



**FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN,
PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL REPOSITORIO
INSTITUCIONAL DIGITAL - UNASAM**

Conforme al Reglamento del Repositorio Nacional de Trabajos de Investigación – RENATI.
Resolución del Consejo Directivo de SUNEDU N° 033-2016-SUNEDU/CD

1. Datos del Autor:

Apellidos y Nombres: **GONZALES YANCE JENNY SKARLET**

Código de alumno: 112.0802.370

Teléfono: 984762119

Correo electrónico: **jenny_iden@hotmail.com**

DNI o Extranjería: 72036281

2. Modalidad de trabajo de investigación:

Trabajo de investigación

Trabajo académico

Trabajo de suficiencia profesional

Tesis

3. Título profesional o grado académico:

Bachiller

Título

Segunda especialidad

Licenciado

Magister

Doctor

4. Título del trabajo de investigación:

**"GRADIENTE ÓPTIMA PARA REDUCIR CICLO DE ACARREO- MINERA BARRICK
MISQUICHILCA S.A.-U.E.A. PIERINA – AÑO 2018"**

Facultad de: Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia

6. Escuela, Carrera o Programa: Ingeniería de Minas

7. Asesor:

Apellidos y Nombres: MSc. Ing. **Torres Yupanqui Luis Alberto**

Teléfono: 959985879

Correo electrónico: **latorresy@gmail.com**

D.N.I: 08085204

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

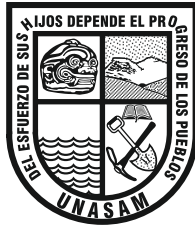
Asimismo, por la presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNASAM, versión impresa y digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto respeto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

Firma:

D.N.I

72036281

Fecha: 21 / 01 / 20



UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”



FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y METALURGIA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS

GRADIENTE ÓPTIMA PARA REDUCIR CICLO DE
ACARREO – MINERA BARRICK MISQUICHILCA S.A. –
U.E.A. PIERINA – AÑO 2018

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE MINAS

Presentado por:

Bach. GONZALES YANCE, Jenny Skarlet

Asesor:

MSc. Ing. TORRES YUPANQUI, Luis Alberto

HUARAZ - PERÚ

2018

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a mi madre Jessica Yance Casas por el inmensurable amor, fortaleza y confianza incondicional que depositó en mí.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme conocer y aprender de ésta gran y completa carrera como es Ingeniería de Minas.

Del mismo modo agradecer a los Ingenieros Alex Conco Dextre y Fredy Esquivel Brito por la impecable asesoría, aquella que permitió que el presente haya sido realizado con éxito.

A la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, mi alma mater.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, titulado “Gradiente óptima para reducir ciclo de acarreo – Minera Barrick Misquichilca S.A. – U.E.A. Pierina – año 2018”, se justifica por la necesidad de generar ahorros y maximizar ganancias en la operación unitaria de acarreo. Debido a ello se calculó la gradiente óptima a través del análisis del Handbook de Caterpillar para los camiones mineros 785C y 785D reduciendo así tiempos de acarreo y costos de mantenimiento de vías, incrementando rendimientos de producción y vida útil de neumáticos (factor crítico en la minería superficial), respetando las velocidades de los camiones según los reglamentos de seguridad minera.

Se concluyó que la gradiente óptima para la gama de camiones Caterpillar de uso en Mina Pierina es de 8 % para rampas temporales y de 10 % para rampas permanentes.

PALABRAS CLAVES

Derateo, tracción, rimpull, curva de rendimiento, Handbook de Caterpillar.

Jenny Gonzales

ABSTRACT

The present research work entitled "Optimum gradient to reduce haul cycle - Minera Barrick Misquichilca S.A. - U.E.A. Pierina - year 2018 ", is justified by the need to generate savings and maximize profits in the unit operation of haulage. As a result, the optimum gradient was calculated through the analysis of the Caterpillar Handbook for the 785C and 785D mining trucks, thus reducing haul times and track maintenance costs, increasing production yields and tire life (critical factor in surface mining), respecting the speeds of the trucks according to the mining safety regulations.

It was concluded that the optimum gradient for the range of Caterpillar trucks used in Pierina Mine is 8 % for temporary ramps and 10 % for permanent ramps.

KEYWORDS

Derating, traction, rimpull, performance curve, Caterpillar Handbook.

Jenny Gonzales

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	11
<i>1.1. Entorno Físico</i>	11
1.1.1. Ubicación y acceso	11
1.1.2. Fisiografía	13
1.1.3. Clima y meteorología	14
<i>1.2. Entorno Geológico</i>	14
1.2.1. Geología regional	14
1.2.2. Geología local	15
1.2.3. Geología estructural	17
1.2.4. Geología económica	19
CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN	21
<i>2.1. Marco Teórico.</i>	21
2.1.1. Antecedentes de la investigación	21
2.1.2. Fundamentación teórica	28
2.1.2.1. Equipos para minas a tajo abierto	28
2.1.2.2. Palas	28
2.1.2.3. Camiones	29
2.1.2.4. Cargadores frontales	29
2.1.2.5. Perforadoras	29
2.1.2.6. Consideraciones básicas del diseño de minas a cielo abierto ...	30

2.1.2.7. Pendiente.....	30
2.1.2.8. Reducir.....	31
2.1.3. Definición de términos	31
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	34
3.1. <i>El Problema</i>	34
3.1.1. Descripción de la realidad.....	35
3.1.2. Formulación del problema.....	35
3.1.3. Objetivos de la investigación.....	36
3.1.3.1. Objetivo general.....	36
3.1.3.2. Objetivos específicos	36
3.1.4. Justificación e importancia	36
3.1.5. Limitaciones	37
3.1.5.1. Bibliográficas	37
3.1.5.2. De tiempo	37
3.1.5.3. De alcance	37
3.1.5.4. De confidencialidad	37
3.2. <i>Hipótesis</i>	37
3.2.1. Hipótesis de investigación (Hi):	37
3.3. <i>Variables</i>	38
3.3.1. Variable independiente (x):.....	38
3.3.2. Variable dependiente (y):.....	38
3.3.3. Operacionalización de variables.....	38
3.4. <i>Metodología de Investigación</i>	39
3.4.1. Tipo de investigación.....	39
3.4.2. Nivel de investigación.....	39
3.4.3. Diseño de investigación	39
3.4.4. Población y muestra	40

3.4.4.1. Población.....	40
3.4.4.2. Muestra	40
3.4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	40
3.4.6. Metodología de recolección de datos	41
CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	42
4.1. <i>Datos y Procedimiento</i>	42
4.1.1. Datos y asunciones.....	42
4.1.2. Procedimiento	43
4.2. <i>Modelo Desarrollado</i>	44
4.3. <i>Interpretación de las curvas de rendimiento para los camiones CAT 785C y 785D</i>	47
4.3.1. Rimpull.....	48
4.3.2. Rendimiento de Potencia:	49
4.3.3. Rendimiento de Retardo:	52
4.4. <i>Resumen de Resultados para Camiones CAT 785C y 785D</i>	54
4.4.1. Gradiente óptima para un desnivel de 50 m (camión CAT 785C)	54
4.4.1.1. Primer escenario: Ascenso cargado y descenso vacío del camión CAT 785C	54
4.4.1.2. Segundo escenario: Ascenso vacío y descenso cargado del camión Cat 785C.....	56
4.4.2. Gradiente óptima para un desnivel de 50 m (camión CAT 785D)	58
4.4.2.1. Primer escenario: Ascenso cargado y descenso vacío del camión Cat 785D.....	58
4.4.2.2. Segundo escenario: Ascenso vacío y descenso cargado del camión Cat 785D.....	60
4.5. <i>Discusión de Resultados</i>	62
CONCLUSIONES.....	63
RECOMENDACIONES.....	65

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
ANEXOS	68
ANEXO N°01: Derateo por altitud según modelo de camiones	69
ANEXO N°02: Resistencia a la rodadura	69
ANEXO N°03: Camión bajando vacío por una pendiente de 8 % de gradiente	70
ANEXO N°04: Camión subiendo cargado por una pendiente de 8 % de gradiente ...	70

INTRODUCCIÓN

En minas a tajo abierto, el diseño de vías de acarreo es muy importante y primordial ya que a través de él se establece su configuración geométrica tridimensional con el propósito de que la vía sea funcional, segura, cómoda, estética, económica y compatible con el medio ambiente.

La necesidad de reducir el tiempo del ciclo de acarreo de los grandes camiones CAT 785C y 785D, hace poner nuestros ojos en la optimización de la gradiente de las rampas de acceso a la zona de mineralización y botaderos de desmonte para ganar tiempos que al final se convertirán en ahorros significativos en la etapa actual de cierre progresivo de mina en la que se encuentra Pierina.

El presente trabajo de investigación consta de:

Dedicatoria, agradecimiento, resumen, palabras claves, abstract, keywords, índice general, tablas, figuras, gráficos e introducción.

Capítulo I. Generalidades; nos detalla el entorno físico y geológico de la unidad minera en estudio.

Capítulo II. Fundamentación; redacta los antecedentes, la fundamentación teórica y la definición de términos que fueron utilizados para la elaboración del presente trabajo.

Capítulo III. Metodología; se formula el problema a solucionar , proponiendo objetivos e hipótesis, considerando los parámetros de diseño de la investigación.

Capítulo IV. Resultados de la investigación; se procesan los datos, detallando el procedimiento y discutiendo los resultados.

Luego se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexo.

CAPÍTULO I:

GENERALIDADES

1.1. Entorno Físico

1.1.1. Ubicación y acceso

La mina Pierina se encuentra dentro de la Cordillera Negra en el centro norte del Perú. Se ubica a unos 10 km al noroeste de la ciudad de Huaraz, en la jurisdicción del distrito de Jangas, provincia de Huaraz, departamento de Áncash, a una altura que fluctúa entre los 3,800 y los 4,200 m s. n. m. (Vasquez, 2015).

Existen tres rutas de acceso:

La distancia de Lima a la mina son 443.8 km, se recorren los siguientes tramos:

- Lima – Paramonga 209.0 km

- Paramonga – Huaraz 200.0 km
- Huaraz - Jangas 16.8 km
- Jangas - Mina 18.0 km

Las alternas y de uso ocasional son:

- Lima – Casma – Huaraz – Jangas – Mina Pierina, y
- Lima – Chimbote - Caraz – Yungay – Carhuaz - Jangas – Mina Pierina.

Vía aérea

El acceso aéreo es solo para aviones pequeños que aterrizan en el aeródromo de Anta ubicado a 22 km, al norte de Huaraz, en el Callejón de Huaylas. (Manrique, 2010).



Figura 1: Ubicación Política de Mina Pierina.

Fuente: Yhonny Paul Ruiz Dioses, Sistema de Gestión Ambiental – Pierina.

1.1.2. Fisiografía

En la zona donde se ubica la mina se han identificado tres unidades fisiográficas principales: la meseta alto andina, el valle de erosión y el Cañón de erosión. La meseta alto andina se caracteriza por una topografía ondulante a moderadamente empinada. La zona, ubicada a una elevación de aproximadamente 4,100 m s. n. m. se encuentra en esta última unidad fisiográfica.

El yacimiento mineral de Pierina está ubicado en una cima que se inclina hacia el Nor-este hasta el Río Santa. La ladera nororiental de dicha cima coge a la cuenca de Puca Uran. Esta cuenca está constituida por tres quebradas importantes: Atupa al norte, Antahurán al sur y Puca Uran en la zona central. A cada extremo de la cima se ubican los valles profundos del sistema de la Quebrada Cuncashca/Río Llancash al norte y la Quebrada de Pacchac al sur. La diferencia en elevación entre la colina y el Río Santa es de unos 1,200 m. Todas las cuencas descargan sus aguas al Río Santa.

En la parte más elevada de la Quebrada de Cuncashca, se ubica dos valles colgantes en forma de U, cuyas bases tiene entre 3,975 y 4,000 m s. n. m. La Quebrada de Cuncashca misma en un valle relativamente ancho en forma de V, de aproximadamente 1,200 m de ancho a los 3,900 m s. n. m. y 2,400 m de largo, con una gradiente de aproximadamente 8 %. Las laderas de este valle se inclinan hasta llegar a ser moderadamente inclinadas y el fondo del mismo es inclinado. La gradiente de la Quebrada de Cuncashca aumenta rápidamente por debajo de los 3,700 m s. n. m. hasta alcanzar una gradiente de aproximadamente 19 %. Aguas abajo, esta quebrada se convierte en el Río Llancash, reduciéndose gradualmente su gradiente hasta un 8 %.

La cuenca del Puca Uran está formada por tres valles en forma de V, los cuales convergen entre 3,200 y 3,000 m s. n. m. en un solo curso de agua. El más largo de estos tiene aproximadamente 3,750 m de longitud y una gradiente promedio de 24 %.

La Quebrada de Pacchac empieza en una cubeta ancha por encima de los 4,000 m s. n. m. que se angosta hasta formar un valle en forma de V por debajo de 3,800 m s. n. m. El valle tiene aproximadamente 7,000 m de largo y una gradiente promedio de 17,5 %. (Gordillo, 2007).

1.1.3. Clima y meteorología

El sistema de clasificación climática de Koppen describe dos principales regiones climáticas en el área: la región de Clima Frío que ocurre a una altura de entre 3,200 y 3,800 m s. n. m. (teniendo alguna lluvia durante la estación seca) y la región de Clima de Tundra Seco de la Alta Montaña, que ocurre a una altura de entre 3,800 y 4,800 m s. n. m. La temperatura y la lluvia están más estrechamente relacionadas con la altura entre los elementos meteorológicos. (Gordillo, 2007).

2.1. Entorno Geológico

1.2.1. Geología regional

El valle del Río Santa se ubica en la base de un inmenso graben regional que separa a la Cordillera Negra de la Cordillera Blanca, ubicada al oeste y al este respectivamente.

La Cordillera Blanca es un gran batolito de granodiorita de edad Terciaria superior (1.6 a 2.7 millones de años (Ma)), limitada por sedimentos del Cretáceo y por depósitos de morrenas glaciares del pleistoceno. Localmente,

la Cordillera Blanca está cubierta por sedimentos más antiguos y por rocas volcánicas de la formación Calipuy.

Pierina exhibe tres tipos de litología que son cronológica y petrográficamente distintas:

- Rocas sedimentarias.
- Rocas volcánicas.
- Rocas intrusivas porfiríticas.

Las rocas sedimentarias son las más antiguas y corresponden al Cretáceo, pertenecen al denominado Grupo Goyllarisca, que está subdividido por las formaciones: Chimú, Santa, Carhuaz-Farrat y Pariahuanca, estas formaciones afloran principalmente en la quebrada Cuncashca y son principalmente areniscas, calizas y lutitas.

Las rocas volcánicas se encuentran sobreyaciendo las rocas cretácicas, las rocas y el depósito está hospedado en estas. Estas rocas están comprendidas por tobas y andesitas. Estas rocas se originaron en el Terciario y son las que alojan los principales contenidos de Au y Ag. (Gordillo, 2007).

1.2.2. Geología local

El yacimiento Pierina es algo singular en el área, por tratarse de un depósito de oro en un sistema sulfato ácido, previamente desconocidos en la región.

La geología de la zona alrededor de Pierina son rocas sedimentarias que afloran en el valle de Cuncashca. Al oeste del yacimiento mineral de Pierina.

La mayor parte del área de la mina está constituida por las lavas básicas andesíticas de la formación

Calipuy. En la proximidad del yacimiento, tobas riódacíticas pomáceas y líticas sobreyacen a la andesita. Las estructuras dominantes en el área muestran una tendencia Norte a Noroeste, Oeste a Noroeste y Noroeste.

La mineralización se presenta preferentemente en la toba pomácea. Aproximadamente el 70 % del yacimiento de Pierina está expuesto en la superficie o se encuentran debajo de una capa delgada de cubierta. La base del yacimiento coincide con el contacto entre la toba pomácea y una andesita basal. En el extremo sur del yacimiento, el mineral yace debajo de una toba lítica gruesa.

La mineralización en Pierina fue el resultado de cinco eventos geológicos:

1. Deposición de una fuerte alteración de cuarzo-alunita, probablemente seguida de una lixiviación ácida de la toba pomácea.
2. Fuerte mineralización de pirita-enargita-covelita y azufre nativo con pequeñas cantidades de oro en la toba lixiviada,
3. Formación de vetillas de cuarzo-pirita-oro,
4. Oxidación hipógena, en que la mineralización aurífera estuvo acompañada por la formación de anillos de hematita y covelita alrededor de las zonas de relictos de mineralización de sulfuros, y
5. Formación de vetillas de baritina y oro.

La mineralización aurífera se presenta albergada principalmente en la toba pomácea riódacítica. La mineralización se caracteriza por la presencia de

sílice porosa, rodeada de alteración cuarzo-alunítica e íltica externa (arcilla). En la toba sobreyacente se observa la presencia de una alteración similar, que excluye la sílice porosa, y que presenta una mineralización en forma de vetillas cuyo espesor varía entre la capa de subsuelo y el algunas micras y un centímetro. La andesita basal se caracteriza por presentar una alteración de caolinita pirita, también confinada en vetillas.

La mineralización aurífera ocurre en la toba pomáceo en intervalos verticales de más de 260 m, se estima que el área mineralizada tiene aproximadamente 300 m de ancho y 900 m de largo. El contenido más elevado de oro y plata (más de 8 g/t de oro y hasta 30 g/t de plata) se presenta en cereal en las rocas ubicadas en el extremo norte del yacimiento. La ley promedio de las reservas mínimas del depósito es de 2.71 g/t de oro y 21.34 g/t de plata. (Gordillo, 2007).

1.2.3. Geología estructural

La Geología Estructural de la mina presenta 2 sistemas de fallas principales (Tinyash y Antuarán).

El sistema Antuarán con orientación NE se originó a partir de la formación de Graben del Callejón de Huaylas. Dentro de Graben ocurre otro evento posterior que viene a ser el sistema Tinyash.

En la intersección de estos sistemas se encuentra Pierina.

La alteración de las rocas existentes en el Depósito presenta zonas muy definidas, con minerales y características geométricas particulares. Las alteraciones son las siguientes:

- **Vuggy Silica:** es el cuerpo central del yacimiento que alberga los principales valores de Au-Ag, esta área presenta abundante "sílice cavernosa".
- **Argílica Avanzada:** es un halo que rodea a la vuggy sílica, está compuesta principalmente de sílice y cuarzo, esta área también contiene cantidades minables de Au, pero en menor cantidad que la vuggy sílica
- **Argílica:** es un área externa a la argílica avanzada, caracterizada por tener abundantes arcillas esta zona generalmente es estéril (no presenta leyes minables). A veces presenta gran cantidad de sulfuros.
- **Propilítico:** es un tipo de alteración que casi no es evidente dentro del tajo solo se presenta en zonas donde existe andesita y sus leyes de Au-Ag son muy bajas. (Gordillo, 2007).

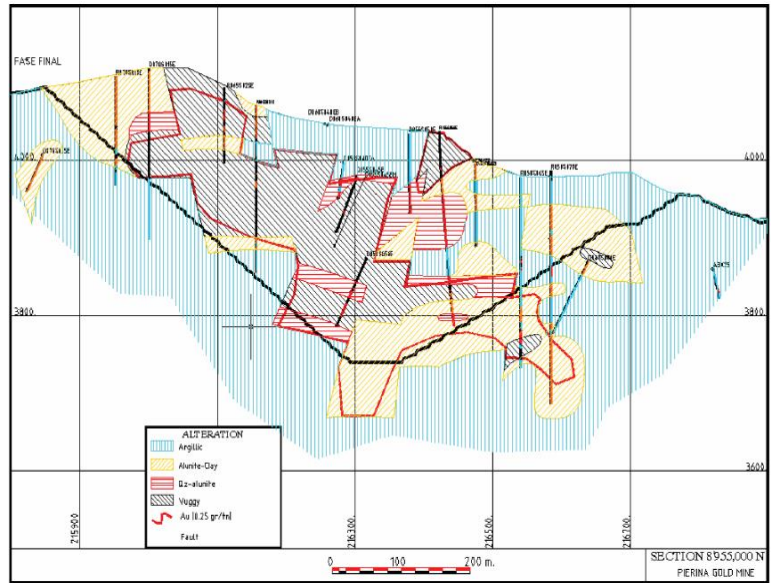


Figura 2: Sección Geológica W- E, emplazada en roca volcánica, mineralización asociada principalmente a rocas piroclásticas.

Fuente: Gordillo, 2007

1.2.4. Geología económica

- **Alteración Vuggy Sílica:** Es la alteración más importante del yacimiento debido a que es la que contiene las más altas leyes y el emplazamiento más importante está en el cerro Piruro. La Vuggy sílica proviene de la lixiviación ácida de las tobas y en menor proporción en las andesitas, quedando la sílice residual.
- **Alteración Argílica:** Ha sido mapeada en los horizontes de andesita que están en contacto con el tufo de pómez, en afloramiento de los mismos y en zonas donde se presentan intrusivos. En el reemplazamiento de los feldespatos por arcillas predominando las arcillas (illita, caolín, sericita). Generalmente contienen pirita, son plásticas, incompetentes.
- **Alteración Argílica Avanzada:** Se origina de la alteración de las tobas básicas y andesíticas, el término argílica avanzada se aplica los

ensambles de sílice y alunita que son más abundantes que las arcillas, es un material competente.

- **Alteración Propilítica:** Es casi ausente en el yacimiento, se ha mapeado en el sector oeste con desarrollo incipiente debido a su desarrollo de cloritas en las fracturas en sectores epidotas además de pirita cristalizada. (Gordillo, 2007).

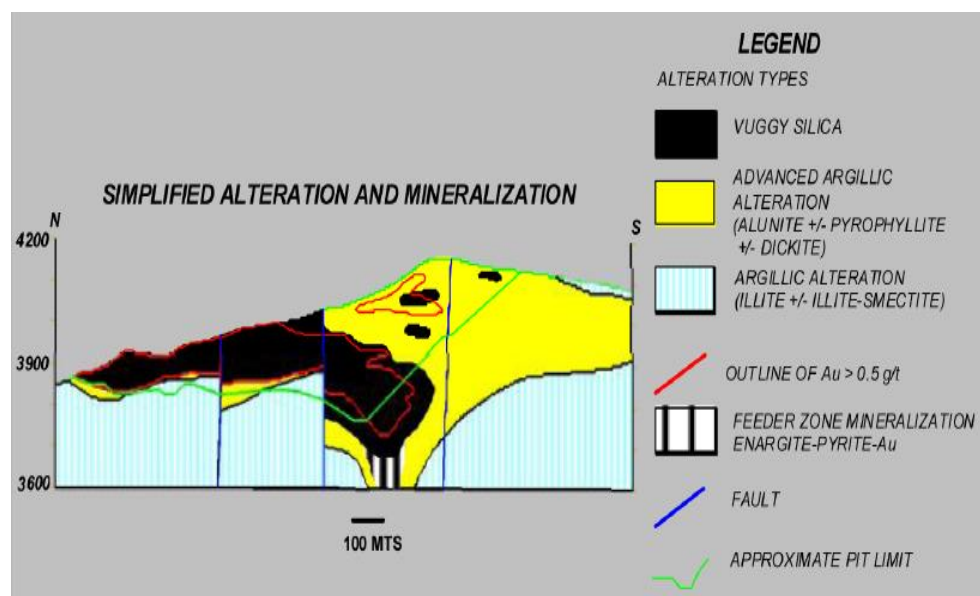


Figura 3: Sección Transversal de alteración de Mina Pierina.
Fuente: Gordillo, 2007

CAPÍTULO II:

FUNDAMENTACIÓN

2.1. Marco Teórico.

2.1.1. Antecedentes de la investigación

Minera Barrick Misquichilca S.A., explota la Mina Pierina para extracción de oro, la mina se encuentra en la etapa inicial del cierre progresivo motivo por lo que el transporte y acarreo de material para el cierre justifica el diseño y optimización de gradiente de las rampas de acceso temporales para reducir el ciclo de acarreo en unidad minera Pierina.

Según Elvis Derwin Ticona Condori y Percy Anibal Choque Mamani. (2016). *“Evaluación del diseño geométrico del camino de carga pesada (Heavy Haul Road) proyecto minero las Bambas - Paquete 03”*, Tesis para optar el título Ingeniero Topógrafo y Agrimensor. Universidad Nacional del

Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura, Puno, Perú.

El presente trabajo de investigación se realizó en el camino de acceso Cusco a Las Bambas, ubicado en los departamentos de Apurímac y Cusco, aproximadamente a 75 km al Sur-oeste de Cusco y 300 km al Nor-oeste de Arequipa. El tramo corresponde al comprendido entre el desvío Ccapacmarca – Puente Ichuray. Geográficamente está ubicada entre las coordenadas geográficas $72^{\circ}21'49.92''$ a $72^{\circ}21'39.99''$ de Longitud Oeste y $13^{\circ}45'29.13''$ a $13^{\circ}44'05.25''$ de Latitud Sur, entre las coordenadas UTM E 784463.57 a E 785022.77 y N 8479932.90 a N 8477654.82, a una altitud promedio de 4,000.00 m s. n. m.

El trabajo de investigación está orientado en una primera parte fundamentalmente a evaluar y/o determinar las incidencias geométricas o modificaciones en el trazo y diseño geométrico para el normal desarrollo en la etapa de ejecución de los componentes de un CASO ESPECIAL de CAMINO DE CARGA PESADA o HEAVY HAUL ROAD (en su acrónimo en inglés), que comprende desde el km 91+000 hasta km 161+400 de la vía Cusco (Puente Tinko) – Challhuahuacho, correspondiente al paquete 03 del proyecto minero Las Bambas, comparativo y modificaciones en el trazo y principalmente en las secciones transversales, que determinaron metrados y presupuestos de obra de acuerdo a los parámetros establecidos en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras(2013), con la normativa para caminos de carga pesada y en una segunda parte orientado a analizar y cuantificar los eventos de variabilidad de ejecución, que conllevaron a paralizaciones en la etapa de obra como son el tema social, tráfico, falta de botaderos, canteras

tomadas por poblaciones, falta de definición de ingeniería, etc., y propuesta de una metodología para controlar o mitigar estas paralización con énfasis en el tema social desde un punto de vista estratégico de avance de obra.

La investigación es del tipo descriptivo, las variables en estudio inicialmente fueron: Variables independientes: topografía del lugar en estudio, estudios geotécnicos, tipo de vehículo, y la Variable dependiente: diseño geométrico planimétrico y altimétrico para camino de carga pesada. El trabajo se realizó en dos fases, una de comprobación de campo con observación directa y recopilación de información, y otra de gabinete dedicada a la tabulación, procesamiento de información de campo, y diseño geométrico de carretera para vehículos de carga pesada. Como evaluación complementaria se tuvo el análisis de la “variabilidad” interna y externa, en los temas social, tráfico, falta de botaderos, canteras tomadas por poblaciones, falta de definición de ingeniería, etc., y una propuesta de valor para cada ítem con fines de controlar o mitigar estos aspectos con énfasis en el tema social desde un punto de vista estratégico de avance de obra.

Como resultados y conclusiones de la investigación, exponiendo las respuestas a las preguntas de investigación, objetivos e hipótesis, se ha determinado que no existe una guía específica para el diseño, hay algunos lineamientos de carácter general como por ejemplo el Reglamentos de Seguridad y Salud Ocupacional Minera D.S. N° 024-2016-EM, artículo 262, que hacen referencia a los estándares de operaciones mineras para operaciones a cielo abierto camino para carga pesada, con lo cual se obtiene el diseño con características geométricas: el ancho de plataforma del camino en 38.00 m, el giro mínimo para los vehículos del tipo THP/SL/12,14, los

cuales transportarán las cargas extraordinarias que comprende un tracto camión de 04 ejes (14 neumáticos) con un peso bruto total vehicular de 176.068 T., y la propuestas de valor por cada ítem.

Según Deivy Luis Reymer Mullizaca. (2013). *“Gestión del sistema de despacho para la optimización del ciclo de acarreo en la unidad minera Lagunas Norte Cía. minera Barrick Misquichilca”*, Tesis para optar el título de ingeniero Minas. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Geología, Geofísica y Minas Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, Arequipa, Perú.

Durante la investigación del presente trabajo de tesis, se demuestra la importancia de realizar un control de los distintos índices operacionales y la necesidad de disminuir su variación, independientemente de su valor inicial, pues solo así es posible alcanzar los estándares deseados. Es relevante establecer una distribución de tiempo de los equipos y determinar los indicadores claves de desempeño operacional mediante la utilización del sistema Dispatch dinámico. De esta forma se puede controlar y gestionar la toma de decisiones operativas en tiempo real. Los indicadores claves de desempeño operacional deben ser fáciles de entender y de utilizar por el personal a cargo de la gestión de turnos.

Este trabajo permite concluir acerca de la importancia en la toma de decisiones en tiempo real, siendo finalmente estas las que llevarán a buen puerto la gestión operativa de la mina.

Según Ciro Martínez Oropesa. (2014). *“El Proceso de Gestión de la Seguridad Basada en los Comportamientos: Actuación de los Supervisores”*

en Empresas de Manufactura”, Tesis doctoral de la Universidad de León, Programa de Doctorado Integración y Desarrollo Económico y Territorial. Departamento de Geografía y Geología, León, España.

El problema principal que se intentará resolver en la presente tesis es el cómo mantener el factor de medición de eficacia y eficiencia, llamada Productividad, ante los ojos de la Gerencia y el Directorio con presencia de climas severos en épocas de invierno y verano, riesgos operacionales generados por condiciones subestándar en la mina, falta de equipos operativos para completar tareas y un factor humano como pieza clave en el cumplimiento de objetivos que generarán una calidad operativa de excelencia con trabajos seguros y con un clima laboral favorable a todos los trabajadores de la empresa.

Al intentar buscar bibliografía sobre el tema a desarrollar en la tesis presentada, se nota la deficiencia o prácticamente inexistencia de métodos, fórmulas y/o casos en los cuales se explique cómo poder administrar de forma óptima una determinada cantidad de equipos de acarreo, auxiliares y carguío en una mina superficial, para poder conservar la productividad; es así como queda demostrado que la experiencia adquirida por el mismo Ingeniero de Minas y la forma para relacionarse con el personal a cargo son los puntos de apoyo para sostener y resolver los problemas que se presentan en el día a día y noche a noche, los cuales son diferentes o en su defecto con algunas similitudes pero nunca iguales, haciendo así, que la mina sea en general un entorno variable y si a ello le sumamos los constantes cambios climáticos, esta variabilidad aumenta haciéndose más complejo.

Así, teniendo un claro planteamiento del problema recién puedo pasar a la parte de ver como se realizaría el trabajo o Metodología del Trabajo basada en mi experiencia en Operaciones Mina como Supervisor de Tajo en Minera Yanacocha SRL y complementada en la actualidad en la Unidad de Toquepala de Southern Peru Copper Corporation, en el cual me desempeño como Jefe General de Guardia, el cual se verá su realización de la siguiente forma.

Empezaré describiendo generalmente la Mina Yanacocha, ubicación geográfica, geología y clima para luego pasar a describir únicamente las operaciones en el Tajo Chaquicocha, el cual es la parte central del proyecto, en donde desarrollaremos la presente tesis.

En la segunda parte de la tesis enunciaré los riesgos operaciones dados por los climas severos en la operación del Tajo Chaquicocha: vías resbaladizas, empozamientos de agua, vías con anchos operativos subestándar y tormentas eléctricas. A continuación, pasaré a analizar cuáles son los factores que inciden en la conservación de la productividad, tales como velocidades en vacío, velocidades en cargado, pisos de palas inadecuados, paradas de seguridad, frentes de palas en mal estado, botaderos inadecuados para la descarga, etc.

Como parte final, y objetivo del presente trabajo, presentaré la metodología usada para lograr que los factores nombrados líneas arriba, se vean reducidos en su intento de perjudicar los valores de productividad con actividades como lastrado de vías, realización de cunetas y sangrías, control de distancias adecuadas y como un tópico importante, el factor humano dado

por los operadores en la mina, los cuales son los protagonistas de los objetivos logrados en la presente tesis.

Según Javier Octavio Olazabal Mora. (2014). *“Estudio del cálculo de flota de camiones para una operación minera a cielo abierto”*, Tesis para optar el título de ingeniero Minas. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de ciencias e Ingeniería, Lima, Perú.

El presente trabajo justifica la factibilidad y viabilidad económica del cambio tecnológico de pasar de un Sistema de Control de Mina que fue el “Modular” a un sistema de control de mina mucho más interactivo, moderno y con tecnología de punta de nombre Minestar. Las decisiones que motivaron este cambio son básicamente el incremento en la flota de la mina, el cambio de sistema de transporte de mineral mediante fajas, el obsoleto sistema de dinámico de distribución de volquetes que tiene el sistema Modular, mala distribución de los volquetes para abastecer combustible, Perforadoras eléctricas perdían señal y conectividad con el GPS y Satélites al perforar especialmente en la parte del fondo de mina (Fase 3), cabe recordar que el Sistema de control de Mina Modular es un sistema de una tecnología 20 años atrás. La tesis consiste en describir el sistema actual y el sistema que se está implementando y dar una justificación económica del cambio tecnológico expresado en producción, productividad y horas hombres, reduciendo costos de minado por tonelada.

Este proyecto empezó en febrero del 2013, primero en una fase de instalación del hardware a todos los equipos de mina ya sea Palas, Volquetes, Perforadoras, Trenes y Equipo Auxiliar. Asimismo, a la par se construyó y diseño la nueva oficina de Control de mina y se instaló la red de satélites,

repetidores que comprende toda la tecnología del sistema. En Julio del 2013 el sistema Minestar operaba a la par con el sistema oficial que era el “Modular”. En esa etapa se determinó las falencias del programa, cobertura de comunicación en toda la mina y ajustes a las particularidades de la Mina ya sea Trenes, Volquetes Komatsu (ya que es un sistema de Caterpillar se buscó la compatibilidad entre ambos). Desde enero del 2014 ya se encuentra implementado y en funcionamiento al 100 % comandando todos los equipos de la mina. Se pudo notar con el nuevo sistema que había una mejor distribución de los volquetes, productividad y por ende esto se reflejaba en una mayor producción y reducción de costos de minado el cual justifica el cambio tecnológico y la inversión.

2.1.2. Fundamentación teórica

2.1.2.1. Equipos para minas a tajo abierto

Dr. Peter N. Calder. Las palas, camiones de transporte, máquinas cargadoras y perforadoras, constituyen unidades primordiales en las minas a tajo abierto. Los equipos auxiliares típicos incluyen tractores, máquinas niveladoras, camiones de servicio, transportadores de explosivos, perforadoras secundarias y grúas.

2.1.2.2. Palas

Dr. Peter N. Calder. Existen dos tipos principales de palas, las mecánicas y las hidráulicas. Ambos tipos pueden tener la misma capacidad desde el punto de vista eléctrico, utilizando un cable alimentador o mediante un motor diesel. Las unidades operadas mediante motores diesel, tienen costos operacionales y de

mantención considerablemente más altos, pero tienen la ventaja de no requerir de un elaborado sistema de distribución de energía eléctrica para alimentarlos. Se utilizan principalmente en áreas distantes en donde la energía no se encuentra disponible a un costo razonable, o en aquellas áreas cuyas condiciones climáticas y/o topográficas son severas y, por lo tanto, resulta difícil o imposible mantener un sistema de distribución de energía.

2.1.2.3. Camiones

Dr. Peter N. Calder. Existen dos tipos principales de camiones en la industria minera, los mecánicos y los eléctricos. Los camiones eléctricos utilizan motores armados en los cubos de las ruedas. Estos son operados normalmente mediante motores diesel, pero también pueden funcionar por medio de barras colectoras similares a las de los trolleys. La energía es transmitida para hacer rotar la rueda por la armadura del motor sobre la cual se monta el neumático.

2.1.2.4. Cargadores frontales

Dr. Peter N. Calder. Los cargadores frontales típicos son articulados, diseñados para realizar excavaciones en roca. La diferencia principal entre estos tipos de máquinas y los dos tipos de palas descritas anteriormente es que éstos son de goma neumática armada con oruga armada y no rotan en un círculo de rodillo.

2.1.2.5. Perforadoras

Dr. Peter N. Calder. Existen dos tipos principales de perforadoras de producción, las de percusión y de rotación. Las perforadoras de

rotación mantienen una presión sobre la broca, obligándola a llegar hasta el fondo del pozo, mientras rota la perforadora. Esto resulta en una especie de "astillas" de roca en proceso de ejecución. El material no es simplemente chancado. La barrena rotatoria de tres conos, utilizada para formaciones en roca sólida, contiene insertos de acero al carburo tungsteno. Para formaciones más débiles, se utilizan barrenas con dientes de acero.

2.1.2.6. Consideraciones básicas del diseño de minas a cielo abierto

Dr. Peter N. Calder. La selección de los parámetros de diseño básicos, es extremadamente importante. Los parámetros a ser evaluados son los siguientes:

- Ancho y pendiente del camino de transporte
- Plan del camino de transporte
- Talud del suelo del pit
- Ancho e intervalo de bermas
- Pendiente total y pendiente local
- Ubicación de la infraestructura principal

2.1.2.7. Pendiente

Dr. Peter N. Calder. En muchas operaciones, el suelo de una mina a rajo abierto, se declina para facilitar el acceso a los cuerpos mineralizado, estas pueden ser positivas o negativas.

Pendiente de la recta y la inclinación de un elemento ideal, natural o constructivo respecto de la horizontal (la tangente inversa del valor de la "m" es el ángulo en radianes).

2.1.2.8. Reducir

Verbo transitivo que significa hacer menor la cantidad, el tamaño, la intensidad o la importancia de una cosa. "redujo la velocidad al entrar en el peaje; a final de mes se vio obligado a reducir gastos. Por tanto, reducir, hacer uso de la menor cantidad de recursos naturales posibles, es la acción más importante que los consumidores pueden hacer por el medio ambiente. Reducir contribuye también a combatir otro problema ambiental cada vez más grave, el de los residuos. (<https:// Significados.com / reducir, 2018>).

2.1.3. Definición de términos

Bazán, (2016).

Acarreo de material: Traslado de materiales hacia un destino señalado.

Actividad minera: “Es el ejercicio de las actividades de exploración, explotación, labor general, beneficio, comercialización, y transporte minero, en concordancia con la normatividad vigente” (Decreto Supremo N° 025-2016-EM, 2016).

Banco o cara: Es la parte de toda mina a tajo abierto o subterráneo en la cual se realizan labores de minado.

BCM: Un metro cúbico como se encuentra en estado natural.

BFA: De las siglas en inglés Bank Face Angle, significa ángulo de la cara del banco.

Botaderos: “Conocidos también como canchas de depósito de mineral de baja ley o ganga. Usualmente se localizan en el entorno de la mina y fuera de la zona mineralizada” (Decreto Supremo N° 025- 2016-EM, 2016).

Capacidad: “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)” (Aguirre Barahoma, J., 2013 pág. 8).

Carguío de material: Este es el proceso de carga de material a los equipos de transporte. Este carguío se realiza con equipos como cargadores provistos con cuchara, y en otros casos con equipos especiales.

Densidad del material: Es el peso por unidad de volumen del material Saldaña, (2013).

Actividades del ciclo de carguío y acarreo: Las actividades del Ciclo de Carguío y Acarreo y su óptima asignación están basadas en:

- Actual posición y velocidad del camión
- Tiempo estimado de llegada a destinos.
- Tiempo estimado de llegada a palas.
- Actual cola en las palas
- Actual tasa de excavación de las palas
- Asignaciones recientes de camiones para cada ruta
- Para determinar los 8 estados en los cuales puede encontrarse un

camión operativo, el Jigsaw es el sistema usado en el Dispatch para proveernos las actividades registradas: Viajando, Esperando, Cuadrando, Cargando, Acarreando, En Cola, Retrocediendo, Descargando.

Viajando vacío: El camión se encuentra viajando vacío cuando se dirige al equipo de carguío. Los camiones vacíos automáticamente entran en la actividad de Viajando después de haber partido más de 20 m de su punto de descarga.

Acarreando: Los camiones en la actividad Cargando entran en la actividad Acarreando cuando el GPS detecta que el camión ha viajado más que la distancia de salida (departure_distance) de 20 m desde la zona de carga.

Derateo: Es la potencia por altitud.

Rimpull: Es la cantidad de fuerza ejercida en la zona de contacto entre el vehículo y el suelo. Esta fuerza es usualmente expresada en Newtons o Libras fuerza.

CAPÍTULO III:

METODOLOGÍA

3.1. *El Problema*

En Mina Pierina, el diseño de vías de acarreo en las que involucra rampas de acceso a zonas mineralizadas o botaderos de desmonte son de importancia ya que una gradiente alta nos da una ruta corta, pero no necesariamente un tiempo menor de acarreo, y una gradiente muy baja impactaría negativamente con respecto a los espaciamientos de vías en el tajo, impactando a las posibles zonas de alta concentración de Au.

La necesidad de reducir el ciclo de acarreo de los grandes camiones CAT 785C y 785D, hace poner nuestros ojos en la optimización de la gradiente de rampas de acceso temporales y permanentes para ganar tiempos que al final se convertirán en ahorros significativos en la etapa actual de cierre progresivo de mina en la que se encuentra Pierina.

3.1.1. Descripción de la realidad

El diseño de rampas de accesos y la vida útil de estas; juegan un papel importante ya que si no están bien diseñadas se obtendrá un ciclo de acarreo mayor y habrá impacto de espaciamiento en el tajo. La necesidad de controlar y mejorar el ciclo de producción, impulsa a realizar un trabajo de investigación de optimización de gradiente para reducir ciclo de acarreo en Unidad Minera Pierina.

3.1.2. Formulación del problema

3.1.2.1. Formulación del problema general:

¿De qué manera la gradiente óptima, reducirá el ciclo de acarreo en la Minera Barrick Misquichilca S.A.- U.E.A. Pierina, año 2018?

3.1.2.2. Formulación de problemas específicos:

1. ¿Es posible incrementar los rendimientos de producción de los camiones?
2. ¿Es posible incrementar la vida útil de los neumáticos?
3. ¿El valor de la gradiente nos permitirá controlar la velocidad de los camiones?
4. ¿Se puede brindar seguridad y confianza a los operadores cumpliendo con las normas de seguridad en relación a la gradiente máxima permitida y diseño adecuado de las rampas de acceso y acarreo?

3.1.3. Objetivos de la investigación

3.1.3.1. Objetivo general

Calcular la gradiente óptima para reducir el ciclo de acarreo en la Minera Barrick Misquichilca S.A.- U.E.A. Pierina, año 2018.

3.1.3.2. Objetivos específicos

1. Incrementar los rendimientos de producción de los camiones.
2. Incrementar la vida útil de los neumáticos.
3. Asegurar el límite de velocidad dado por la empresa (60 km/h).
4. Brindar seguridad y confianza a nuestros operadores cumpliendo con las normas de seguridad con respecto a la gradiente (este debe ser $\leq 12\%$)

3.1.4. Justificación e importancia

La presente investigación se realizó de manera *factible* ya que es abordable en cuanto a tiempo y dinero; es *interesante* ya que genera ahorros y maximiza ganancias en la operación unitaria de acarreo en minas a tajo abierto, tornándose *novedosa* ya que amplía hallazgos previos para proporcionar nuevos resultados con respecto a la reducción de tiempos de acarreo y costos de mantenimiento de camiones, incrementando rendimientos de producción y vida útil de neumáticos (factor crítico en la minería superficial), siendo de esta manera *relevante* para líneas de investigaciones futuras.

3.1.5. Limitaciones

3.1.5.1. Bibliográficas

Existe una escasa información acerca del efecto producido por el diseño geométrico con respecto al aumento de productividad de una mina a tajo abierto, aquello que hace de interés el tema en estudio.

3.1.5.2. De tiempo

La presente investigación comprende de 11 meses para su realización.

3.1.5.3. De alcance

La optimización de la gradiente se tomará en cuenta en rampas de accesos temporales como permanentes para la mina en estudio.

Así mismo, este estudio puede aplicarse a minas de similares condiciones operativas (Open Pit).

3.1.5.4. De confidencialidad

La presente no cuenta con datos en relación a costos operativos debido a cláusulas de confidencialidad de la compañía minera en estudio.

3.2. Hipótesis

3.2.1. Hipótesis de investigación (Hi):

La gradiente óptima, reduce el ciclo de acarreo en la Minera Barrick Misquichilca S.A. -U.E.A. Pierina, año 2018.

3.3. Variables

3.3.1. Variable independiente (x):

Gradiente óptima.

3.3.2. Variable dependiente (y):

Reducción del ciclo de acarreo.

3.3.3. Operacionalización de variables

Nombre de la variable	Dimensiones	Indicadores	Tipo
Gradiente óptima.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pendiente longitudinal máxima (%). ▪ Curvas horizontales (m). ▪ Pendiente transversal (%). ▪ Ancho plataforma (m). ▪ Ancho de calzada (m). ▪ Carpeta estabilizada (cm). ▪ Talud corte, tierra ▪ Talud corte roca ▪ Ancho cuneta (m). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ < 12 ▪ > 30 ▪ 3 - 5 ▪ 30 ▪ 8 25-40 ▪ 1:2 1:4 ▪ 1.5 	Cuantitativo
Reducción del ciclo de acarreo.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Horas totales del equipo (HT) ▪ Horas disponibles del equipo (HD) ▪ Horas del equipo malogrado (HM) ▪ Horas del equipo operativo (horas ready) (HR) ▪ Demora o delay (D) ▪ Stand-by o equipo listo, pero en espera (SB) ▪ Disponibilidad Mecánica o mechanical availability (DM) ▪ Uso de la disponibilidad (UD) ▪ Uso del equipo (USE) ▪ Usaje (Usage) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ > 10 ▪ 12 hrs. ▪ 0 % ▪ 100 % ▪ 15 % 12 hrs. 100 % 100 % 100 % 100 % 	Cuantitativo

Tabla 1: Operacionalización de variables

Fuente: Adaptación propia.

3.4. Metodología de Investigación

3.4.1. Tipo de investigación

Esta tesis tiene como tipo de investigación a la Aplicada, según Alejandro Caballero Romero (2014) ésta busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación. Siendo éste el principal objetivo de la presente tesis ya que a través del diseño geométrico buscamos plantear una alternativa de solución ante el problema de la elección de la gradiente óptima que me ayudará a reducir los tiempos de acarreo.

3.4.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación es descriptivo, según Alejandro Caballero Romero (2014) este nivel responde a la pregunta *¿cómo es la realidad que es objeto de investigación o de estudio?*, realizándose un análisis de datos que se llevarán a cabo sobre el tema, presentando una causa -efecto. En el presente trabajo en estudio se describe el efecto de operar con diferentes gradientes en un mismo lugar de trabajo.

3.4.3. Diseño de investigación

Esta investigación tiene un diseño No experimental-Transversal, según Roberto Hernández Sampieri (2010) ésta podría definirse como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables, es decir, se trata de estudios donde no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. Por ello en la presente investigación no se busca cambiar las gradientes utilizadas en

minas a tajo abierto sino se buscar hallar la gradiente óptima para cada lugar donde se vaya a operar.

3.4.4. Población y muestra.

3.4.4.1. Población

La población está constituida por todos los camiones destinados al acarreo en Unidad Minera Pierina que son un total de 14 unidades; (7 unidades 785C y 7 unidades 785D)

3.4.4.2. Muestra

La muestra está constituida por 4 unidades (camiones Caterpillar). 2 de ellas son del modelo 785C y las restantes 785D, teniendo en consideración que para cada modelo se utilizó un equipo con mayor disponibilidad y otro con menor disponibilidad debido a su antigüedad.

3.4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

La Observación es la técnica utilizada, siendo los instrumentos de recolección los siguientes:

- Cronómetros para la toma de tiempo real en campo.
- Sistema de gestión de flota DISPATCH de Modular Mining, utilizado en mina Pierina.
- Fuentes bibliográficas (libros, informes de tesis, revistas, publicaciones, boletines, etcétera).

3.4.6. Metodología de recolección de datos

La elaboración del presente trabajo de tesis se conformó de dos etapas consistentes en:

- **Trabajo de campo:** Se cronometraron los tiempos de acarreo para distintas gradientes, desde una zona de carga hasta la chancadora primaria o botadero, tomando como referencia un solo modelo de camión para cada muestra.
- **Trabajo de gabinete:** Los datos se registraron, analizaron y procesaron en planillas de Microsoft Excel.

Aquellos datos se complementaron y compararon con los datos obtenidos de las curvas de rimpull de los camiones tomados como muestra.

El uso del software Minesight para el modelamiento y la planificación de mina fue parte fundamental para el diseño de las rampas, aquellas que fueron diseñadas a distintas gradientes para la comparación de tiempos reales de acarreo.

CAPÍTULO IV:

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. *Datos y Procedimiento*

4.1.1. Datos y asunciones

Los parámetros a continuación fueron obtenidos de Mina Pierina para realizar los cálculos correspondientes para hallar la gradiente óptima.

- Altitud de 3800 - 4200 m s. n. m.
- Gradientes: 0 %, 2 %, 4 %, 6 %, 8 %, 10 %, 12 %, 14 %
- Desnivel de 50 m, ya que se trabajó en función a 5 bancos de 10 m de alto.
- Presentación de 2 escenarios:
 - Camión sube cargado y baja vacío (de la zona de carga hasta la chancadora)

- Camión sube vacío y baja cargado (del botadero hasta la zona de carga)
- Derateo por altitud a partir de las tablas del manual de Caterpillar. (Anexo N° 1).
- Resistencia a la Rodadura de 4 %. (Anexo N° 2).

4.1.2. Procedimiento

Para obtener la gradiente óptima se realizará el siguiente procedimiento:

1. Conseguir el peso vacío y cargado del camión Cat 785C.
2. Conseguir los gráficos de rendimiento: Rimpull y Frenado.
3. Como ejemplo comenzaremos a trabajar con gradiente 2 % y con 4 % de resistencia a la rodadura correspondiente al terreno de la mina.
4. Para calcular la resistencia total sumaremos ambos porcentajes obtenidos en el paso anterior.

Tabla 2: Rendimiento de Potencia en subida para gradiente de 2 %

Rendimiento de Potencia	Subida	
	Cargado	Vacio
Peso bruto (Kg)	249480	102150
Porcentaje Gradiente (%)	2	2
Resistencia a la Rodadura (%)	4	4
Resistencia Total (%)	6	6

Fuente: Adaptación Propia.

5. Ubicar el Rimpull en las curvas de rendimiento.
6. Con respecto a la altitud de mina Pierina el derateo será de 9 % según el manual de rendimiento de Caterpillar.
7. Hallar las velocidades de cargado y vacío a partir de las curvas.

8. Hallar el tiempo para las distintas gradientes.
9. Graficar las curvas y encontrar la gradiente óptima.
10. Se efectuará los mismos pasos para cada gradiente en estudio.

4.2. *Modelo Desarrollado*

Aguirre, J. Se modela la transferencia de potencia desde que es generada en el motor hasta que se transmite al convertidor de torque, a la transmisión, al diferencial, a los ejes del camión, hasta que llega a la rueda y se convierte en rimpull en el área de contacto con la superficie del terreno. La clave en el desarrollo del modelo es el cálculo de la aceleración. La aceleración se calcula como:

$$a = \Delta V / \Delta t$$

Cuando Δt se aproxima a cero, en el límite la aceleración promedio se acerca a la aceleración instantánea. Esta aceleración se describe con la siguiente fórmula:

$$a = \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial^2 s}{\partial t^2}$$

Si se conoce la posición (s), la velocidad y la aceleración se pueden obtener por medio de derivación sucesiva con respecto al tiempo. En algunos casos, la relación entre posición y tiempo es difícil de obtener y se deben obtener mediante integración sucesiva de la aceleración. Este es el enfoque usado en el modelo. La determinación de la aceleración instantánea puede ser un proceso complejo ya que la aceleración depende de varios factores que a su vez son funciones integrales de la aceleración. La aceleración cambia constantemente con cambios en estos factores. Para obtener la velocidad hay que resolver una ecuación diferencial que envuelve la aceleración. Esto produce un sistema de ecuaciones diferenciales complicado. Además, la

aceleración depende de las características del equipo y de la ruta. La relación entre estas variables hace que cambios en alguna de ellas afecten las demás. El modelo usa estas relaciones para calcular la aceleración y mediante integración sucesiva se obtienen la velocidad y posición.

El desarrollo del modelo se basa en las siguientes presunciones: 1: Los parámetros de la ruta y del equipo no pueden ser medidos en el campo. 2: El modelo desarrollado presume que el operador siempre va a manejar a la máxima velocidad permisible. Como es posible que este no sea el caso y que nunca se alcance esa velocidad, se necesitan estudios de campo para ajustar el modelo y calibrarlo. 3: Los efectos hidráulicos no fueron modelados explícitamente, habiéndose usado ecuaciones empíricas. 4: Para el frenado se utilizó la desaceleración constante .

El modelo requiere que se especifiquen como insumo las características del camión, las características de la ruta, la velocidad máxima permitida en el segmento, el peso de la carga, y la velocidad permitida al final de la ruta . Las características del camión deben ser descritas y almacenadas en un archivo, y éste debe incluir el peso del camión vacío (kg), la descripción de la curva de potencia, reducciones, eficiencias, número de cambios, *rated* RPM, y la descripción de la ecuación que modela el convertidor de torque. Aquellos interesados en más información sobre el orden y el formato de los parámetros deben referirse a Perdomo (2001).

El modelo fue desarrollado en el ambiente de programación MATLAB, ya que este programa permite resolver sistemas de ecuaciones diferenciales complejas. El modelo empieza por verificar si la velocidad actual es mayor que la velocidad permitida en el segmento. Si éste es el caso, el modelo simula un efecto de frenado. El efecto de frenado es similar al encontrado en programas comerciales, los cuales utilizan una desaceleración constante para simular el frenado. El valor de esta

desaceleración puede ser definido por el usuario. Con este valor se calcula la distancia requerida para frenar y cuándo debe comenzar la simulación de frenado. Una vez esta condición se verifica, el modelo entra en un ciclo o bucle en el cual se efectúa el cálculo de aceleración, velocidad y posición para el camión. Estos cálculos continúan hasta que se alcance la longitud del segmento. Para la solución de la ecuación diferencial se usa un **algoritmo de Runge- Kutta de quinto orden**.

El cálculo de la aceleración se hace tomando en cuenta la velocidad actual y el *rimpull* que se puede generar a esa velocidad. El modelo considera el caso en el cual no hay *rimpull*, o sea cuando el vehículo está en cambio neutral. El modelo calcula valores de revoluciones por segundo (RPS) con la velocidad especificada y utiliza estos valores para hacer interpolaciones y obtener los valores de torque que luego son utilizados para calcular el *rimpull*. Con este valor de *rimpull* se calcula la aceleración usando la siguiente ecuación:

$$Aceleración = \frac{Rimpull \text{ a Velocidad Actual} - GVW * EG * 9.8}{GVW}$$

Donde GVW es el peso del camión incluyendo la carga y EG es la pendiente efectiva = pendiente del terreno + resistencia a rodaje.

Luego de calcular la aceleración, el modelo usa el sistema de ecuaciones diferenciales para obtener la velocidad y posición. Una vez los valores de velocidad y posición se han determinado, el modelo verifica si es necesario cambiar el actual. Para verificar esta condición, el vehículo compara el *rimpull* que puede ser generado en el siguiente cambio contra el *rimpull* que puede generarse en el cambio actual. Si el *rimpull* en el próximo cambio es mayor, hace falta cambiar el cambio. Esto es cuando el vehículo está acelerando. Si el vehículo está tratando de frenar, el modelo

verifica si la fuerza de retardación (*retpul*) que puede proveer el cambio menor al actual es mayor que la potencia en el cambio actual. Si es así, hay un cambio al cambio menor. Antes de realizar cualquier cálculo el modelo verifica que la distancia actual sea menor que la distancia total del segmento. Debido a limitaciones de espacio, no es posible explicar el modelo en el detalle deseado. En la referencia Perdomo (2001) se explica el modelo con más detalle, incluyendo parte del código.

Como resultado principal, el modelo calcula el tiempo de viaje para un camión en la ruta . Además de esto, el modelo genera perfiles de velocidad y distancia y monitorea el rendimiento del equipo a través de la ruta bajo las condiciones especificadas por el usuario. Otros resultados incluyen las curvas de torque, *rimpull*, y la curva de potencias de retardación generadas de la información provista por el usuario. Además de esto, el modelo prepara una tabla con información sobre el rendimiento del camión en el segmento. Esta tabla incluye el número de segmento, la distancia, la velocidad y el cambio de entrada al segmento, la velocidad y el cambio al final del segmento, la velocidad máxima en el segmento y el tiempo de viaje en el segmento. Las Figuras 3 a 5 y la Tabla 3 presentan un ejemplo de estos resultados.

4.3. Interpretación de las curvas de rendimiento para los camiones CAT 785C y 785D

El procedimiento que se sigue en los gráficos de rendimiento es similar para todos los camiones Caterpillar. A continuación, se indicará los pasos correspondientes para ubicar el Rimpull y las velocidades correspondientes por gradiente para el camión Cat 785C.

4.3.1. Rimpull

El Rimpull es la cantidad de fuerza ejercida en la zona de contacto entre el vehículo y el suelo. Esta fuerza es usualmente expresada en Newtons o Libras fuerza.

Cuando un camión se traslada a una velocidad constante se puede calcular el Rimpull (“Fuerza de empuje”) de la siguiente manera:

$$\text{Rimpull} = (GVW \times \text{Pendiente}) + (GVW \times R.R)$$

GVW: “*Gross Vehicle Weight*”. Peso Bruto del Equipo. Es decir el peso total del equipo (operador incluido).

Pendiente: “*Gradient*”. Expresado en porcentaje del peso del equipo.

R.R: “*Rolling Resistance*”. Resistencia a la rodadura. Expresado en porcentaje en peso del equipo, representa la cantidad de fuerza que requiere el equipo para moverse en un terreno plano.

También se puede expresar como:

$$\text{Rimpull} = GVW \times (\text{Pendiente} + R.R) = GVW \times T.R$$

T.R: “*Total Resistance*”. Resistencia total. Expresado en porcentaje en peso del equipo, representa la cantidad de fuerza que requiere el equipo para moverse en un terreno con pendiente positiva.

4.3.2. Rendimiento de Potencia:

Es la capacidad de subida con respecto a una determinada gradiente y para hallarla se procede de la siguiente manera:

Desde el peso bruto del camión (cargado: 249480 kg - vacío: 102150 kg) se traza una línea recta hacia abajo hasta que corte a la recta del porcentaje de resistencia total.

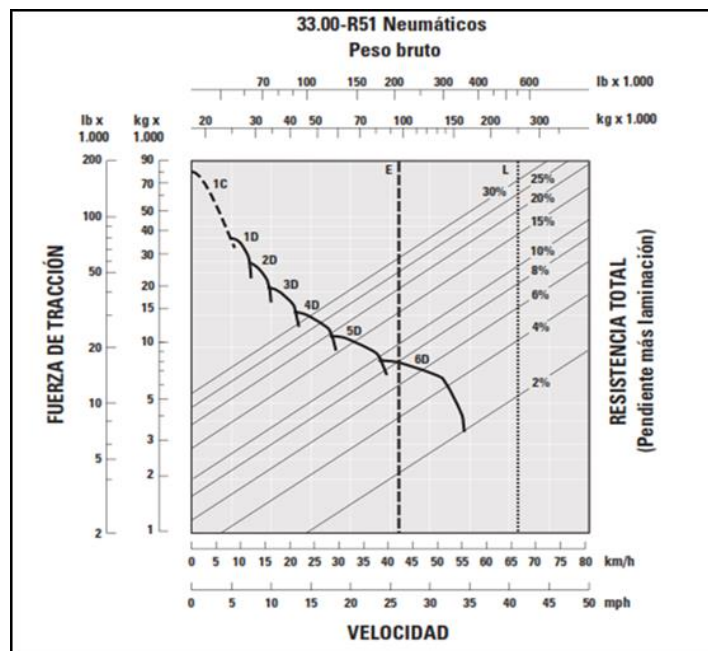


Figura 4: Peso bruto vacío y cargado del camión 785C.
Fuente: Handbook de Caterpillar, Edición traducida 2010.

Desde el punto de corte entre el peso y la resistencia total, se traza horizontalmente una línea hacia el Rimpull, conocido también como fuerza de tracción.

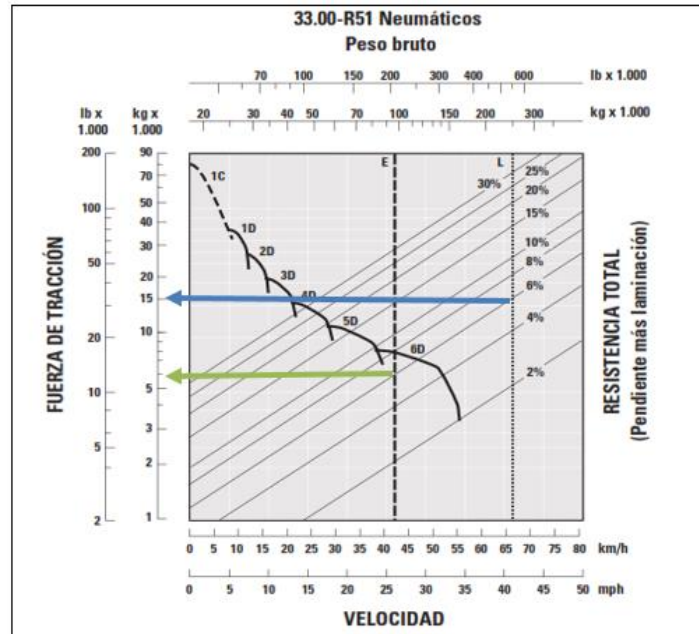


Figura 5: Ilustración para hallar el Rimpull requerido.
Fuente: Adaptación propia en base al Handbook de Caterpillar, Edición traducida 2010.

Debemos tener en consideración que este no será el Rimpull real puesto que estamos a una altura de 3800 m s. n. m.

Por consiguiente, se aplicará el derateo, el cual tenemos que dividir el valor del Rimpull que nos da el gráfico anterior por el porcentaje de la potencia total disponible en la altitud requerida (3800 m s. n. m.), dando como resultado el valor real del Rimpull.

Tabla 3: Rimpull real requerido

Rendimiento de Potencia	Subida	
	Cargado	Vacio
Rimpull (ton)	15.00	5.90
Derrateo (%)	9.00	9.00
Rimpull Requerido (ton)	16.48	6.48

Fuente: Adaptación propia

Este valor se ubicará en el gráfico y se trazará horizontalmente hasta intersectar con la curva de rendimiento.

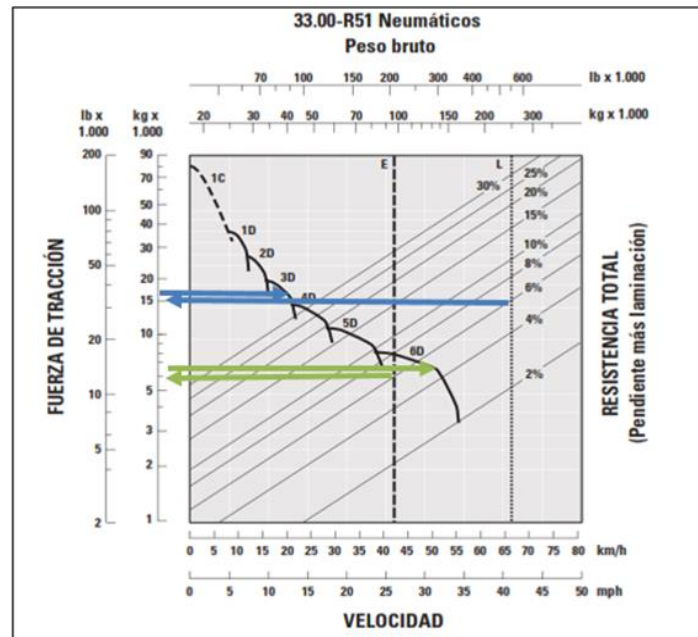


Figura 6: Rimpull/Curvas de rendimiento.
Fuente: Adaptación propia en base al Handbook de Caterpillar, Edición traducida 2010.

Luego se descenderá verticalmente para obtener las velocidades correspondientes.

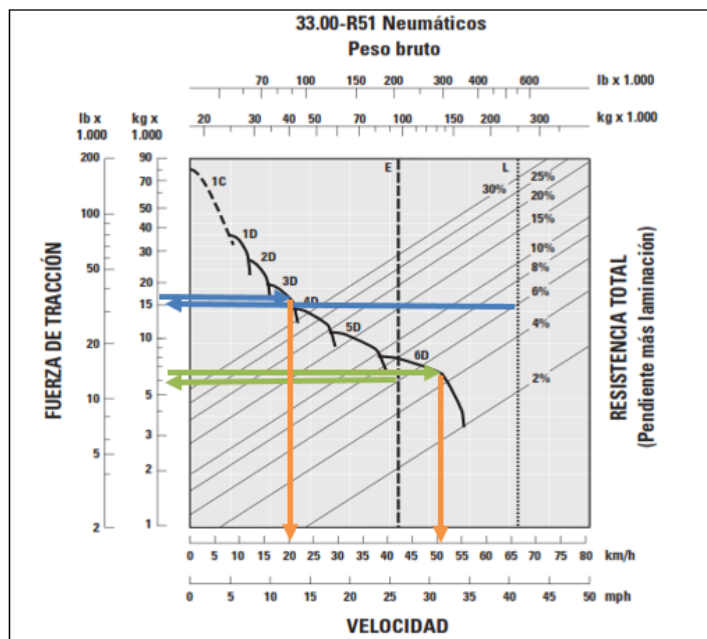


Figura 7: Velocidades en subida para una gradiente de 2 %
Fuente: Adaptación propia en base al Handbook de Caterpillar, Edición traducida 2010.

Tabla 4: Velocidades para camión CAT 785C cargado y vacío para una gradiente de 2 % en subida.

Rendimiento de Potencia	Subida	
	Cargado	Vacio
Velocidad	20	51

Fuente: Adaptación propia.

4.3.3. Rendimiento de Retardo:

Es la capacidad de bajada con respecto a una determinada gradiente y para hallarla se procede de la siguiente manera:

Desde el peso bruto del camión 785C se traza una línea recta hacia abajo hasta que corte a la recta de porcentaje de pendiente efectiva.

Desde el punto de corte entre el peso y la pendiente efectiva, se trazará una línea de forma horizontal hasta intersectar la curva de velocidad de rendimiento de frenado, para luego descender verticalmente hasta obtener la velocidad de descenso máxima que los frenos pueden soportar sin exceder su capacidad de refrigeración.

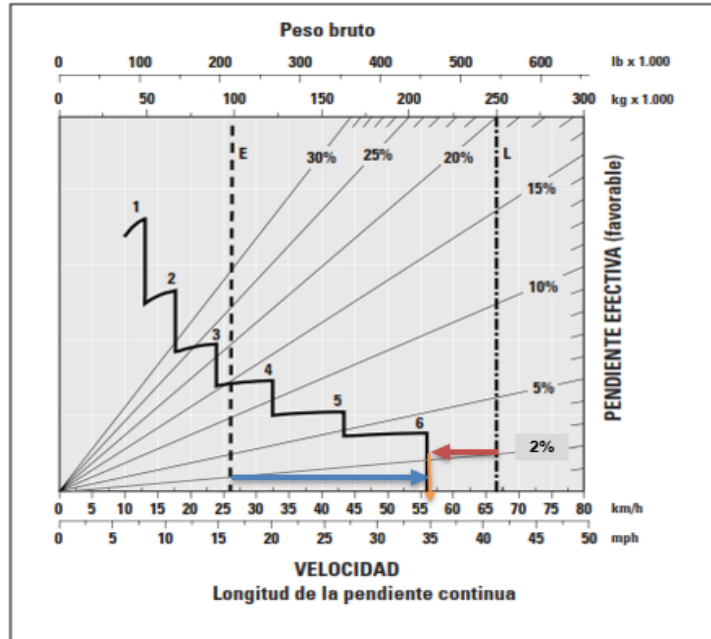


Figura 8: Velocidad de descenso máximo para gradiente 2 %

Fuente: Adaptación propia en base al Handbook de Caterpillar, Edición traducida 2010.

Tabla 5: Rendimiento de frenado.

Rendimiento de Frenado	Bajada	
	Cargado	Vacio
Peso Bruto (Kg)	249480	102150
Gradiente (%)	2	2
Resistencia a la Rodadura (%)	4	4
Pendiente Efectiva	2	2
Velocidad	56	56

Fuente: Adaptación propia.

4.4. Resumen de Resultados para Camiones CAT 785C y 785D

4.4.1. Gradiente óptima para un desnivel de 50 m (camión CAT 785C)

4.4.1.1. Primer escenario: Ascenso cargado y descenso vacío del camión CAT 785C

Tabla 6: Velocidades (km/h) CAT 785C – Primer escenario

VELOCIDADES		
%	Subida Cargado	Bajada Vacío
2	20	56
4	14.5	56
6	12	56
8	10	56
10	9	56
12	6.5	43
14	6	32.5

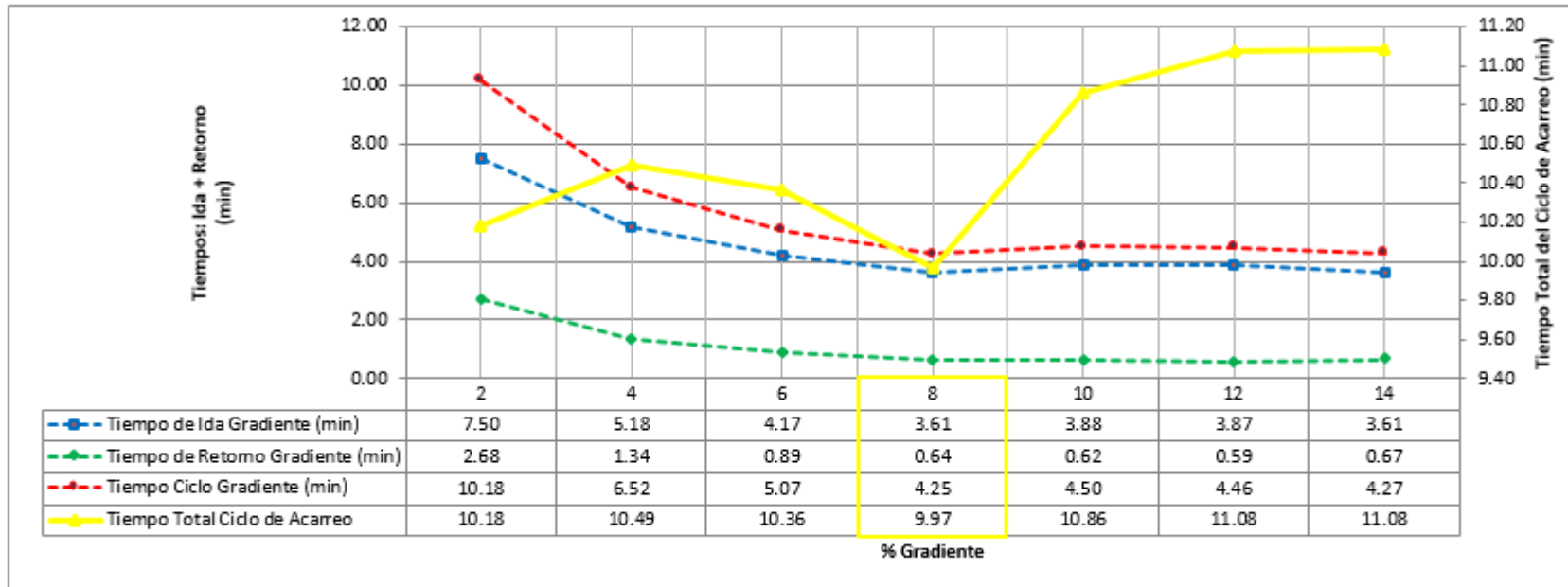
Fuente: Adaptación propia

Tabla 7: Distancia - tiempo CAT 785C – Primer escenario

Gradiente Optima para un desnivel de 50 mt (Sube Cargado - Baja Vacío)													
%	Desnivel (Km)	Dist. Recorrido Gradiente (Km)	Dist. Horizontal	Dist. Recorrido Horizontal	Dist. Recorrido Total	Tiempo de Ida Gradiente (min)	Tiempo Ida Horizontal	Tiempo Total de Ida	Tiempo de Retorno Gradiente (min)	Tiempo Retorno Horizontal	Tiempo Total de Retorno	Tiempo Total Ciclo de Acarreo	Tiempo Ciclo Gradiente (min)
2	0.05	2.500	2.500	0.00	2.500	7.50	0.00	7.50	2.68	0.00	2.68	10.18	10.18
4	0.05	1.251	1.250	1.25	2.501	5.18	2.63	7.81	1.34	1.34	2.68	10.49	6.52
6	0.05	0.835	0.833	1.67	2.501	4.17	3.51	7.68	0.89	1.79	2.68	10.36	5.07
8	0.05	0.601	0.625	1.80	2.401	3.61	3.79	7.40	0.64	1.93	2.57	9.97	4.25
10	0.05	0.582	0.500	2.00	2.582	3.88	4.21	8.09	0.62	2.14	2.77	10.86	4.50
12	0.05	0.420	0.417	2.08	2.503	3.87	4.39	8.26	0.59	2.23	2.82	11.08	4.46
14	0.05	0.361	0.357	2.14	2.503	3.61	4.51	8.12	0.67	2.30	2.96	11.08	4.27

Fuente: Adaptación propia

Gráfico N°1: Gradiente óptima según tiempo total de acarreo - CAT 785C



Fuente: Adaptación propia

4.4.1.2. Segundo escenario: Ascenso vacío y descenso cargado del camión Cat 785C

Tabla 8: Velocidades (km/h) CAT 785C – Segundo escenario

VELOCIDADES		
%	Subida Vacío	Bajada Cargado
2	51	56
4	37.5	56
6	29	56
8	27.5	43
10	22	33
12	21	24
14	18	17.5

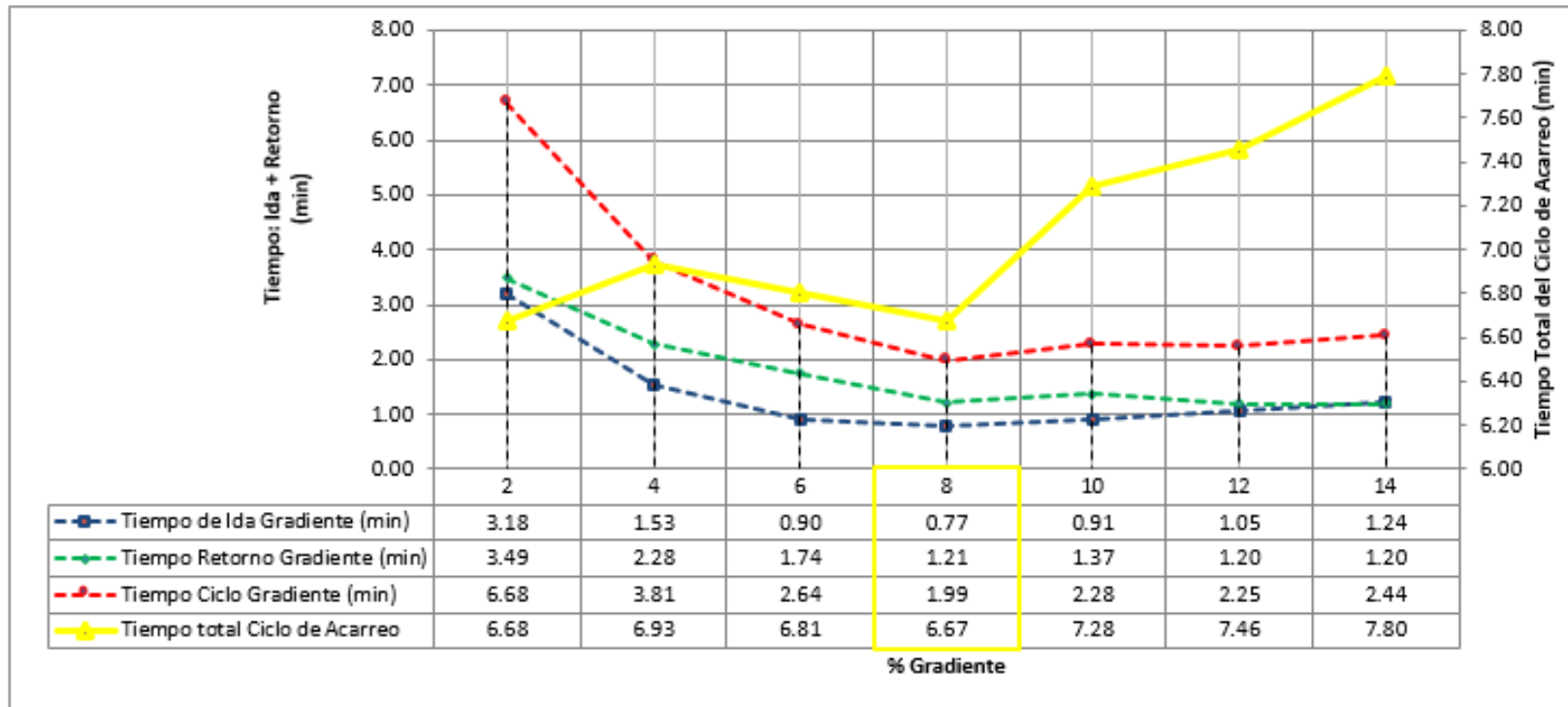
Fuente: Adaptación propia

Tabla 9: Distancia - tiempo CAT 785C – Segundo escenario

Gradiente Optima para un desnivel de 50 mt (Sube Vacío - Baja Cargado)													
%	Desnivel (Km)	Dist. Recorrido Pendiente (Km)	Dist Horizontal	Dist. Recorrido Horizontal	Dist. Recorrido Total	Tiempo de Ida Gradiente (min)	Tiempo Ida Horizontal	Tiempo Total de Ida	Tiempo Retorno Gradiente (min)	Tiempo Retorno Horizontal	Tiempo Total de Retorno	Tiempo total Ciclo de Acarreo	Tiempo Ciclo Gradiente (min)
2	0.05	2.97	2.50	0.00	2.970	3.18	0.00	3.18	3.49	0.00	3.49	6.68	6.68
4	0.05	1.43	1.25	1.25	2.675	1.53	1.74	3.27	2.28	1.38	3.66	6.93	3.81
6	0.05	0.84	0.83	1.67	2.507	0.90	2.33	3.23	1.74	1.84	3.58	6.81	2.64
8	0.05	0.56	0.63	1.88	2.430	0.77	2.62	3.39	1.21	2.07	3.28	6.67	1.99
10	0.05	0.50	0.50	2.00	2.502	0.91	2.79	3.70	1.37	2.21	3.58	7.28	2.28
12	0.05	0.42	0.42	2.08	2.503	1.05	2.91	3.96	1.20	2.30	3.50	7.46	2.25
14	0.05	0.36	0.36	2.14	2.503	1.24	2.99	4.23	1.20	2.37	3.57	7.80	2.44

Fuente: Adaptación propia

Gráfico N°2: Gradiente óptima según tiempo total de acarreo- CAT 785C



Fuente: Adaptación propia

4.4.2. Gradiente óptima para un desnivel de 50 m (camión CAT 785D)

4.4.2.1. Primer escenario: Ascenso cargado y descenso vacío del camión Cat 785D

Tabla 10: Velocidades (km/h) CAT 785D – Primer escenario

VELOCIDADES		
%	Subida Cargado	Bajada Vacío
2	16	57
4	15	57
6	12	57
8	10	57
10	6.5	57
12	6	42
14	4	31

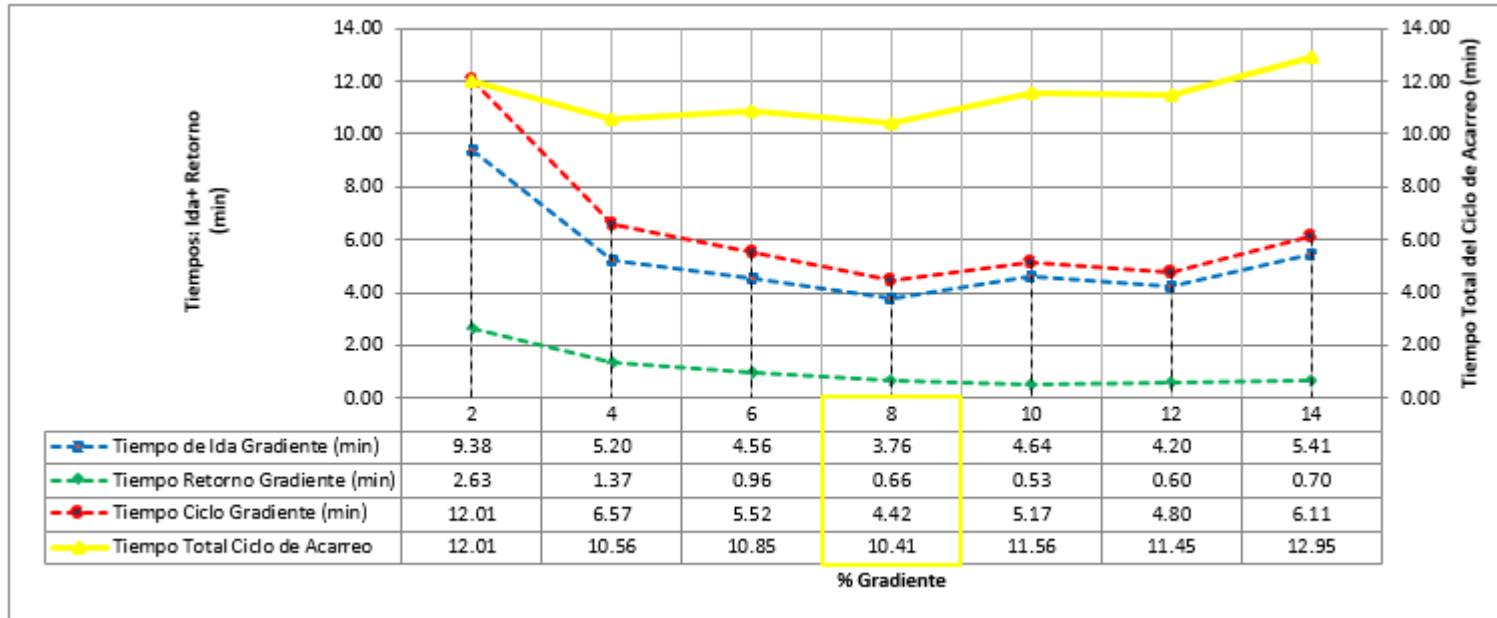
Fuente: Adaptación propia

Tabla 11: Distancia - tiempo CAT 785D – Primer escenario

Gradiente Optima para un desnivel de 50 mt (Sube Cargado - Baja Vacío)													
%	Desnivel (Km)	Dist. Recorrido Gradiente (Km)	Dist. Horizontal	Dist. Recorrido Horizontal	Dist. Recorrido Total	Tiempo de Ida Gradiente (min)	Tiempo Ida Horizontal	Tiempo Total de Ida	Tiempo Retorno Gradiente (min)	Tiempo Retorno Horizontal	Tiempo Total de Retorno	Tiempo Total Ciclo de Acarreo	Tiempo Ciclo Gradiente (min)
2	0.5	2.500	2.500	0.00	2.500	9.38	0.00	9.38	2.63	0.00	2.63	12.01	12.01
4	0.5	1.300	1.250	1.25	2.550	5.20	2.68	7.88	1.37	1.32	2.68	10.56	6.57
6	0.5	0.912	0.833	1.67	2.579	4.56	3.57	8.13	0.96	1.75	2.71	10.85	5.52
8	0.5	0.627	0.625	1.88	2.502	3.76	4.02	7.78	0.66	1.97	2.63	10.41	4.42
10	0.5	0.502	0.500	2.00	2.502	4.64	4.29	8.92	0.53	2.11	2.63	11.56	5.17
12	0.5	0.420	0.417	2.08	2.503	4.20	4.46	8.66	0.60	2.19	2.79	11.45	4.80
14	0.5	0.361	0.357	2.14	2.503	5.41	4.59	10.00	0.70	2.26	2.95	12.95	6.11

Fuente: Adaptación propia

Gráfico N°3: Gradiente óptima según tiempo total de acarreo- CAT 785D



Fuente: Adaptación propia

4.4.2.2. Segundo escenario: Ascenso vacío y descenso cargado del camión Cat 785D

Tabla 12: Velocidades (km/h) CAT 785D – Segundo escenario

VELOCIDADES		
%	Subida Vacío	Bajada cargado
2	37.5	57
4	28	57
6	27	57
8	21	42
10	20	31
12	15	23
14	12	17

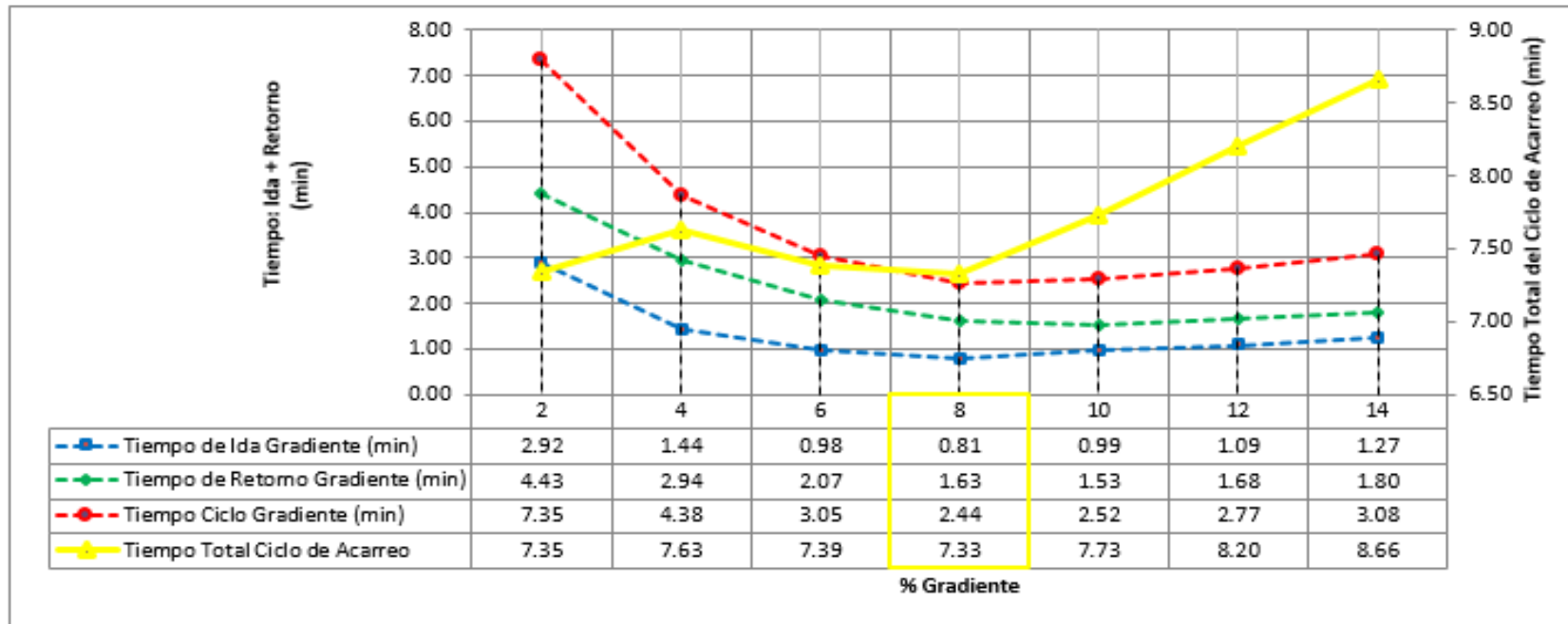
Fuente: Adaptación propia

Tabla 13: Distancia - tiempo CAT 785D – Segundo escenario

Gradiente Optima para un desnivel de 50 mt (Sube Vacío - Baja Cargado)													
%	Desnivel (Km)	Dist. Recorrido Gradiente (Km)	Dist Horizontal	Dist. Recorrido Horizontal	Dist. Recorrido Total	Tiempo de Ida Gradiente (min)	Tiempo Ida Horizontal	Tiempo Total de Ida	Tiempo de Retorno Gradiente (min)	Tiempo Retorno Horizontal	Tiempo Total de Retorno	Tiempo Total Ciclo de Acarreo	Tiempo Ciclo Gradiente (min)
2	0.5	2.77	2.50	0.00	2.770	2.92	0.00	2.92	4.43	0.00	4.43	7.35	7.35
4	0.5	1.37	1.25	1.25	2.620	1.44	1.79	3.23	2.94	1.47	4.41	7.63	4.38
6	0.5	0.93	0.83	1.67	2.597	0.98	2.38	3.36	2.07	1.96	4.03	7.39	3.05
8	0.5	0.57	0.63	1.88	2.445	0.81	2.68	3.49	1.63	2.21	3.83	7.33	2.44
10	0.5	0.51	0.50	2.00	2.510	0.99	2.86	3.84	1.53	2.35	3.88	7.73	2.52
12	0.5	0.42	0.42	2.08	2.503	1.09	2.98	4.07	1.68	2.45	4.13	8.20	2.77
14	0.5	0.36	0.36	2.14	2.503	1.27	3.06	4.33	1.80	2.52	4.32	8.66	3.08

Fuente: Adaptación propia

Gráfico N°4: Gradiente óptima según tiempo total de acarreo- CAT 785D



Fuente: Adaptación propia

4.5. *Discusión de Resultados*

En mina Pierina se trabajaba con gradientes menores al 12 % respetando el reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, el inconveniente es que no hay un criterio en planificación establecido para diseñar las rampas con una determinada gradiente, ésta responsabilidad ha sido por mucho tiempo del supervisor o jefe de guardia, en la que por experiencia o comodidad escogían la gradiente según ellos creían conveniente, en base a esa deficiencia se realizó esta tesis de investigación, en la que a través de un estudio y comparación de tiempos se pudo llegar a la conclusión de que para rampas temporales la gradiente óptima es de un 8 % y para rampas permanentes, aquellas que se quedarán hasta el fin de la mina su gradiente óptima es de 10 %. Con este resultado se puede diseñar bajo un criterio operacional y sobre todo bajo un criterio planificado ya que este repercute en el cumplimiento de material movido, onzas recuperadas, y disminución de gastos de mantenimiento.

CONCLUSIONES

- 1) La gradiente óptima para reducir el ciclo de acarreo es de un 8 % para rampas temporales ya que en ellas se busca controlar las velocidades y el derrape de los camiones ya sean cargados o vacíos, pero para rampas permanentes éstas deberán tener un gradiente de 10 % ya que ésta al quedarse hasta el final de la vida de la mina deberá impactar lo menos posible con la recuperación de mineral (a mayor gradiente menor el impacto), ya que para su diseño se requiere de menor espacio y por ende la zona que se encuentra fuera del diseño podrá ser movida y transportada para su respectivo chancado y obtención del dore (aleación de oro y plata) producido por la U.E.A. Pierina.
- 2) Se incrementó los rendimientos de producción de los camiones CAT 785C y 785D en un 5 % ya que es consecuencia de la reducción del tiempo (en segundos) de acarreo.
- 3) Se incrementó la vida útil de los neumáticos, a través de las mejoras en el diseño geométrico de las rampas que conforman las vías de la unidad minera, como consecuencia secundaria a este mismo criterio se incrementó la disponibilidad de los camiones, reportado por el área de mantenimiento mina ya que se apreció un desgaste menor en sus neumáticos, no solo de los camiones sino también en lo equipos auxiliares.
- 4) Se aseguró el límite de velocidad (60 km/h) en base a estudios técnicos de tracción y derateo, datos que fueron dados por el Handbook de Caterpillar, esta velocidad es la máxima permitida en la unidad minera Pierina.
- 5) Como consecuencia de la optimización de la gradiente se obtuvo menor riesgo de derrapes y colisiones, brindando seguridad y confianza a nuestros operadores ya que

al cumplir con las normas de seguridad que involucra el adecuado diseño de las vías (ancho, alto y gradiente), el personal se siente considerado y respetado por la compañía ya que se preocupa por su bienestar física y mental.

RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda usar 8 % como gradiente óptima en vías temporales para la unidad minera Pierina y para minas en condiciones similares de explotación ya que como se muestra en la presente investigación este repercute en aumentos de producción, rendimientos, disponibilidad y recuperación de mineral que conforman un eslabón importante en el cumplimiento de lo planificado al iniciar las operaciones en una mina.
- 2) En vías permanentes dentro del tajo y depósito de descarga de Mina Pierina, la gradiente que se recomienda es del 10 %, ya que sus tiempos de demora se encuentran dentro del límite permitido pero a la vez evitará la disminución de movimiento de material y por ende el porcentaje de recuperación de mineral.
- 3) Debido a que se trabajó con datos secundarios para la obtención de criterios fundamentados y conceptos claros, se recomienda que utilicen la presente tesis como base de información para desarrollar investigaciones experimentales con el uso de datos primarios para de esta manera trabajar de manera correcta, demostrando profesionalismo y un comportamiento ético cualidades de los que servimos al vehemente sector minero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bazán, C.A. (2016). *Cálculo del número de unidades de la flota de camiones en el tajo abierto San Gerardo, perteneciente a la compañía Minera Atacocha*, Universidad Continental, Facultad de Ciencia de Ingeniería, EAPIM. Huancayo - Perú.
- Caterpillar. (2017). *Performance Handbook Edition 40*. Peoria, Illinois - U.S.A.
- Dr. Peter N. Calder. (s.f.). *"Tópicos de Ingeniería en Minas a Rajo Abierto"*.
- Gordillo S. L. (2007). *Tesis "Evaluación de los impactos ambientales y plan de cierre de mina en minera Barrick Misquichilca - Pierina"*, Universidad Nacional de Ingeniería, FIGMM. Lima - Perú.
- Hernández, R. (2010). *Metodología de la Investigación, Edición 5*. D.F-México.
- Caballero, A (2014). *Metodología integral innovadora para planes y tesis*. D.F-México.
- Lopez, J. y Bustillo R. (1997). *Manual de Evaluación y Diseño de Explotaciones Mineras*, cap. 8 pág. 308. Madrid - España.
- Manrique, Z.D. (2010). *Geología estructural del neógeno en la cordillera negra, implicancias en el origen y estabilidad de taludes del yacimiento aurífero epitermal de alta sulfuración: Pierina*, UNI - FIGMM, seccion de pos grado. Lima - Perú.
- Olazabal, M.J. (2014). *Tesis "Estudio del cálculo de flota de camiones para una operación minera a cielo abierto"*, Pontificia Universidad católica del Perú, Facultad de ciencias e Ingeniera. Lima – Perú.
- Reymer, M.D. (2013). *Tesis "Gestión del sistema de despacho para la optimización del ciclo de acarreo en la unidad minera Lagunas Norte Cía. minera Barrick Misquichilca"*, Universidad Nacional de San Agustín, FGGyM. Arequipa – Perú.
- Ruiz, Y. (2004). *Sistemas de Gestion ambiental Pierina. Barrick, (pág. 104)*. Lima.

- Saldaña, T.A. (2013). *“Productividad en el ciclo de carguío y acarreo en el tajo Chaquicocha bajo clima severo – minera Yanacocha”*, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica. Lima - Perú.
- Tecnología Minera. (2014). *Mina Pierina, Barrick Misquichilca. Tecnología Minera*, 22 - 26.
- Thenoux Z.G., Halles A.F., González V.A. . (2002). *Guía de diseño estructural de pavimentos para caminos de bajo volumen de tránsito*, PUC de Chile. Santiago - Chile.
- Ticona, C.E. y Choque, M.P. . (2016). *“Evaluación del diseño geométrico del camino de carga pesada (Heavy Haul Road) proyecto minero las Bambas - Paquete 03”*, Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura. Puno - Perú.
- Vasquez, S., Farfan, J., & Carlotto, V. . (2015). *Investigación geológica e hidrogeológica en el distrito de Jangas - Huaraz: como soporte técnico en los conflictos socioambientales*. PERUMIN, 32 Convención Minera. Arequipa - Perú.
- Aguirre, J. (s.f.). *Modelo para estimar la productividad de camiones usados para movimiento de tierra en obras de infraestructura*.
- Perdomo, J. (2001). *Detailed Haul Unit Performance Model*, Master of Science Thesis, Virginia Tech. Blacksburg – Virginia.

ANEXOS

ANEXO N°01: Derateo por altitud según modelo de camiones

MODEL	0-760 m (0-2500')	760-1500 m (2500-5000')	1500-2300 m (5000-7500')	2300-3000 m (7500-10,000')	3000-3800 m (10,000-12,500')	3800-4600 m (12,500-15,000')
770◀	100	100	100	100-96	96-87	87-79
772◀	100	100	100	100-98	98-87	87-77
773F◀	100	100	100	100-97.9	97.9-94.7	94.7-91.7
775F◀	100	100	100	100	100	100-98.6
777D◀	100	100	100-99.5	99.5-94	94-90	90-85
777E◀	100	100	100	100	100-99.5	99.5-91*
785C◀	100	100	100	100	100-93	93-85
785D◀	100	100	100	100	100	100-97
789C◀	100	100	100	100-92.5	92.5-85	85-77.5
789C HAA◀	100	100	100	100	100	100-98.5
793C*◀	100	100	100	100	100	93
793D◀	100	100	100	100-95.5	95.5-88	88-80.5]
793D HAA◀	100	100	100	100	100-98.5	98.5-91
793F◀	100	100	100	100	100-93.3	93.3-80
793F HAA◀	100	100	100	100	100	100
797F◀	100	100	100-98.5	98.5-91.2	91.2-85.1	85.1-79.3
797F HAA◀	100	100	100	100	100	100

Fuente: Caterpillar Performance, Edition 40, Tables, p. 1429

ANEXO N°02: Resistencia a la rodadura

TERRENO	% DE RESISTENCIA A LA RODADURA *			
	NEUMÁTICOS		CADENA**	CAD.+NEUMAT.
	Telas	Radiales		
Camino muy duro y liso de hormigón, asfalto frío o tierra, sin penetración ni flexión de los neumáticos	1.5 %*	1.2%	0	1
Camino estabilizado, pavimentado, duro y liso que no cede bajo el peso, regado y conservado	2 %	1.7%	0	1.2%
Camino firme y liso, de tierra o capa ligera, que cede un poco bajo carga o irregular, conservado con regularidad, regado	3%	2.5 %	0	1.8%
Camino de tierra, desigual o que flexiona bajo carga, conservado irregularmente, sin regar, flexión o penetración de los neumáticos de 25 mm (1")	4%	4%	0%	2.4%
Camino de tierra, desigual o que flexiona bajo carga, conservado irregularmente, sin regar, flexión o penetración de los neumáticos de 50 mm (2")	5%	5%	0%	3%
Camino irregular, blando, sin conservación, sin estabilizar, flexión o penetración de los neumáticos de 100 mm (4") Arena o grava suelta	8% 10%	8% 10%	0% 2%	4.8% 7%
Camino irregular, blando, sin conservación, sin estabilizar, flexión o penetración de los neumáticos de 200 mm (8")	14%	14 %	5%	10%
Camino muy blando, fangoso, irregular, sin flexión pero con penetración de neumáticos de 300 mm (12")	20%	20%	8%	15%

Fuente: Caterpillar Performance Handbook, Edition 40, Tables, p. 14

ANEXO N°03: Camión bajando vacío por una pendiente de 8 % de gradiente



Fuente: Adaptación propia

ANEXO N°04: Camión subiendo cargado por una pendiente de 8 % de gradiente



Fuente: Adaptación propia