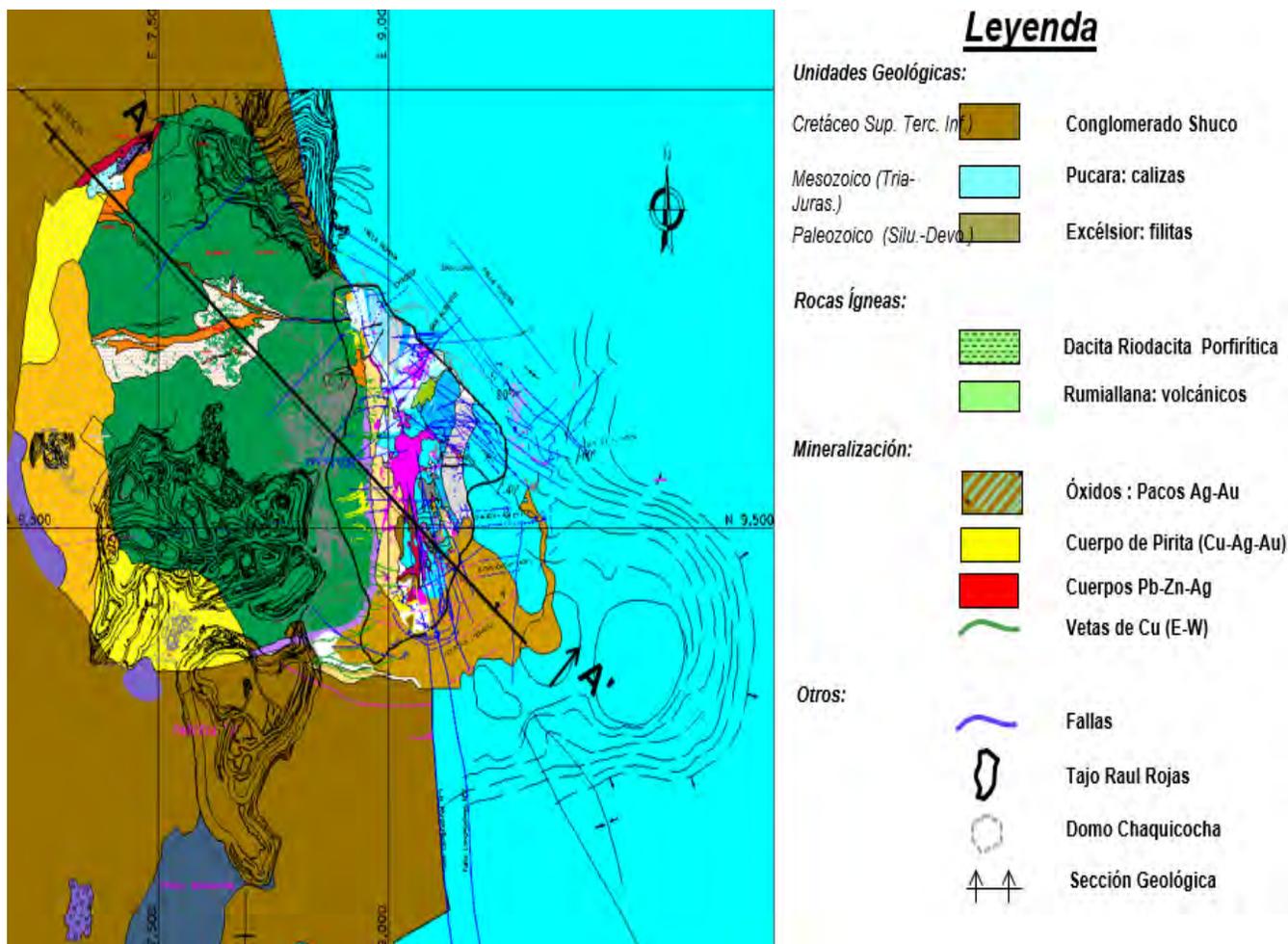
- Capas de caliza de grano fino de color gris oscuro a negro y con venillas de calcita.
- Capas de caliza amarillenta de grano medio de composición dolomítica, con cristales de dolomita y siderita en venillas y como relleno de pequeñas cavidades.
- Interestratificaciones de horizontes bituminosos, lutíticos, fosilíferos y con nódulos de chert.
- Varios horizontes de tufos de composición dacítica.

1.8.1.4.Grupo Goyllarisquizga (Cretácico Inferior).

Sus mejores afloramientos se encuentran en Goyllarisquizga, lugar que le da nombre. Está compuesto por areniscas blanquecinas en la base, con finas capas de conglomerados en los estratos medios. Presenta lecho cruzado y estratificación oblicua, con un tamaño de grano medio a fino y un espesor de aproximadamente 90 metros. Por encima de esta, se encuentran lutitas bituminosas con capas de carbón, con una estratificación laminar y un espesor de alrededor de 40 metros donde se encuentran las minas de carbón de Goyllarisquizga. Subiendo en la secuencia, hay aproximadamente 25 metros de arenisca roja con un tamaño de grano medio y una fina capa de microconglomerado. Tiene ropa de cama cruzada y un color rojizo característico. En la parte superior, hay una alternancia de areniscas blancas y amarillentas. La textura es generalmente sacaroidal, con granos medios a gruesos, subangulares a subredondeados, de origen puramente fluvial. El cemento puede ser sílice, limonita, calcita o solo arcilla en pequeñas cantidades, lo que le da a la roca una compacidad incipiente. Pertenece al Cretácico Inferior y está compuesto por ortocuarcitas con un 90% de grano de cuarzo, areniscas cuarzosas, vetas de carbón y capas de lutitas bituminosas.

Figura 9

Unidades Geológicas de Cerro de Pasco



Fuente: Área de Geología de Cerro SAC

1.8.1.5. Rocas Ígneas.

Las rocas ígneas y volcanoclásticas se encuentran relleno de una estructura aproximadamente circular con diámetro promedio de 2.5 Km, que corresponde al cuello volcánico del antiguo volcán de Cerro de Pasco. Dentro de esta estructura se identifica una fase explosiva que consiste en aglomerados, tufos y una fase intrusiva de composición dacítica a cuarzo-monzonita.

1.8.1.6.Rocas Volcanoclásticas.

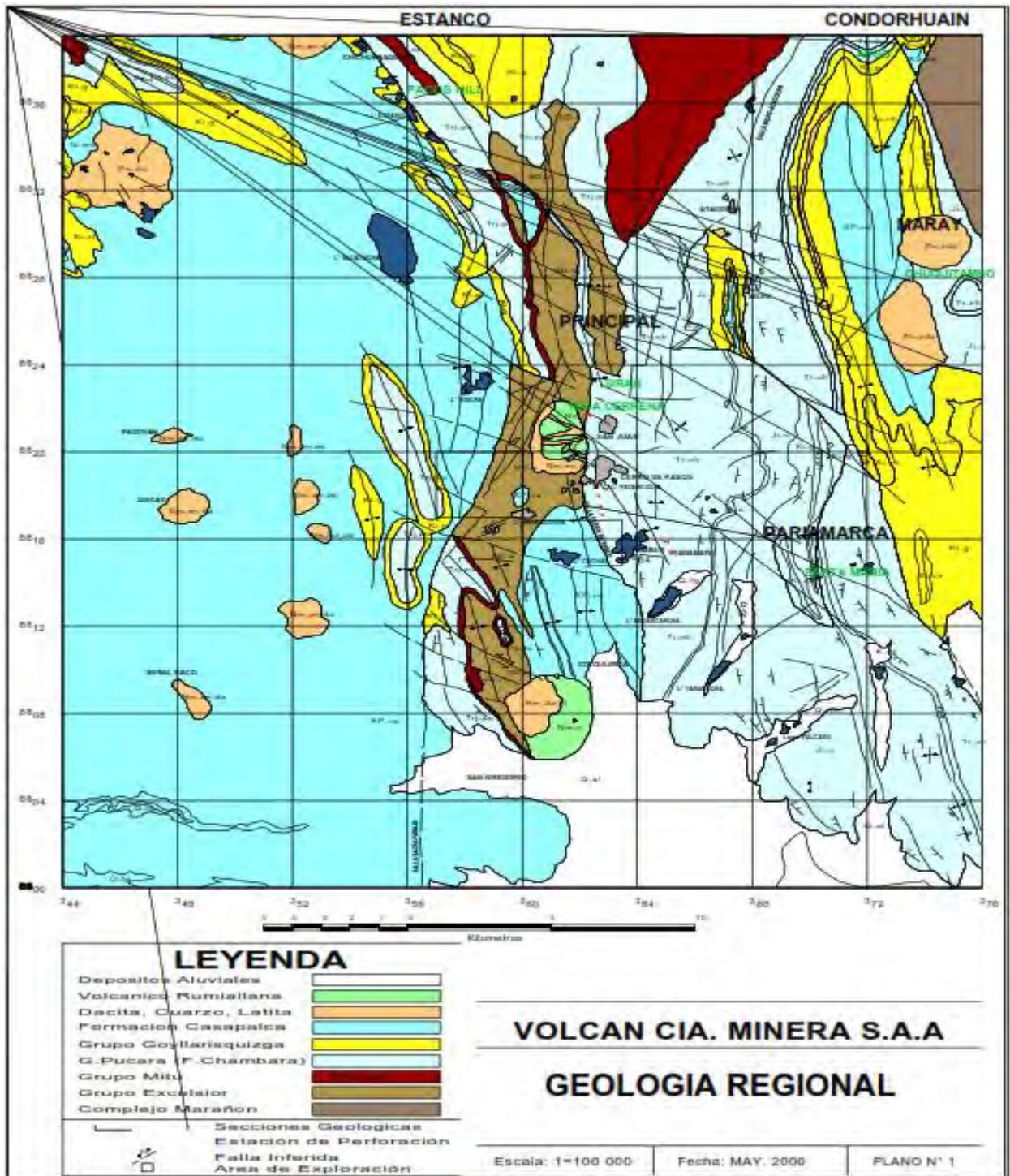
El conglomerado Rumiallana se encuentra en la mitad oriental del cuello volcánico. Es de color gris oscuro y está formado por fragmentos angulares y subangulares de filita, caliza y sílex, que representan el 90% de su composición. El 10% restante está compuesto por rocas ígneas porfídicas muy alteradas. La abundancia relativa de los tipos de clastos varía de un lugar a otro, y la matriz generalmente contiene material volcánico no consolidado, incluidos cristales de biotita y plagioclasa cementados por calcita. In situ, está finamente estratificada con algunos canales cruzados, pero ocasionalmente es masiva sin signos de estratificación. Las porciones NW y SW del cuello volcánico están dominadas por rocas volcánicas tobáceas que en su mayoría no muestran evidencia de deformación, por lo que se las conoce como tobas no consolidadas. La roca es de color blanco a gris y comúnmente exhibe una estratificación fina. Está compuesto por cuarzo y feldespatos con cantidades variables de biotita, hornblenda, epidota y calcita como material cementante. El contacto entre las tobas y el conglomerado es gradacional.

1.8.1.7.Rocas Intrusivas.

Los intrusivos en esta área consisten en cuerpos de rocas plutónicas e hipabisales que fueron emplazados en diferentes momentos. Se encuentran intrusivos de composición andesítica-dacítica que varían a monzonita cuarcífera, la cual intruye a los aglomerados Rumiallana ubicados en Paragsha, en el lado oeste del Tajo de Cerro de Pasco. Estos intrusivos están cortados por diques de cuarzo monzonita que atraviesan la parte central del cuello volcánico. En la última etapa de pulsación, hubo actividad hidrotermal acompañando a estos intrusivos.

Figura 10

Estratigrafía Cerro de Pasco



Fuente: Área de Geología Cerro SAC.

1.9.GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

1.9.1. Plegamiento

En general, el yacimiento de Cerro de Pasco se caracteriza por presentar pliegues paralelos que arrumban al N y cuyos planos axiales están inclinados al E. La intensidad del plegamiento regional se incrementa hacia el E en la cercanía de la falla longitudinal.

Entre las estructuras de mayor importancia se tiene:

- Estructura Domal Regional, que es la más septentrional de los tres domos identificados en el Perú central.
- Anticlinal de Cerro de Pasco, que es un anticlinal de doble hundida en el que la elevación máxima de su núcleo, probablemente, estuvo ubicada al S del cuello volcánico.

En el área local, la dirección regional N-S ha sido interrumpida por pequeños pliegues transversales de tendencia E-W con buzamiento hacia el norte, ubicados al este del cuello volcánico. Estos pliegues han dado lugar a una compresión e inflexión más intensas de las estructuras regionales, incluidos los pliegues longitudinales y las fallas, en comparación con las áreas al norte y al sur del cuello volcánico. Las estructuras pertenecientes a este grupo incluyen el Domo Patarcocha, el sinclinal Matagente y otros pliegues paralelos.

1.9.2. Fracturamiento

En el distrito minero se han identificado 8 conjuntos de fracturas, siendo las más importantes las siguientes:

- *Fallas Longitudinales*, a este conjunto pertenecen las fallas longitudinales de Cerro de Pasco que son paralelas al plegamiento regional; con rumbo al N y buzamiento entre 60° y 65° al E. Su desplazamiento es en sentido inverso y tiene un ancho de más de 100 m.

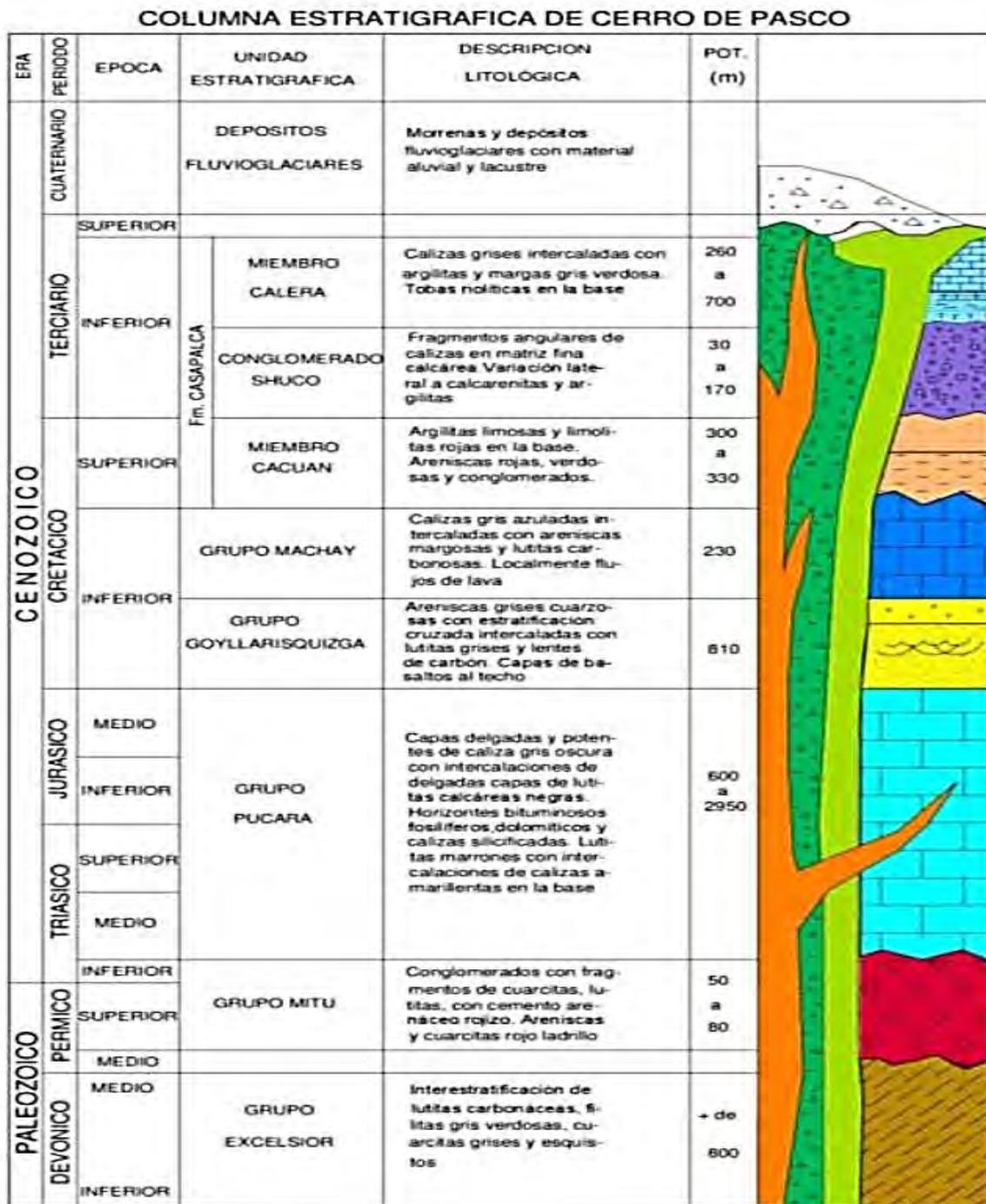
- *Fallas Oblicuas al plegamiento regional*, a este conjunto pertenecen los sistemas de fracturas Huislamachay-Yurajcancha de rumbo NW, y la falla Yurajhuanca de rumbo NE. El primer conjunto es desplazado al plegamiento regional y a las fallas longitudinales, siendo el desplazamiento del bloque N hacia el NW. Son fallas pre-minerales.

- *Fallas Transversales al contacto W del cuerpo de sílica-pirita*, de rumbo E-W, convergentes en profundidad y que albergan a la mineralización de Cu.

- *Fallas Oblicuas a los pliegues transversales*, de rumbo NW, que han sido mineralizadas con esfalerita y galena y que constituyen el sistema de vetas en Mina El Pilar.

Figura 11

Columna Estratigráfica de Cerro de Pasco



Fuente: Área de Geología Cerro SAC

1.10. GEOLOGÍA LOCAL

En el área del yacimiento y alrededores de Cerro de Pasco se tiene afloramiento de rocas sedimentarias metamórficas, volcánicas e intrusivas, que datan desde el Paleozoico Inferior hasta el Terciario (Mioceno), en partes cubiertas por depósitos aluviales o glaciares.

1.11. GEOLOGÍA ECONÓMICA

Los depósitos minerales de Cerro de Pasco se han formado al este y al sur del cuello volcánico de Cerro de Pasco, ubicado en la confluencia de los dominios estructurales N-S y N120°. Presenta una morfología circular que se inmiscuye en el basamento sedimentario en forma de cono invertido. Hacia el sureste, existen grandes "masas polimetálicas de azufre" con Zn-Pb-Ag que reemplazan la secuencia de carbonatos del Grupo Pucará, representando una primera fase de mineralización de "baja sulfuración" (Einaudi 1977), formando grandes cuerpos mineralizados asociados a la formación del Cuerpo Pirita-Sílice, que se extiende aproximadamente 1800 m de longitud. Un magmatismo ácido (cuarzo-monzonita) seguido de una fase tardía de mineralización se superpone a la primera fase, formando otros depósitos de Cu-Ag en vetas, cuerpos y vetas de Pb-Zn, cuerpos finos de pirita (Ag-Bi) y depósitos diseminados de Ag-Au. Esta segunda fase de mineralización es del tipo de "alta sulfuración".

1.11.1. Cuerpo de sílica-pirita

Está localizado en la zona de contacto volcánico-caliza, al E del cuello volcánico, con forma de cono invertido achatado.

En superficie presenta una forma lenticular, con dimensiones de 1 800 m en sentido N-S y de 300 m en sentido E-W, en general buza 70° al W. Hacia el S el cuerpo se divide en dos apófisis, uno que sigue el contorno del cuello volcánico entre sedimentos paleozoicos y los volcánicos mismos; y el otro que sigue la falla longitudinal entre calizas Pucará.

En sección, el cuerpo asemeja una "montura" sobre las filitas Excelsior y aproximadamente a 630 m se angosta hasta configurar una digitación en forma de raíces.

El mayor volumen de mineralización lo constituye la pirita I y sílice, esta última en forma de chert, calcedonia y cuarzo. La pirita ocurre predominantemente como granos anhedrales y la sílice como blocks irregulares y como tabletas de roca afanítica, que dá una apariencia de brecha. Venillas de pirita comúnmente cortan a la sílice.

1.11.2. Cuerpos y Vetas de Pb-Zn

La mineralización de Pb-Zn se presenta como: cuerpos irregulares, vetas y mantos.

Los cuerpos irregulares constituyen el mayor volumen de mineralización y generalmente se localizan en el contacto entre el cuerpo de sílice-pirita y la caliza Pucará. Juntos, tienen la forma de un cono invertido aplanado incluido en un cono más grande, el cuerpo de sílice-pirita. Sus dimensiones alcanzan los 1500 x 300 m de ancho y 500 m de profundidad, alargadas en dirección norte. En el nivel 1800, se ramifica y termina en forma dentada dentro del cuerpo de sílice-pirita; Sin embargo, aún es necesario determinar la profundidad de la mineralización en el contacto entre sílice-pirita y caliza al norte y al este de ese nivel. Generalmente, estos cuerpos irregulares se asocian a cuerpos tubulares de pirrotita con dimensiones no mayores de 60 x 180 m en sección horizontal y constituyen el núcleo de estos cuerpos en profundidad.

La mineralización de Zn consiste de 4 variedades de esfalerita, diferenciadas por sus relaciones de deposición, ubicación dentro del depósito y por sus inclusiones.

- *Esfalerita I*, de color negro (marmatita); se encuentra dentro del cuerpo de sílica-pirita; generalmente sin inclusiones; alto contenido de Fe (> 10 %); en poca cantidad.
- *Esfalerita II*, asociada a los "pipes" de pirrotita en los niveles profundos; inclusiones de stannita y calcopirita; en cantidades mínimas.

- *Esfalerita III*, la más abundante y el principal constituyente de los cuerpos de Pb-Zn; de color marrón oscuro a miel; inclusiones de pirrotita; contenido promedio de Fe 7-8 %.
- *Esfalerita IV*, de color claro (amarillo); asociada a galena y marcasita; se encuentra en venillas cortando las otras esfaleritas; bajo contenido de Fe (< 3 %); principalmente hacia el contacto con las calizas y dentro de ellas.

La mineralización de Pb consiste principalmente en galena y menores cantidades de galenobismutinita y hinsdalita. La galena se presenta en tres generaciones:

- *Galena I*, asociada a la esfalerita III; contiene ampollas de argentita y polibasita; principal constituyente de los cuerpos de Pb-Zn.
- *Galena II*, asociada a la pirita IV y marcasita.
- *Galena III*, asociada a la esfalerita rubia; y a galenobismutinita, bismutinita y matildita en los cuerpos de Ag.

En general, las leyes de Zn son mayores en profundidad y hacia las partes centrales de los cuerpos mineralizados; las leyes de Pb son mayores hacia superficie y en la periferia de los cuerpos, disminuyendo en profundidad.

La mineralización de Ag asociada a los cuerpos de Pb-Zn está relacionada a la galena I y III, y su distribución es errática permaneciendo constante en profundidad. La mineralización de Pb-Zn en caliza se presenta en las calizas dolomíticas de color amarillento con venillas de siderita y dolomita; la textura de mineralización consiste de vetas angostas de rumbo N 45o-80o W y E-W, buzando entre 70o y 80o al NE, cambiando su buzamiento al SW en la Mina El Pilar; mantos de reemplazamiento en ciertos horizontes; pequeños cuerpos en las intersecciones de vetas con capas calcáreas y en la intersección de vetas; en finas venillas; como relleno de pequeñas cavidades; en cavidades de disolución tipo karts; y en zonas de brechas calcáreas y silíceas.

Las vetas de Pb-Zn de importancia económica se encuentran al E del distrito en las calizas Pucará y se han generado por el relleno mineral de las fracturas de los sistemas San Alberto y Matagente. El ensamble mineralógico en San Alberto es de pirita-pirrotita- esfalerita-galena; en Matagente es de esfalerita-galena-carbonatos.

1.11.3. Vetas y Cuerpos de Cu-Ag

Las vetas de Cu-Ag tienen una orientación predominante de este a oeste, extendiéndose desde el cuerpo de sílica-pirita hasta el cuello volcánico, cortando incluso al aglomerado y a los diques de monzonita cuarcífera. Las fracturas ubicadas al norte se inclinan hacia el sur, y las ubicadas al sur se inclinan hacia el norte; su grosor varía desde unos pocos centímetros hasta 2 metros. Tienen longitudes que oscilan entre 500 y 1,000 metros

1.11.4. Cuerpos Supérgenos de Cu

Entre la superficie y el nivel 600, hay cuerpos irregulares de sulfuros supergénicos con apariencia manchada, que están relacionados con las vetas Cu-Ag y el cuerpo de sílice-pirita. La mayor concentración económica se ubica en el nivel 300

Se pueden distinguir dos formas de manifestación de estos cuerpos: una como cúpulas sobre los cuerpos de Pb-Zn, donde la asociación supergénica de calcocita-covelita está cubriendo la esfalerita y la galena; y el otro en forma lenticular y tabular

Las variaciones en el nivel freático han controlado los diferentes niveles en los que se encuentran estos cuerpos.

1.11.5. Cuerpos Oxidados Argentíferos ó Pacos

Sobreyaciendo al cuerpo de sílica-pirita se ha desarrollado un impresionante sombrero de hierro, que varía en profundidad desde pocos centímetros hasta más de 100 m, aprovechando para ello las zonas de falla, contactos y de brechas.

Las zonas oxidadas sobre los cuerpos de Pb-Zn contienen altos valores en Ag, en Pb, o en una combinación de ambos, además de óxidos de Bi y Pb.

1.11.6. Zonamiento

En los cuerpos de mineral de plomo-zinc, el zonamiento vertical es más pronunciado que el zonamiento horizontal. En la parte superior, los valores de plomo son más altos y disminuyen a medida que se profundiza, mientras que los valores de zinc tienden a disminuir en los niveles superiores y aumentar en los niveles más profundos. La distribución de la plata sigue el mismo patrón que el plomo, aumentando hacia la superficie y disminuyendo en profundidad. Sin embargo, este zonamiento se ve afectado por la presencia del cuerpo de plata-bismuto, que aumenta sus valores hacia el este y en profundidad.

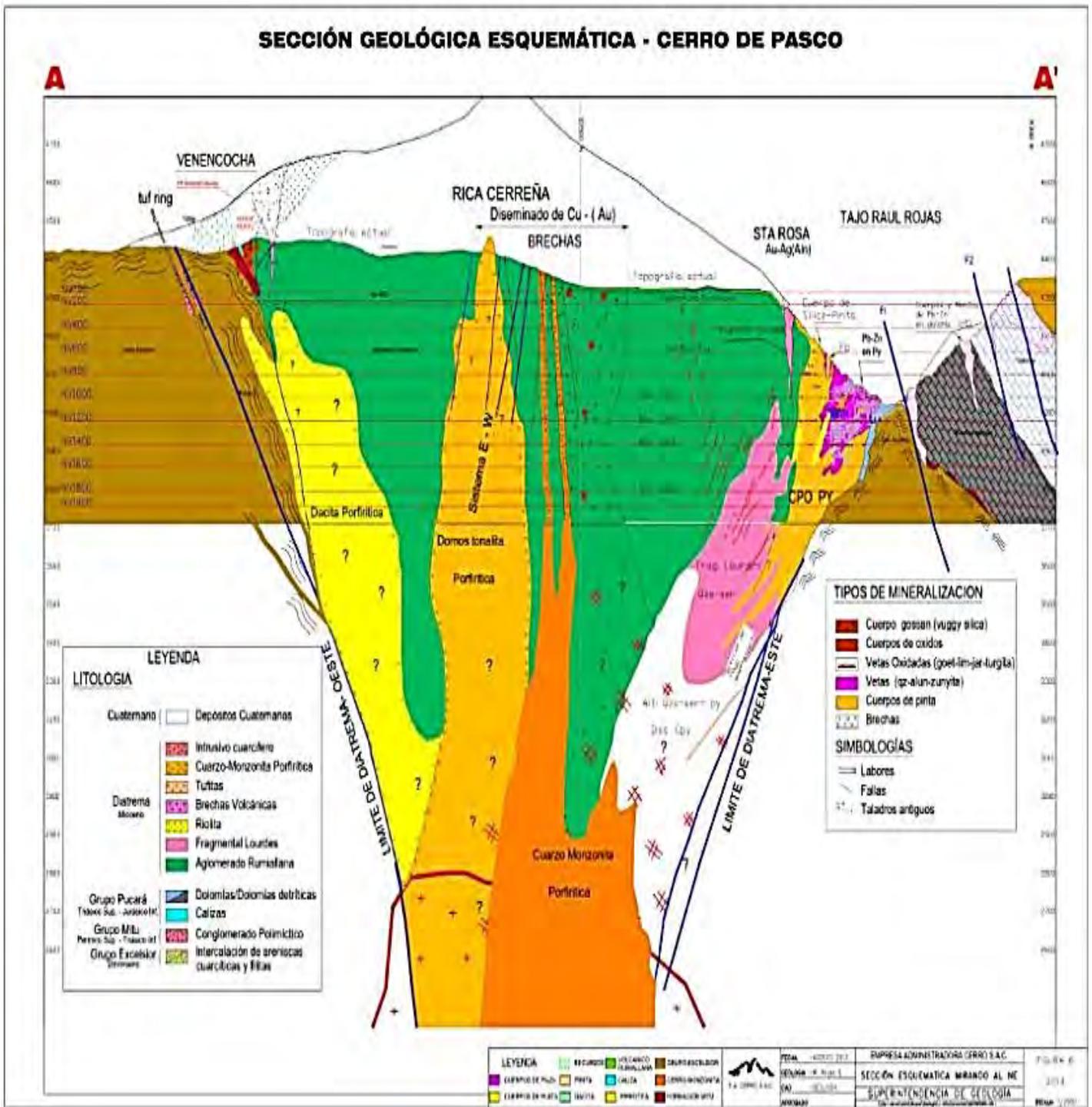
El zonamiento horizontal, menos definido, está relacionado a los cuerpos tubulares de pirrotita, en donde la mineralización de Zn es mayor cerca a los cuerpos de pirrotita, predominando el Pb al alejarse de los mismos.

Al nivel del contenido de Fe en la molécula de esfalerita el zonamiento es definido, con mayor contenido de Fe en los cuerpos ubicados al Oeste dentro del cuerpo de sílica-pirita y en la proximidad de los "pipes" de pirrotita; disminuyendo el contenido de Fe hacia el Este, cerca y dentro de las calizas.

En las vetas de Cu-Ag el zonamiento definido es: predominancia de Cu-Au en la parte central de las vetas, zona de los diques de monzonita; gradando a Cu-Ag y Ag-Bi hacia los extremos E y W de las vetas, con incremento en el contenido de Pb-Zn.

Figura 13

Sección Geológica Esquemática - Cerro de Pasco



Fuente: Área de Geología Cerro Sac.

1.12. CONTROLES DE MINERALIZACIÓN

La determinación de los controles de mineralización se ha realizado por tipo de depósito:

- Para los cuerpos de Pb-Zn. El contacto del Cuerpo de Pirita – Sílice con las calizas del Grupo Pucará, es notoria la continuidad de los cuerpos mineralizados siguiendo la línea del contacto, inclusive las inflexiones del mismo. El fallamiento Longitudinal, que permitió el ascenso de las soluciones mineralizantes que formaron los cuerpos de pirita-sílice y los cuerpos de PbZn aprovechando los contactos fallados existentes. Los cuerpos tubulares (pipes) de pirrotita, que siempre se encuentran ubicados en la parte central de los grandes cuerpos de Pb-Zn.
- Para la mineralización de Pb-Zn en caliza el principal control es la caliza dolomítica con venillas de siderita y dolomita donde se concentra la mayor mineralización, en vez de la caliza gris oscura a negra con venillas de calcita estéril. Para las vetas de Cu-Ag dentro del cuello volcánico el control son las vetas de rumbo E-W convergentes en profundidad.
- Para los cuerpos de Cu-Ag los controles son el Cuerpo de Pirita – Sílice y la intersección ó acercamiento de las vetas que configuran chimeneas mineralizadas que siguen la inclinación (plunge) de la intersección.
- Para el cuerpo de Ag-Bi el control es el contacto entre los cuerpos de Pb-Zn y las calizas del Grupo Pucará. Esta mineralización, genéticamente, está relacionada a la mineralización de Cu-Ag que a la de Pb-Zn.
- Para los cuerpos supérgenos de Cu el control fue la variación del nivel freático en el tiempo, que determinaron los diferentes niveles de deposición de la mineralización.

1.13. MINERALOGÍA

La composición mineralógica por tipo de depósito es:

- Cuerpos de Pb - Zn

Tabla 33

Menas de Pb y Zn en Cerro de Pasco

Esfalerita	Galena	Marmatita
Pirita	Pirrotita	Marcasita
Magnetita	Argentita	Polibasita
Pirargirita	Hinsdalita	Tetraedrita
Tenantita	Covelita	Calcosita
Calcopirita	Gratonita	Jamesonita
Realgar	Oropimente	Arsenopirita
Revoredorita	Azufre	Siderita
Dolomita	Sílice	Vivianita
Bournonita	Emplectita	Bismutinita
Casiterita	Galenobismutinita	Aikinita

Fuente: Área de Geología de Cerro Sac.

- Vetas y Cuerpos de Cu – Ag

Tabla 34*Menas de Cu- Ag de Cerro de Pasco*

Enargita	Luzonita	Pirita
Cuarzo	Esfalerita	Galena
Marcasita	Tenantita	Tetraedrita
Calcopirita	Bornita	Calcosita
Covelita	Famatinita	Bismutinita
Wolframita	Minerales Au	Pirargirita
Barita		

Fuente: Área de Geología de Cerro Sac

➤ Cuerpos de Ag

Tabla 35*Menas de Ag en Cerro de Pasco*

Aramayoita	Plata Nativa	Estefanita
Pirita	Calcedonia	Matildita
Polianita	Argentita	Pirargirita
Hematita	Marcasita	Esfalerita
Realgar	Bismutinita	Tenantita
Alunita		

Fuente: Área de Geología de Cerro Sac.

➤ Cuerpos Supérgenos de Cu

Tabla 36

Menas de Cu en Cerro de Pasco

Calcosita	Covelita	Estromeyerita
-----------	----------	---------------

Fuente: Área de Geología de Cerro Sac.

1.14. DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES MINERAS

Las operaciones se realizan en 3 distintos lugares: Stock Pile Pampa Seca (Zona piritas y Pool Cureña), Stock Pile Miraflores y Tajo Santa Rosa (Zona VGS SUR, SL, ITS, CNB).

1.14.1. EQUIPOS.

Los equipos utilizados serán clasificados según la zona de trabajo, contrato de empresa contratista y la cantidad de estos, es así que tenemos:

Tabla 37

Equipos en las Operaciones de Cerro Sac

Equipo	Contrato	Ubicación	Marca- Modelo	Cantidad
Excavadora	Quiulaocha- Rancas	Santa Rosa- Miraflores	Caterpillar 336D2L	4
			Volvo 380	2
			Hyundai 520	2
			Doosan DX360	3
Cargador Frontal	Yuraquuanca- Rancas	Santa Rosa- Pampa Seca- Miraflores- Cancha Óxidos	Caterpillar 966L	4

			Caterpillar	1
			962L	
			Volvo L150H	2
			Volvo L120F	2
Volquete	Rancas	Santa Rosa-Miraflores-	Volvo FMX	16
		Pampa Seca- Cancha Óxidos	Mercedes Benz 4144K	4
Perforadora	Maquinarias U-	Santa Rosa- Miraflores	Soosan	1
	Guil		STD14m	
			Soosan	1
			STD14e	

Nota: Todos los equipos en operación son alquilados, no equipos propios.

1.14.1.1. Excavadora 336 D2L Caterpillar

- Capacidad de Cuchara : 2.41 m³
- Potencia de Motor: 268 Hp
- Peso: 36 Ton

Figura 14

Excavadora Hidráulica Caterpillar



Fuente: Propia

1.14.1.2. Excavadora Volvo EC380

- Capacidad de Cuchara: 3.0 m³
- Potencia de Motor: 285 Hp
- Peso: 41 Ton

Figura 15

Excavadora Hidráulica Volvo



Fuente: Propia

1.14.1.3. Excavadora Hyundai 520

- Capacidad de Cuchara: 3.2 m³
- Potencia de Motor: 371 Hp
- Peso: 51 Ton

Figura 16

Excavadora Hidráulica Hyundai



Fuente: Web Hyundai

1.14.1.4. Excavadora Doosan Dx360

- Capacidad de Cuchara: 2.32 m³
- Potencia de Motor: 312 Hp
- Peso: 39 Ton

Figura 17

Excavadora Hidráulica Doosan cargando a volquete



Fuente: Propia

1.14.1.5. Cargador Frontal 966H Caterpillar

- Capacidad de Cuchara: 4.00 m³
- Potencia de Motor: 281 Hp

- Peso: 24 Ton

Figura 18

Cargador Frontal Caterpillar 966H



Fuente: Propia

1.14.1.6. Cargador Frontal 962L Caterpillar

- Capacidad de Cuchara: 3.8 m³
- Potencia de Motor: 252 Hp
- Peso: 20 Ton

Figura 19

Cargador Frontal 962L Caterpillar



Fuente: Web Caterpillar

1.14.1.7. Cargador Frontal L120F Volvo

- Capacidad de Cuchara: 3.4 m³
- Potencia de Motor: 241 Hp

- Peso: 20 Ton

Figura 20

Cargador Frontal Volvo



Fuente: Propia

1.14.1.8. Volquete Volvo FMX 8x4

- Capacidad de Tolva: 20 m³
- Potencia de Motor: 420 Hp

Figura 21

Volquete Volvo FMX en operación



Fuente: Propia

1.14.1.9. Volquete Mercedes Benz 4144K

- Capacidad de Tolva: 25 m³

- Potencia de Motor: 429 Hp

Figura 22

Flota de Volquetes Mercedes Benz, Volvo.



Fuente: Propia

1.14.1.10. Perforadora Soosan STD14M- STD14E

- Longitud de Barreno: 25 m
- Potencia de Motor: 220 Hp

Figura 23

Perforadora Soosan



Fuente: Propia

1.14.2. CICLO DE MINADO.

1.14.2.1. Perforación.

En Cerro Sac, se realiza la perforación con perforadoras Diesel Soosan, de series STD14E y STD14M de propiedad de la empresa contratista Maquinarias Uguil, éstas realizan taladros de producción y de muestreo, por lo cual es un caso particular de ésta unidad, las dimensiones de los taladros son de Diámetro de 4" y su profundidad de 5m, los taladros en Tajo Santa Rosa tienen una sobre perforación de 0.5m ,

La particularidad en éstos taladros de producción es que todos tienen la misma dimensión, es decir que no hay diferenciación en taladros buffer , precorte y recorte.

En el caso de la perforación en Stock Pile Miraflores, su objetivo es el de muestreo (Blasthole), considerando que éstos taladros expulsan detritus. Las mallas normalmente son de 4m x 4m y al día realizan un promedio de 40 taladros.

1.14.2.2. Fragmentación.

Una vez culminado el proceso de Perforación se empieza a cargar los taladros perforados con Cápsulas de plasma. En Cerro Sac se hace el carguío de los taladros de producción con Plasma (solución de sales que a gran temperatura ocasiona fisuras en la roca), teniéndose la relación de 2Kg por capsula aproximadamente, y por taladro un total de 4 cápsulas, lo que vendría a ser 8Kg por taladro aproximadamente; este tipo de fragmentación además de no generar vibraciones significativas, también no emana gases nocivos y la presencia de fly rocks son mínimas.

1.14.2.3. Carguío.

El carguío del material del tajo y de stock piles se realizan mediante el uso de Excavadoras 336DL Caterpillar, tanto desmonte y mineral, mientras que el apilamiento y coneo de mineral las

realizan las excavadoras Hyundai 520, así también el cargador 966L Caterpillar apoya en las labores de Blending y coneo de mineral.

1.14.2.4. Acarreo.

El acarreo de material a la chancadora primaria, lo realizan los Volquetes FMX de 20 y 25 m^3 , y el transporte de desmonte se deposita en la desmontera Tacna- Arica, así también el mineral proveniente de Stock Pile Miraflores, se transporta a Tolva de Gruesos en Paragsha, para su posterior clasificación y blending, y el mineral de Tajo Santa Rosa se lleva a Tolva de Gruesos en Planta Óxidos.

1.14.3. PROCESOS UNITARIO PLANTA PARAGSHA. –

Las operaciones en Planta Paragsha comienzan desde la descarga de mineral a Tolva de Gruesos, ubicado a 2km del Stock Pile Miraflores, en la zona conocida como Pared Oeste del Tajo Raúl Rojas.

Las operaciones de la concentradora consisten en flotación de mineral tanto de Zinc, Plomo y Plata todos de mineral marginal proveniente de Stock Pile.

1.14.3.1. Chancado Primario.

Se tiene como objetivo reducir el tamaño de mineral como primera etapa de operación de la concentradora, iniciar con la liberación del mineral, reducir los costos de energía en la molienda. El mineral se enviará desde la mina en Volquetes de acarreo FMX, que descargarán directamente a la tolva de Gruesos de la chancadora Primaria (500 Ton de Capacidad). El mineral que se encuentra en el Cedazo Vibratorio alimenta a la chancadora de quijadas con un (F80) de 8”-12”, el cual se reduce a un tamaño de 6-5” (P80), pasando luego por las fajas hasta la zona de conos, donde se deposita en los alimentadores de ventanas, y posteriormente mediante una celda Grizzly llegar a la chancadora primaria SANDVIK donde la partícula se reduce a 4”.

El sistema cuenta adicionalmente con una trituradora de rocas, la cual reducirá el tamaño de las rocas demasiado grandes para ingresar a la Chancadora Primaria. La descarga desde la Chancadora Primaria alimentará a una faja transportadora corta.

1.14.3.2. Chancado Secundario.

Se le conoce así al proceso desde que la faja 4 lleva el mineral hasta la chancadora secundaria Symons y posteriormente mediante las fajas 8, 9 y 10 llegan al chancado terciario, el P80 es de 40.1mm.

1.14.3.3. Chancado Terciario.

Se le conoce así al proceso desde que la faja 10 lleva el mineral hasta los cedazos Nro 02 y Nro 03 donde llevará a la chancadora HP500, ya posterior a este sistema comienza el proceso de molienda, el P80 es de 19.05mm.

1.14.3.4. Sistema de Molienda.

El sistema de molienda comienza en la descarga de mineral hacia la tolva de finos (4 tolvas de 1000THM), y posteriormente mediante las fajas H, L, K, T llegan hacia los 4 molinos primarios (molinos de barras-Allis Chalmer), seguidamente se transportan hacia los 3 molinos secundarios (Molinos de Bolas) accionados por bombas Wifley 5CB, y para finalizar este proceso llegan a las remoliendas (2) para llegar al estándar requerido en caso la granulometría no haya sido la adecuada.

1.14.3.5. Flotación del Mineral. –

Antes del proceso de flotación, se pasa por la operación unitaria de Clasificación de partículas mediante un nido de Ciclones el cual es un clásico clasificador centrífugo, de operación continua que utiliza la fuerza centrífuga para acelerar la velocidad de asentamiento de las partículas. Después de esta operación unitaria, continua el circuito de flotación de mineral.

La flotación es un proceso de concentración de minerales ideal, la mena mineral se divide en un concentrado enriquecido con el componente útil o valioso por la acción de un colector y una cola o relave con los minerales que componen la ganga. *Los Colectores*, cuya función es la de proporcionar propiedades hidrofóbicas a las superficies minerales. *Los Espumantes*, que permiten la formación de espuma estable y de tamaño adecuado. *Los Modificadores*, que se utilizan para la regulación de las condiciones adecuadas para la acción selectiva de los colectores.

- Activadores
- Depresores
- Modificadores de pH.

El circuito incluye cuatro líneas de celdas de Flotación Rougher, cada una de las cuales constará de seis celdas tanque y otras Scavenger para una primera y segunda limpieza, que proporcionarán un tiempo total de retención de 83 minutos (una hora con 23 minutos), y en el caso de la flotación del zinc un tiempo total de residencia de 78 min.

Se tienen bombas de aire para colaborar al proceso de flotación, en esta etapa se agrega a las celdas rougher espumantes (MIBC) y colectores (AF-238 y PAX) además de agregar lechada de cal para mantener el Ph de 11.8. El concentrado rougher se utilizará para alimentar a 2 líneas de celdas de flotación Cleaner, cada una de las cuales constará de cuatro celdas tanque de 100 m³ de capacidad (8 celdas en total) que proporcionarán un tiempo total de retención de 15 minutos. Se agregará aire y colectores (AF- 238) a las celdas de limpieza.

Después se alimenta al distribuidor rotatorio de alimentación del circuito de limpieza de Zinc y plomo que, a su vez, alimenta a las 4 columnas de flotación. Las cuatro columnas de flotación funcionan en paralelo y tienen 5 m de diámetro y 14 m de altura. El aire se inyectará a través de la base de las columnas para facilitar el proceso de flotación. La matriz de flotación

consistirá en una mezcla de agua cruda y agua de proceso. El agua de proceso se utilizará también como agua de lavado. El concentrado se recolectará en el sumidero de alimentación del espesador de concentrado de Zinc y fluirá por un proceso de agua de lavado. El relave de las columnas se recolectará en el sumidero de alimentación del circuito de limpieza-recuperación de Zinc-Plomo.

En el caso de filtrado de plomo se realiza en planta San Expedito, con un filtro cidelco de 1200x1200, y alimentado con pulpa de 69% de sólidos, sus concentrados con 13% de humedad llegando a ser de 48TMH de concentrado diario.

Y por último el caso del filtrado de Zinc se realiza con un filtro Cidelco de 1500x1500, alimentado con pulpa con 64% de sólidos, sus concentrados con 9.8% de humedad llegando a ser de 140TMH de concentrado diario.

1.14.3.6. El Espesamiento.

Es una operación metalúrgica unitaria que ocurre por sedimentación de las partículas y consiste en una separación donde se obtiene:

- Un líquido claro o agua limpia sobrenadante que rebosa.
- Una pulpa o lodo denso, que contiene una concentración de sólidos más alta que la pulpa alimentada.

El reactivo a usarse en esta operación unitaria es el floculante, el cual tiene como objetivo aumentar la velocidad de sedimentación del espesador.

1.14.3.7. Transporte de Pulpa.

Se utiliza una Bomba Centrífuga para pulpa, es una máquina hidrodinámica capaz de manejar una mezcla de partículas sólidas en un líquido, donde la concentración de partículas es generalmente significativa y la pulpa húmeda es abrasiva.

- La fase sólida o partícula

➤ La fase líquida

1.14.3.8. Sistema de Relaves.

El sistema de relaves es transportado por tubos de 19” hacia la relavera de ocroyoc.

1.14.3.9. Transporte de Finos de Pb y Zn.

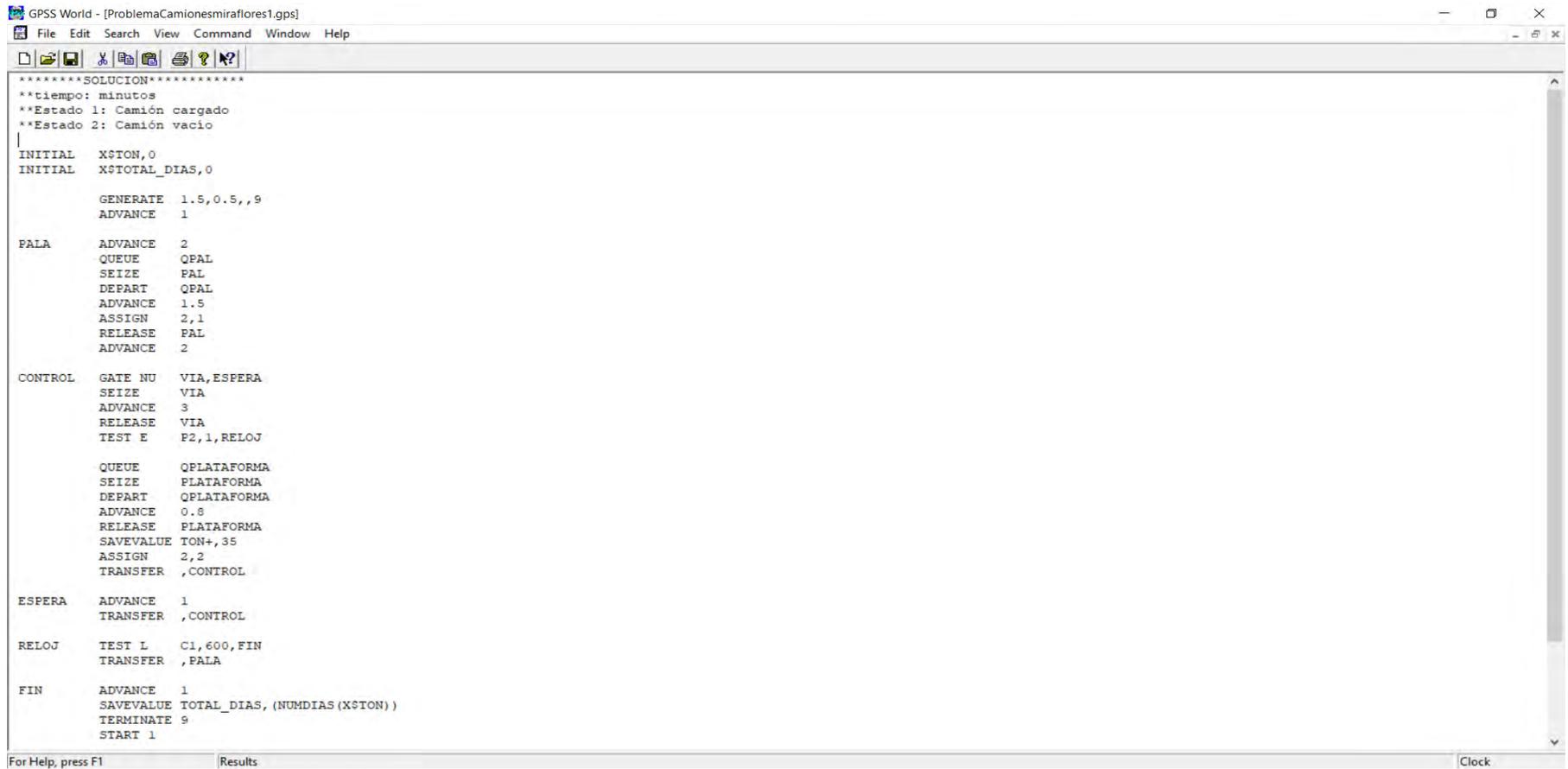
El Ferrocarril Central Andino, mejor conocido como Ferrocarril Central (FC), fue diseñado en 1851 por Ernest Malinowski quien propuso extender el ferrocarril Lima-Callao hasta el centro del Perú. Su extensión es de 535 kilómetros, en su recorrido cuenta con 69 túneles, 58 puentes y 6 zigzag. Se inicia en la Central de Desamparados en Lima, pasando por las ciudades de Huancayo, La Oroya hasta Cerro de Pasco. Es considerada la estación más alta del mundo pues en su recorrido llega a una altura de 4 871 m.s.n.m.

ANEXO 2

SIMULACIÓN GPSS

RUTA MIRAFLORES – TOLVA DE GRUESOS

- INGRESO DE DATOS



The screenshot shows the GPSS World software window titled "GPSS World - [ProblemaCamionesmiraflores1.gps]". The window contains a menu bar (File, Edit, Search, View, Command, Window, Help) and a toolbar with various icons. The main area displays a simulation script with the following content:

```
*****SOLUCION*****
**tiempo: minutos
**Estado 1: Camión cargado
**Estado 2: Camión vacío
|
INITIAL X$TON,0
INITIAL X$TOTAL_DIAS,0

      GENERATE 1.5,0.5,,9
      ADVANCE 1

PALA  ADVANCE 2
      QUEUE QPAL
      SEIZE PAL
      DEPART QPAL
      ADVANCE 1.5
      ASSIGN 2,1
      RELEASE PAL
      ADVANCE 2

CONTROL GATE NU VIA,ESPERA
        SEIZE VIA
        ADVANCE 3
        RELEASE VIA
        TEST E F2,1,RELOJ

        QUEUE QPLATAFORMA
        SEIZE PLATAFORMA
        DEPART QPLATAFORMA
        ADVANCE 0.6
        RELEASE PLATAFORMA
        SAVEVALUE TON+,35
        ASSIGN 2,2
        TRANSFER ,CONTROL

ESPERA ADVANCE 1
        TRANSFER ,CONTROL

RELOJ  TEST L C1,600,FIN
        TRANSFER ,PALA

FIN    ADVANCE 1
        SAVEVALUE TOTAL_DIAS,(NUMDIAS(X$TON))
        TERMINATE 9
        START 1
```

At the bottom of the window, there is a status bar with the text "For Help, press F1" on the left, "Results" in the center, and "Clock" on the right.

RUTA PAMPASECA- TOLVA DE GRUESOS

- INGRESO DE DATOS

```
GPSS World - [ProblemaCamionespampaseca1.gps]
File Edit Search View Command Window Help

INITIAL X$TON,0
INITIAL X$TOTAL_DIAS,0

        GENERATE 1.5,0.5,,19
        ADVANCE 1

PALA    ADVANCE 3.1
        QUEUE QPAL
        SEIZE PAL
        DEPART QPAL
        ADVANCE 1.5
        ASSIGN 2,1
        RELEASE PAL
        ADVANCE 3.1

CONTROL GATE NU VIA,ESPERA
        SEIZE VIA
        ADVANCE 3
        RELEASE VIA
        TEST E P2,1,RELOJ

        QUEUE QPLATAFORMA
        SEIZE PLATAFORMA
        DEPART QPLATAFORMA
        ADVANCE 0.8
        RELEASE PLATAFORMA
        SAVEVALUE TON+,35
        ASSIGN 2,2
        TRANSFER ,CONTROL

ESPERA  ADVANCE 1
        TRANSFER ,CONTROL

RELOJ   TEST L C1,600,FIN
        TRANSFER ,PALA

FIN     ADVANCE 1
        SAVEVALUE TOTAL_DIAS,(NUMDIAS(X$TON))
        TERMINATE 19
        START 1

PROCEDURE NUMDIAS(tonelaje) BEGIN
TEMPORARY RESULTADO;
RESULTADO=100000/tonelaje;
```

• RESULTADO DE LA SIMULACIÓN

GPSS World - [ProblemaCamionespampaseca1.55.1 - REPORT]

File Edit Search View Command Window Help

	2	ADVANCE	19	0	0
PALA	3	ADVANCE	109	0	0
	4	QUEUE	109	0	0
	5	SEIZE	109	0	0
	6	DEPART	109	0	0
	7	ADVANCE	109	0	0
	8	ASSIGN	109	0	0
	9	RELEASE	109	0	0
	10	ADVANCE	109	0	0
CONTROL	11	GATE	9945	0	0
	12	SEIZE	197	0	0
	13	ADVANCE	197	1	0
	14	RELEASE	196	0	0
	15	TEST	196	0	0
	16	QUEUE	105	0	0
	17	SEIZE	105	0	0
	18	DEPART	105	0	0
	19	ADVANCE	105	0	0
	20	RELEASE	105	0	0
	21	SAVEVALUE	105	0	0
	22	ASSIGN	105	0	0
	23	TRANSFER	105	0	0
ESPERA	24	ADVANCE	9748	17	0
	25	TRANSFER	9731	0	0
RELOJ	26	TEST	91	0	0
	27	TRANSFER	90	0	0
FIN	28	ADVANCE	1	0	0
	29	SAVEVALUE	1	0	0
	30	TERMINATE	1	0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
PAL	109	0.268	1.500	1	0	0	0	0	0
VIA	197	0.966	2.990	1	3	0	0	0	0
PLATAFORMA	105	0.138	0.800	1	0	0	0	0	0

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE.(-0)	RETRY
QPAL	2	0	109	94	0.018	0.103	0.751	0
QPLATAFORMA	1	0	105	105	0.000	0.000	0.000	0

SAVEVALUE	RETRY	VALUE
TON	0	3675.000
TOTAL_DIAS	0	27.211

RUTA MIRAFLORES- PLACA 5A

- INGRESO DE DATOS

```
GPSS World - [ProblemaCamionesSantaRosafinal.gps]
File Edit Search View Command Window Help

INITIAL X$TOTAL_DIAS,0

        GENERATE 1.5,0.5,,8
        ADVANCE 1

PALA    ADVANCE 15
        QUEUE QPAL
        SEIZE PAL
        DEPART QPAL
        ADVANCE 1.5
        ASSIGN 2,1
        RELEASE PAL
        ADVANCE 15

CONTROL GATE NU VIA,ESPERA
        SEIZE VIA
        ADVANCE 4
        RELEASE VIA
        TEST E P2,1,RELOJ

        QUEUE QPLATAFORMA
        SEIZE PLATAFORMA
        DEPART QPLATAFORMA
        ADVANCE 0.8
        RELEASE PLATAFORMA
        SAVEVALUE TON+,36
        ASSIGN 2,2
        TRANSFER ,CONTROL

ESPERA  ADVANCE 1
        TRANSFER ,CONTROL

RELOJ   TEST L C1,600,FIN
        TRANSFER ,PALA

FIN     ADVANCE 1
        SAVEVALUE TOTAL_DIAS, (NUMDIAS(X$TON))
        TERMINATE 8
        START 1

PROCEDURE NUMDIAS(tonelaje) BEGIN
    TEMPORARY RESULTADO;
    RESULTADO=70000/tonelaje;
    RETURN RESULTADO;
END.
```

- RESULTADO DE LA SIMULACIÓN

GPSS World - [ProblemaCamionesSantaRosafinal.60.1 - REPORT]

File Edit Search View Command Window Help

	2	ADVANCE	8	0	0
PALA	3	ADVANCE	74	1	0
	4	QUEUE	73	0	0
	5	SEIZE	73	0	0
	6	DEPART	73	0	0
	7	ADVANCE	73	0	0
	8	ASSIGN	73	0	0
	9	RELEASE	73	0	0
	10	ADVANCE	73	1	0
CONTROL	11	GATE	2028	0	0
	12	SEIZE	138	0	0
	13	ADVANCE	138	1	0
	14	RELEASE	137	0	0
	15	TEST	137	0	0
	16	QUEUE	70	0	0
	17	SEIZE	70	0	0
	18	DEPART	70	0	0
	19	ADVANCE	70	0	0
	20	RELEASE	70	0	0
	21	SAVEVALUE	70	0	0
	22	ASSIGN	70	0	0
	23	TRANSFER	70	0	0
ESPERA	24	ADVANCE	1890	4	0
	25	TRANSFER	1886	0	0
RELOJ	26	TEST	67	0	0
	27	TRANSFER	66	0	0
FIN	28	ADVANCE	1	0	0
	29	SAVEVALUE	1	0	0
	30	TERMINATE	1	0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
PAL	73	0.180	1.500	1	0	0	0	0	0
VIA	138	0.903	3.978	1	6	0	0	0	0
PLATAFORMA	70	0.092	0.800	1	0	0	0	0	0

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE.(-0)	RETRY
QPAL	1	0	73	68	0.005	0.042	0.620	0
QPLATAFORMA	1	0	70	70	0.000	0.000	0.000	0

SAVEVALUE	RETRY	VALUE
TON	0	2520.000
TOTAL_DIAS	0	27.778

ANEXO 3

MATRIZ DE CONSISTENCIA

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
TEMA: “MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE CARGUÍO Y ACARREO MEDIANTE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA EN LA EMPRESA ADMINISTRADORA CERRO SAC-COMPAÑÍA MINERA VOLCAN – CERRO DE PASCO”				
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION	VARIABLES	INDICADORES
A.- PROBLEMA GENERAL	A.- OBJETIVO GENERAL	A.- HIPOTESIS GENERAL	INDEPENDIENTE:	
<ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál es el resultado de aplicar la metodología six sigma a la gestión del sistema de carguío y acarreo en las operaciones de la empresa administradora Cerro Sac – Compañía Minera Volcan? 	<ul style="list-style-type: none"> Determinar el resultado de aplicar la metodología six sigma a la gestión del sistema de carguío y acarreo en las operaciones de la empresa administradora Cerro Sac – Compañía Minera Volcan. 	<ul style="list-style-type: none"> “Al aplicar la metodología six sigma en el sistema de carguío y acarreo permitió mejorar la gestión de los indicadores de rendimiento y producción en equipos”. 	<ul style="list-style-type: none"> Metodología Six Sigma en el Sistema de Carguío y Acarreo 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Definir</i> – Tiempos improductivos(Hr) <i>Medir</i> – Indicadores del sistema de Carguío y Acarreo(Hr) <i>Analizar</i> – Histogramas del ciclo de carguío y acarreo <i>Mejorar</i> – Implementación del sistema GPSS(N° de equipos de flota óptima) <i>Controlar</i> – Variabilidad de costos de alquiler de equipos (\$/hr)
B.- PROBLEMAS ESPECÍFICOS	B.- OBJETIVOS ESPECIFICOS	B. HIPOTESIS ESPECÍFICAS	DEPENDIENTE:	
<ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál es la situación de las operaciones de carguío y acarreo en la empresa administradora Cerro Sac – Compañía Minera Volcan? 	<ul style="list-style-type: none"> Conocer la situación de las operaciones de carguío y acarreo de la empresa Administradora Cerro Sac – Compañía Minera Volcan. 	<ul style="list-style-type: none"> La situación actual de las operaciones de carguío y acarreo, permitió identificar los estándares a corregir. 	<ul style="list-style-type: none"> Indicadores de producción de equipos. 	<ul style="list-style-type: none"> Tiempo del ciclo de transporte (Hr.) Tiempos improductivos (Hr) Producción horaria de equipos (TM/Hr.) Costo de alquiler de maquinaria pesada (\$/Hr.)
<ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál es el efecto en los costos de alquiler de equipos al aplicar la metodología six sigma? 	<ul style="list-style-type: none"> Determinar el efecto en los costos de alquiler de equipos al aplicar la metodología six sigma. 	<ul style="list-style-type: none"> La identificación de los costos de alquiler de equipos con la aplicación de la metodología Six Sigma permitió analizar procesos de mejora continua. 		
<ul style="list-style-type: none"> ¿Cómo es la asignación correcta de los equipos de carguío y acarreo de mineral en las operaciones de los Stock Pile de Pampaseca, Miraflores y el Tajo Santa Rosa? 	<ul style="list-style-type: none"> Determinar la asignación correcta de los equipos de carguío y acarreo de mineral en las operaciones de los Stock Pile de Pampaseca, Miraflores y el Tajo Santa Rosa. 	<ul style="list-style-type: none"> La asignación de equipos en las operaciones de Pampaseca, Miraflores y el Tajo Santa Rosa permitió alcanzar eficiencias más altas. 		

ANEXO 4

PLANO TOPOGRÁFICO DE LAS OPERACIONES

