

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE SOBRE RIELES CON**

**LOCOMOTORA A BATERIAS EN LA MINA ARCATA**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**PRESENTADO POR:**

**CESAR GUSTAVO LEON MUÑOZ**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO – PERÚ**

**2019**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

**IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE SOBRE RIELES  
CON LOCOMOTORA A BATERIAS EN LA MINA ARCATA**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PRESENTADO POR:**

**CESAR GUSTAVO LEON MUÑOZ**

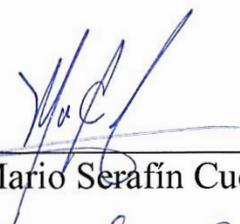
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**APROBADO POR:**

**PRESIDENTE**

:

  
M.Sc. Ing. Mario Serafín Cuentas Alvarado

**PRIMER MIEMBRO**

:

  
Ing. Owal Alfredo Velasquez Viza

**SEGUNDO MIEMBRO**

:

  
Ing. Juan Carlos Chayña Contreras

**TEMA:** Transporte subterráneo sobre rieles

**ÁREA:** Ingeniería de Minas

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 08 de Noviembre del 2019

## DEDICATORIA

*A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.*

*A mi madre Lucia Muñoz Ticona, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.*

*A mi padre Nicolás León Chino, por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.*

## AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional del Altiplano Puno por ser la casa de estudio que me brindó la oportunidad de formarme profesionalmente, con los conocimientos y enseñanzas aportados por todos los docentes que conforman esta prestigiosa casa de estudio.

Agradezco a los docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas, que fueron parte de mi formación académica-profesional, y que estuvieron siempre dispuestos a responder mis preguntas y aclarar mis dudas, impartiendo conocimiento y experiencias que fueron vitales en mi aprendizaje.

Finalmente, mi agradecimiento al personal de la Unidad Minera Arcata – CIA Ares, por haberme brindado la oportunidad de realizar el presente trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

TÍTULO .....	9
AUTOR, AFILIACIÓN Y DIRECCIÓN INSTITUCIONAL .....	9
RESUMEN .....	9
PALABRAS CLAVE .....	9
1. INTRODUCCIÓN .....	10
2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	11
2.1 Cálculo general: .....	13
2.2 Cálculo de fuerza requerida en el gancho de arrastre (DEP): .....	13
2.3 Cálculo del peso mínimo de la locomotora requerida ( $L_w$ ): .....	14
2.4 Cálculo de potencia requerida (P): .....	14
2.5 Cálculo de libraje de riel necesario para carga del convoy .....	14
2.6 Diseño de línea cauville: .....	15
3. RESULTADOS .....	17
4. DISCUSIÓN .....	18
5. CONCLUSIONES .....	19
6. REFERENCIAS .....	19

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Plan de producción veta Túnel 4 año 2016 .....	12
<b>Tabla 2:</b> Datos generales .....	13
<b>Tabla 3:</b> Valores de resistencia.....	13
<b>Tabla 4:</b> Rendimiento real del sistema de transporte sobre rieles .....	17
<b>Tabla 5:</b> Monitoreo caudal de aire Túnel 4 Nivel 4565 antes del proyecto .....	17
<b>Tabla 6:</b> Monitoreo caudal de aire Túnel 4 Nivel 4565 después del proyecto.....	18
<b>Tabla 7:</b> Análisis comparativo entre vetas. ....	19

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Distribución de tajos y recorrido de locomotora.....	13
<b>Figura 2:</b> Relación de carga máxima en las ruedas vs peso de la riel.....	15
<b>Figura 3:</b> Diseño de la estación de carga de baterías.....	15
<b>Figura 4:</b> Diseño del sistema de volteo de carros mineros.....	16
<b>Figura 5:</b> Diseño del taller de mantenimiento de locomotora.....	16

## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>BP:</b>	Labor minera de By Pass.
<b>CFM:</b>	Cubic Feet Minute. Pies Cúbicos por minuto.
<b>Cm:</b>	Centímetros.
<b>DS:</b>	Decreto supremo.
<b>EM:</b>	Energía y minas.
<b>H.R (%):</b>	Porcentaje de Humedad Relativa.
<b>HP:</b>	Horse power, Caballos de fuerza.
<b>Hr(s):</b>	Hora(s).
<b>I/S:</b>	Ingreso y Salida.
<b>Kg:</b>	Kilogramos.
<b>Km:</b>	Kilómetros.
<b>Lb(s):</b>	Libra(s).
<b>M:</b>	Metros.
<b>NV:</b>	Nivel.
<b>Oz:</b>	Onzas.
<b>PPM:</b>	Partes por millón.
<b>Ton:</b>	Tonelada(s).
<b>Und:</b>	Unidades.
<b>Vel:</b>	Velocidad.
<b>Yd3:</b>	Yardas Cubicas.

## **Implementación del sistema de transportes sobre rieles con locomotora a baterías en la mina Arcata**

Bach. César Gustavo, León Muñoz

Universidad Nacional del Altiplano - Puno, Facultad de ingeniería de minas, Av. Floral 1153  
Ciudad universitaria, cgleon@gmail.com

---

### **Resumen**

La mina Arcata para el plan de minado del 2016 implementó una serie de proyectos para contar con una producción sostenida de tal forma garantizar el futuro de la mina. El proyecto de la veta Túnel 4 tenía dificultades para su preparación y explotación ya que se tiene una excesiva distancia de recorrido del mineral con un sistema trackless que retrasa los ciclos de minado. El acceso principal es un by pass de sección 2.50 x 2.50 metros y una longitud de 1500 metros el cual restringe el ingreso de equipos de mayor capacidad, a su vez se tiene deficiencia en la ventilación por la combustión de los equipos a diésel. El objetivo de la presente investigación es dar a conocer los beneficios de la implementación del sistema de transporte de material sobre rieles, puesto que el transporte y acarreo de material son variables que influyen significativamente en la optimización de ciclos de minado y la mejora de las condiciones de ventilación. El estudio se desarrolló sobre el método de investigación deductivo, de tipo descriptivo y diseño no experimental; recolectando los datos en campo y realizando los cálculos de los principales componentes del sistema de transporte sobre rieles. Para comprobar el éxito de la implementación del transporte sobre rieles se calculó el rendimiento real de la locomotora el cual cumple con la premisa de mover 410.40 Ton/día con una utilización del 63%, consecuentemente se logró una mejora en las condiciones de ventilación mejorando en un 42.62% la velocidad del aire que se tenía.

### **Palabras clave:**

**Ventilación; Ciclo de minado; sistema trackless; locomotora.**

---

## **Implementation of the rail transport system with battery locomotive in the Arcata mine**

### **Abstract**

The Arcata mine for the 2016 mining plan implemented a series of projects to have sustained production in order to guarantee the future of the mine. The Túnel 4 vein project had difficulties in its preparation and exploitation since there is an excessive distance of travel of the mineral with a trackless system that delays the mining cycles. The main access is a bypass of section 2.50 x 2.50 meters and a length of 1500 meters which restricts the entry of equipment of greater capacity, in turn there is a deficiency in ventilation due to the combustion of diesel equipment. The objective of this research is to present the benefits of the implementation of the material transport system on rails, since the transport and hauling of material are variables that significantly influence the optimization of mining cycles and the improvement of conditions of ventilation. The study was developed on the method of deductive research, descriptive type and non-experimental design; collecting data in the field and calculating the main components of the rail transport system. To verify the success of the implementation of rail transport, the real performance of the locomotive was calculated, which complies with the premise of moving 410.40 Ton / day with a use of 63%, consequently an improvement in ventilation conditions was achieved by improving 42.62% the speed of the air that was had.

### **Keywords:**

**Ventilation; Mining cycle; trackless system; locomotive.**

## 1. Introducción

La Unidad Operativa Arcata perteneciente a CIA minera Ares ubicada en el distrito de Cayarani, provincia de Condesuyos, departamento de Arequipa tiene como objetivos generar rentabilidad a sus accionistas para lo cual desarrolla proyectos en sus operaciones mineras a fin de ser más selectivos en la explotación para mantener una producción sostenida, con los más altos estándares de calidad, seguridad y con los costos más competitivos del mercado.

En la mina Arcata se explota la plata y oro en vetas angostas de 0.80 a 1.20 metros de potencia en promedio, con un método de explotación de corte y relleno convencional. La limpieza y transporte del material roto sea mineral o desmonte en general se realiza con equipos a combustión diésel (scoops de 2, 2.4, 4 y 6 Yd<sup>3</sup> y volquetes de 20 Ton), en el caso en particular de la Veta Túnel 4 el sistema trackless dificulta el avance del proyecto y ampliación del nivel 4565 que tenía una producción comprometida para el año 2016 de 400 Ton/día entre mineral y desmonte; cabe resaltar también que la veta Túnel 4 se explotó bajo el método de corte y relleno ascendente en breasting. Tomando en cuenta las consideraciones de productividad deficiente con demoras en el ciclo de minado y ventilación se busca nuevos métodos de limpieza y transporte.

Según Díaz-Aguado (2006) menciona que *“La adquisición de los equipos suele rondar el 40-45 % de los costes de capital de una mina y*

*de ellos, un gran porcentaje se destina a las operaciones de carga, transporte y extracción. Además, solo la carga y el transporte ocupan entre un 25 % y un 45 % del tiempo total de un relevo normal.”* Así mismo lo clasifica como transporte discontinuo; cuya principal característica es que se puede descomponer en tramos y direcciones diferentes siendo más versátiles y pueden ser combinados con otros sistemas de transporte.

El transporte sobre rieles tiene tres componentes básicos: la locomotora, carros mineros (vagones) y una línea cauville por donde la locomotora y los carros mineros transitaran, siendo de mayor relevancia al momento de implementar este sistema la elección del tipo de locomotora para minería subterránea. Para la elección de las características del motor en una locomotora se deben considerar varios factores como la potencia de jale, entorno del ambiente, gradiente de las labores y la trayectoria crítica que es la distancia con mayor recorrido. (Arias-Calla, 2013). Para la explotación de la veta Túnel 4 se buscó una locomotora con motor eléctrico, para evitar la generación de monóxido de carbono y mejorar el sistema de ventilación. En el mercado existen dos tipos de locomotoras eléctricas, de corriente eléctrica continua (locomotoras a trolley) y a baterías.

Rios-Cali (2016) señala que *“Las locomotoras a trolley son las más eficientes, si bien el costo inicial más elevado, los beneficios que reporta tener este sistema. Aparte de confiabilidad es el rendimiento lo que se*

*traduce en un menor costo/beneficio, una línea de trolley bien instalada con todos sus elementos de protección y seguridad. Y con lo consiguiente correcta ubicación de los rectificadores a lo largo de la línea, siempre permite que las locomotoras estén alimentadas con una tensión de +1-10% de la tensión nominal de sus motores". Sin embargo las locomotoras a batería dentro de sus ventajas ofrecen una mejor facilidad de operar, se puede transportar a cualquier lugar que exista una línea cauville, no generan gases nocivos contra la salud, responde rápidamente a los controles, no requiere de instalación previa para la operación y son más seguros a comparación de una locomotora trolley.(Mallqui-Carranza, 2019). De otra parte, según (Portuguez-Cordova, 2009) señala que "Las vías, la Línea de riel, el estado de la cuneta y la presencia de agua y lamas en ella, la Coordinación del transporte, al parrillero, al Cumplimiento del Ciclo de minado, y el estado de las locomotoras y Carros Mineros inciden significativamente en el proceso de extracción de mineral." Así también uno de los factores principales en el rendimiento de locomotoras y la utilización es tener una buena gestión de tiempos es decir que se eliminen tiempos muertos o no productivos, teniendo un buen control de mantenimiento un ciclo de llenado y descarga de vagones óptimos en las tolvas.(Baldeón-Quispe, 2011; Martínez-Saavedra, 2016)*

El propósito y alcance de la presente investigación es demostrar los beneficios de la implementación del sistema de transporte sobre

rieles con locomotora a baterías mediante el cumplimiento de la producción de la veta Túnel 4 nivel 4565 que tiene como principal labor de acceso el BP 2275 de 2.50 x 2.50 metros de sección y una longitud de 1.5 Kilómetros, el cual se desarrolló bajo un sistema trackless que presentó dificultades en el ciclo de minado y en el sistema de ventilación. Surge entonces la hipótesis de que realizando la transferencia del sistema Trackless al sistema de transporte con locomotora a batería se obtendrá una producción de 400 Ton/día cumpliendo con el plan de minado, con una mejora en el sistema de ventilación.

Considerando los antecedentes ya mencionados para la preparación y explotación del proyecto de la veta Túnel 4 y tomando en cuenta las consideraciones por los retrasos en el ciclo de minado y de ventilación por las limitaciones de un sistema trackless el objetivo principal fue la implementación del sistema de transporte sobre rieles con locomotora a baterías.

## **2. Materiales y métodos**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el nivel 4565 de la veta Túnel 4 mina Arcata donde se realizaron los monitoreos in situ de observación directa. Los datos de medición de tiempo en el ciclo de minado con las fichas de seguimiento (Limpieza y acarreo) y los monitoreos de ventilación por el área de servicios y ventilación; fueron importantes para tomar decisiones basadas en los hechos; en este sentido el estudio garantiza una medición eficaz

y eficiente; permitiendo la recopilación y validación de datos que aseguren el desempeño en la transferencia al sistema de locomotoras y vagones en el BP 2275 S.E.

Posteriormente se realizaron los cálculos previos en gabinete tomando en consideración los datos obtenidos de las fichas de seguimiento de los ciclos de minado, los planos de ventilación y monitoreo, el cálculo de requerimiento de aire de esta manera cumplir con el reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería D.S 024-2016-EM. Así mismo se usaron varios softwares como AutoCAD, Mine Sighth, ArcGis, Excel que sirvieron para el cálculo de distancias y recorrido, diseño de la línea cauville, pockets, sapas, cambios, estación de baterías, monorriel de cambio de batería.

El análisis descriptivo es una técnica estructurada que permite administrar, manejar y resolver acciones correctivas orientadas a controlar las operaciones de transporte de material y desmonte en el BP 2275 S.E. para el empleo de un sistema de transporte de mineral y desmonte económico con una extracción de 400 Ton/día en secciones angostas, además disminuir la contaminación existente en las labores.

Para la selección de la locomotora se realizó el análisis con la producción inicial de la veta Túnel 4 nivel 4565 para el plan de minado del 2016, como se muestra en la siguiente tabla que se tiene 08 tajeos en el nivel 4565 para ser explotados, la longitud de extracción con locomotora será de 1500 m, para luego ser transportado a superficie con volquetes de 22 Ton. como se aprecia en la figura 1.

**Tabla 1.**  
Plan de producción veta Túnel 4 año 2016

ZONA	NIVEL	VETA	LABOR	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TON 2016
ZONA II	4520	TUNEL4	TJ2145											471.47	586.53	1,058.00
ZONA II	4520	TUNEL 4	TJ2146										474.80	479.18	620.25	1,574.23
ZONA II	4520	TUNEL 4	TJ2147										1,103.77	540.79	772.26	2,416.82
ZONA II	4520	TUNEL4	TJ2148									549.97	526.18	558.81	640.84	2,275.79
ZONA II	4520	TUNEL 4	TJ2150								580.91	599.42	629.67	609.05	711.92	3,130.98
ZONA II	4565	TUNEL4	TJ2243	408.48	494.20	626.13	621.96	678.89	629.23	640.72	667.07	645.11	613.11	489.81	785.07	7,299.78
ZONA II	4565	TUNEL 4	TJ2244	287.51	317.13	458.61	528.41	526.67	526.17	523.43	517.11	508.53	548.27	497.45	653.16	5,892.44
ZONA II	4565	TUNEL4	TJ2245	488.25	456.82	396.79	600.37	603.17	620.66	618.84	633.11	581.85	635.48	594.12	675.99	6,905.45
ZONA II	4565	TUNEL 4	TJ2246	307.50	520.71	625.56	617.78	628.80	592.66	634.93	658.52	583.26	636.14	624.85	764.51	7,195.22
ZONA II	4565	TUNEL4	TJ2247	543.84	707.46	714.02	669.10	765.68	667.13	686.48	698.01	665.86	748.49	699.39	902.51	8,467.98
ZONA II	4565	TUNEL 4	TJ2248	501.79	619.29	640.68	628.40	673.45	654.65	674.08	645.82	633.61	674.41	653.42	818.11	7,817.72
ZONA II	4565	TUNEL4	TJ2250	286.63	514.58	648.68	524.54	544.49	520.85	539.74	536.46	511.34	538.79	506.09	655.87	6,328.05
ZONA II	4565	TUNEL4	TJ2362	640.67	743.42	735.53	696.11	665.29	669.95	370.47						4,521.43
SUBTOTAL TUNEL 4				3,464.67	4,373.61	4,846.00	4,886.67	5,086.44	4,881.30	4,688.69	4,937.01	5,278.95	7,129.11	6,724.43	8,587.02	64,883.89

Fuente: Metas físicas 2016 mina Arcata

Se requiere extraer 400Ton/día entre mineral y desmonte considerando 25 días por mes, en una longitud aproximada de 1500 m, se trabajará en 02 turnos.



contra.

$$DEP = W \times R_{tac}$$

Donde:

W: peso total de la carga incluido peso de carros

R<sub>tac</sub>: Total de resistencia al arranque de los carros mineros cargados y con gradiente en contra.

$$DEP = ((2.50 \times 1.69 + 1.25) \times 8 \times (13.5 + 5.26))$$

Resolviendo tenemos una DEP de 825.07 Kg. a este resultado se le agrega un 10% más en razón al esfuerzo adicional que tiene que realizar la locomotora para mover su propio peso el cual resulta 907.58 Kg.

### 2.3 Cálculo del peso mínimo de la locomotora requerida (L<sub>w</sub>):

El cálculo está dado por la siguiente formula

$$L_w = \frac{DEP}{T_a - R_{tal}}$$

Donde:

DEP: Fuerza total en el gancho de arrastre

T<sub>a</sub>: Adherencia a la tracción asumida (175)

R<sub>tal</sub>: Total resistencia al arranque locomotora con gradiente en contra.

$$L_w = 907.58 / (175 - 17.21)$$

Resolviendo la ecuación tenemos que el peso mínimo requerido de la locomotora es de 5.75 Toneladas.

### 2.4 Cálculo de potencia requerida (P):

$$P = \frac{\text{Maximo esfuerzo de la traccion (kg)} \times \text{Velocidad (Km/h)} \times K}{343 \text{ (constante)}}$$

Donde:

El valor de K está dado por la siguiente tabla:

Factor K	Horas de trabajo
1.1	8
1.3	16
1.6	24

$$P = 907.58 \times 10 \times 1.3 / 343$$

Remplazando los datos ya obtenidos tenemos que la potencia requerida del motor es de 34.40 HP.

Con estos parámetros obtenidos se debe contar con una locomotora de 6 Ton. de peso y de 35 HP, que observando los catálogos en el mercado existe la locomotora a baterías modelo WR35 de 6 Ton. de peso y potencia de 35 HP.

### 2.5 Cálculo de libraje de riel necesario para carga del convoy

Para el cálculo del libraje del riel así como la separación de los durmientes se tomó como base el peso máximo del equipo que ira sobre el riel, en este caso es la locomotora de 6.0 Ton.

$$\text{Peso (Lbs)} = \text{Factor} \times 4 \times 1000$$

Reemplazando:

$$6.0 \text{ Ton} = 13215.86 \text{ Lbs} = \text{Factor} \times 4 \times 1000$$

Despejando:

$$\text{Factor} = 3.3$$

Del grafico en líneas rojo se deduce que se puede usar:

Riel de 45 Lbs con una separación entre centro de durmientes de 36" o riel de 35 Lbs con una separación entre centro de durmientes de 18".

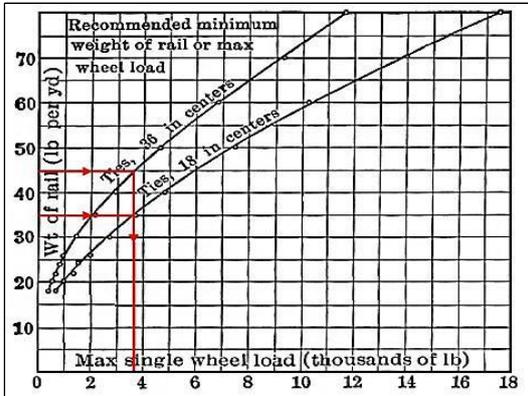


Figura.- Relación de carga máxima en las ruedas vs peso de la riel.  
Fuente: SERMINSA

2.6 Diseño de línea cauville:

El proyecto comprende la ejecución de una estación de carguío de batería, sistema de volteo para carros mineros Gramby de 60 pies3 con trocha de 60cm, taller de mantenimiento de locomotora de 6.0 Ton, ejecución de 02 pockets para mineral y desmonte, estación de carro

minero. Se usará rieles de 45lb y durmientes de madera de 8"x6"x1.5 m.

En el NV-4565 se usará 01 locomotora de 06 Ton con un convoy de 08 carros mineros con una longitud de extracción de 1500m cabe resaltar que también se implementaran todos los controles de seguridad para su operación de acuerdo al Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, D.S. N° 024- 2016-EM

Portuguez-Cordova (2009) Señala que “Las vías, la Línea de riel, el estado de la cuneta y la presencia de agua y lamas en ella, la Coordinación del transporte, al parrillero, al Cumplimiento del Ciclo de minado, y el estado de las locomotoras y Carros Mineros inciden significativamente en el proceso de Extracción de mineral.”

En las siguientes imágenes se muestra los diferentes diseños

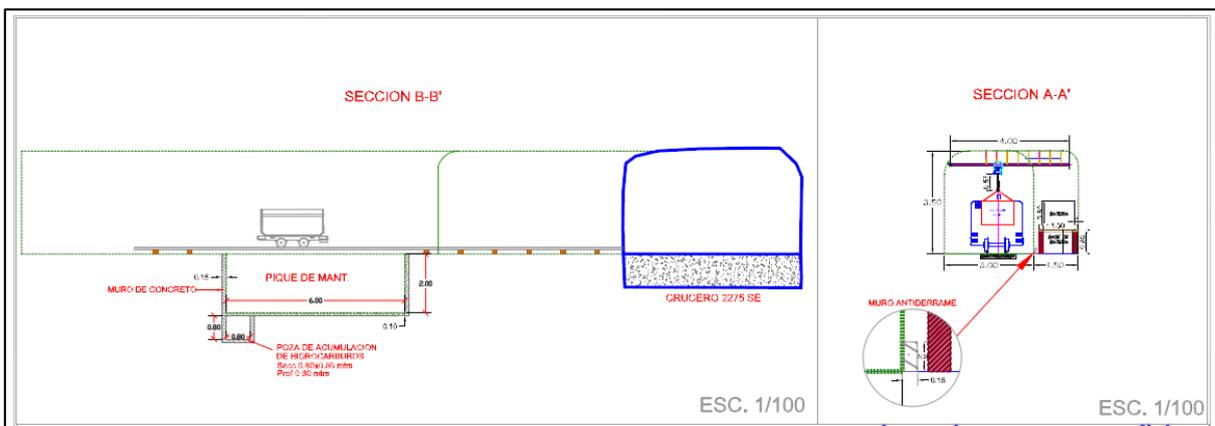
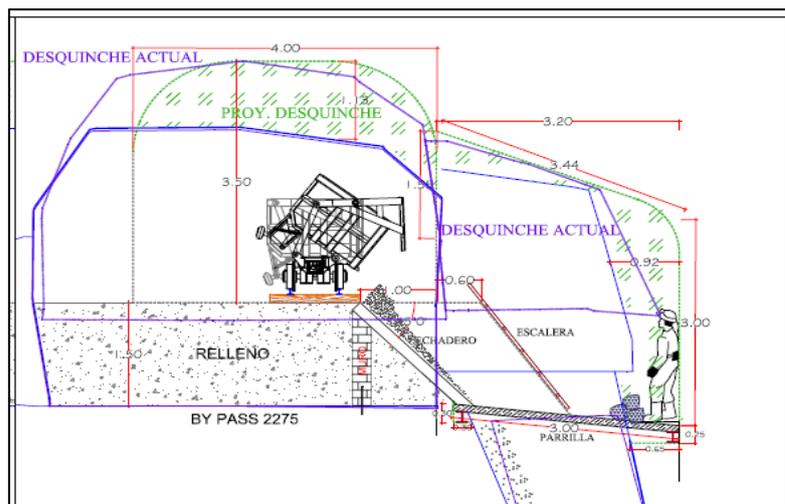
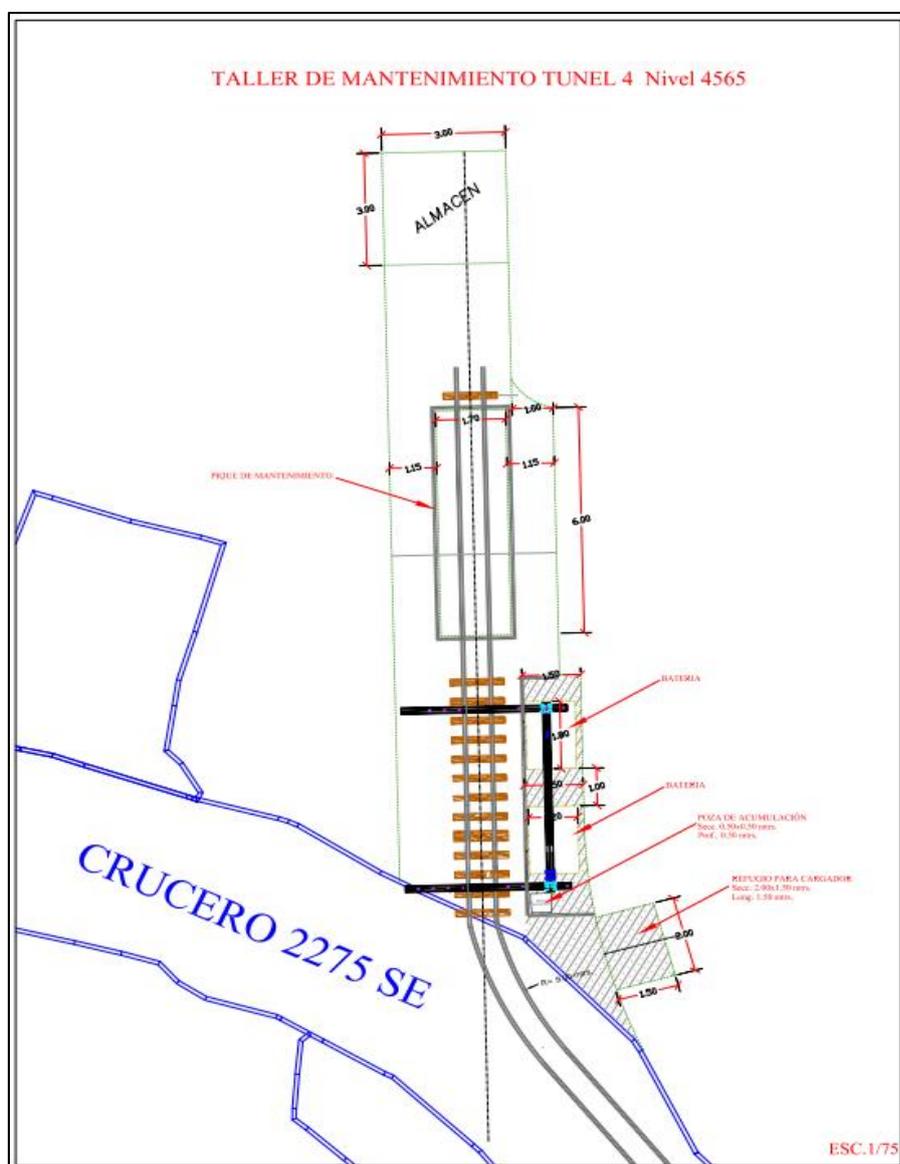


Figura 2.- Diseño de la estación de carga de baterías  
Fuente: Diseño Planeamiento Arcata



**Figura 3.-** Diseño del sistema de volteo de carros mineros  
Fuente: Área Planeamiento mina Arcata



**Figura 4.-** Diseño del taller de mantenimiento de locomotora  
Fuente: Área Planeamiento mina Arcata

### 3. Resultados

#### 3.1 Rendimiento de locomotora

Para comprobar de manera real la implementación del sistema de transporte sobre rieles con locomotora a baterías se realizó el monitoreo de tiempos y rendimiento del equipo que se puede apreciar en el resumen de la siguiente tabla.

**Tabla 4.**  
Rendimiento real del sistema de transporte sobre rieles.

Rendimiento real de locomotora		
Capacidad del vagón	Ton	4.22
Extracción/día	Ton	410.40
Producción/guardia	Ton	205.20
N° vagones/viaje	Unid	8.00
N° Ton/viaje	Ton/viaje	38.00
Horas netas de trabajo/guardia	Hr	7.50
N° viajes/guardia	Viajes	6.00
N° locomotoras/guardia	Und.	1.00
Horas programadas/guardia	horas	8.00
Eficiencia operativa total	%	83.00
Utilización efectiva equipo		63%

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4, se aprecia que la extracción con locomotora a baterías por día es de 410.40 toneladas en turnos completos de 7.5 horas

netas de trabajo cumplimiento con el requerimiento del plan de minado que es de 400 Ton/día. A su vez la eficiencia operativa total es de 83% con una utilización del 63%.

#### 3.2 Mejoras de ventilación

Otro de los factores que nos indica si la implementación del transporte sobre rieles fue beneficioso es la mejora de las condiciones de ventilación, por la cual se hicieron mediciones de las velocidad de aire en el BP 2275 SE, así como el uso de ventiladores para el ahorro de energía empleada.

Antes de la instalación del transporte sobre rieles de acuerdo a las mediciones del caudal en el By Pass 2275. Nivel 4565, se obtuvo en el punto más lejano Tajo 2243 un caudal de retorno de 16 000 CFM de acuerdo a los puntos de monitoreo instalados a lo largo del By Pass necesiándose 03 ventiladores en serie de 30 000 CFM.

**Tabla 5.**  
Monitoreo caudal de aire Túnel 4 Nivel 4565 antes del proyecto

Labor	I/S	Velocidad promedio (m/seg)	Vel. (m/min)	Sección			Área de la sección (m²)	Caudal		Temp. (°C)	H.R (%)	Condición		
				B1	B2	H		(m³/min)	CFM			O2 (%)	CO (PPM)	NX (PPM)
TJ 2243	Ingreso	0.41	24.49	1.56	1.50	3.20	4.90	119.90	4,233.74	18.9	82.1	20.80	2	0.00
TJ 2243	Salida	0.44	26.33	1.61	1.52	3.15	4.93	129.79	4,583.01	18.9	82.1	20.80	1	0.00
TJ 2244	Ingreso	0.59	35.27	1.34	1.38	2.07	2.82	99.30	3,506.11	18.1	85.3	20.70	2	0.00
TJ 2244	Salida	0.53	31.91	1.34	1.38	2.07	2.82	89.85	3,172.49	18.1	85.3	20.70	2	0.00
TJ 2245	Ingreso	0.86	51.33	0.97	1.22	1.94	2.12	109.05	3,850.46	18.3	79.4	20.70	3	0.00
TJ 2245	Salida	0.71	42.67	0.97	1.22	1.94	2.12	90.64	3,200.39	18.3	79.4	20.70	3	0.00
TJ 2246	Ingreso	0.37	21.96	1.68	1.34	2.72	4.11	90.19	3,184.78	17.9	77.0	20.60	2	0.00
TJ 2246	Salida	0.35	20.87	1.68	1.34	2.72	4.11	85.70	3,026.03	17.9	77.0	20.60	2	0.00
TJ 2247	Ingreso	0.53	31.51	1.71	1.59	1.86	3.07	96.69	3,414.11	18.6	75.5	20.60	2	0.00
TJ 2247	Salida	1.12	67.33	1.25	1.14	1.93	2.31	155.29	5,483.44	18.3	75.5	20.60	5	0.00
TJ 2248	Ingreso	0.35	20.81	1.68	1.51	2.89	4.61	95.92	3,386.98	18.1	77.4	20.60	4	0.00
TJ 2248	Salida	0.36	21.76	1.12	1.41	2.35	2.97	64.68	2,283.75	18.2	77.2	20.60	4	0.00
TJ 2250	Ingreso	0.61	36.67	1.02	1.11	2.78	2.96	108.56	3,833.22	19.9	82.5	20.70	0	0.00
TJ 2250	Salida	0.50	30.10	1.31	1.04	2.69	3.16	95.14	3,359.38	18.9	83.2	20.60	1	0.00

Fuente: Área ventilación mina Arcata

En la tabla 5 se observa que la velocidad de aire mínima monitoreada es de 20.81 m/min que está al límite de lo que indica el reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería D.S 024-2016-EM que es de 20 m/min.

Después de la instalación del transporte sobre rieles de acuerdo a las mediciones del

caudal en el By Pass 2275. Nivel 4565, se obtuvo en el punto más lejano tajo 2243 un caudal de retorno de 19 700 CFM de acuerdo a los puntos de monitoreo instalados a lo largo del By Pass. Necesitándose 02 ventiladores de 10 000 CFM y 01 de 30 000 CFM en serie.

**Tabla 6.**  
Monitoreo caudal de aire Túnel 4 Nivel 4565 después del proyecto.

Labor	I/S	Velocidad promedio (m/seg)	Vel. (m/min)	Sección			Área de la sección (m <sup>2</sup> )	Caudal		Temp. (°C)	H.R (%)	Condición		
				B1	B2	H		(m <sup>3</sup> /min)	CFM			O2 (%)	CO (PPM)	NX (PPM)
TJ 2243	Ingreso	0.74	44.67	1.45	1.15	3.21	4.17	186.25	6,576.51	16.9	64.2	20.80	2	0.00
TJ 2243	Salida	0.80	48.00	1.58	1.64	3.10	4.99	239.57	8,459.15	16.8	64.2	20.80	4	0.00
TJ 2244	Ingreso	0.71	42.67	1.25	1.54	2.78	3.88	165.47	5,842.59	15.1	61.7	20.70	2	0.00
TJ 2244	Salida	0.64	38.67	1.35	1.33	2.80	3.75	145.08	5,122.68	15.1	61.7	20.70	3	0.00
TJ 2245	Ingreso	0.67	40.00	1.21	1.02	2.01	2.24	89.65	3,165.40	15.7	59.8	20.70	1	0.00
TJ 2245	Salida	0.63	38.00	1.14	1.28	1.98	2.40	91.04	3,214.64	15.7	59.8	20.70	2	0.00
TJ 2246	Ingreso	0.64	38.67	1.55	1.42	2.69	3.99	154.46	5,453.98	16.1	57.0	20.60	3	0.00
TJ 2246	Salida	0.68	40.67	1.67	1.45	2.71	4.23	171.92	6,070.58	16.1	57.0	20.60	3	0.00
TJ 2247	Ingreso	0.86	51.33	1.68	1.53	1.75	2.81	144.18	5,091.08	15.3	75.5	20.60	5	0.00
TJ 2247	Salida	1.12	67.33	1.25	1.11	1.92	2.27	152.55	5,386.55	15.3	71.5	20.60	4	0.00
TJ 2248	Ingreso	0.94	56.67	1.25	1.49	2.14	2.93	166.14	5,866.24	16.4	57.6	20.60	4	0.00
TJ 2248	Salida	0.84	50.67	1.52	1.48	2.21	3.32	167.96	5,930.67	16.4	57.6	20.60	4	0.00
TJ 2250	Ingreso	0.71	42.67	1.36	1.12	2.52	3.12	133.32	4,707.70	15.7	68.3	20.70	3	0.00
TJ 2250	Salida	0.66	39.33	1.28	1.08	2.48	2.93	115.11	4,064.36	15.7	68.3	20.60	3	0.00

Fuente: Área ventilación mina Arcata

En la tabla 6 se puede observar que la velocidad de aire mínima monitoreada después de la instalación del sistema de transporte sobre rieles es de 38.0 m/min que está por encima del límite mínimo permisible de 20m/min. Esto nos indica que el sistema de transporte sobre rieles es beneficioso y contribuye con el ahorro de energía empleando ventiladores de menor capacidad.

#### 4. Discusión

En el año 2014 se hace una evaluación entre el método de minado convencional con rieles y

el sistema trackless para mejorar la productividad en la veta Julia de la mina Arcata, dicho estudio concluye con el minado con sistema trackless esto debido a los factores de productividad; puesto que la diferencia de producción del método convencional es de 668 Ton/mes y el sistema a trackless de 2630 Ton/mes y sumado a esto es el tiempo de explotación de 58 meses a 15 meses respectivamente.(Monge-Sosa, 2014).

**Tabla 7.**  
Análisis comparativo entre vetas.

Parámetros	Unidades	Veta Julia		Veta Tunel 4
		Convencional	Mecanizado	Convencional
Reserva	Ton	38,560.00	38,560.00	98,976.24
Ley plata	Gr/Ton	624.60	624.60	374.39
Cotización Au	US\$/Oz	1,530.87	1,530.87	1,200.00
Cotización Ag	US\$/Oz	30.88	30.88	16.00
Producción	Ton/mes	668	2,630	3,500
Vida de tajeo	meses	58	15	28

Fuente: Área ventilación mina Arcata

La justificación de la elección del sistema trackless para la veta Julia, es que influyen como factores principales el aporte de toneladas a la producción, la ley y precio de la plata, además se contaba con un sistema de ventilación óptimos que soportaba el grado de mecanización en el minado. Caso contrario al de la veta de Túnel 4 que se tenían otras vetas que cubrían el aporte de mineral en el plan de producción, sumado a esto el precio de la plata en promedio era de 16 US\$/Oz y también el costo de inversión para mejorar la ventilación para el minado con sistema trackless requería la ejecución de un Raise borer y ampliación de la sección del By pass que eran aproximadamente 923 mil dólares comparado a lo que costo la implementación del sistema sobre rieles que fue 409 mil dólares.

## 5. Conclusiones

Se realizó la implementación del sistema de transporte sobre rieles con lo cual se incrementó la producción al obtener turnos y ciclos completos con una eficiencia real de la locomotora trasladando 410.40 Ton/día con una utilización de 63%, ya que anteriormente por

las condiciones existentes solo se trabajaba media guardia por turno. Se diseñó y planifico el uso de locomotoras y vagones utilizando técnicas de cálculo para una producción de 400 Ton/día de acuerdo al plan de producción el cual cumple trasladando 410.40 Ton/día.

Se mejoró las condiciones del ambiente de trabajo mejorando en un 42.62% la velocidad del aire que se tenía, a su vez no se necesitara un requerimiento mayor de aire ya que al ser el transporte sobre rieles un sistema limpio que no emite gases. Consecuentemente se bajaron las capacidades de 03 ventiladores de 30000 CFM a 02 ventiladores de 10000 CFM y 01 de 30000 CFM, razón por la cual se disminuyó el consumo de energía.

## 6. Referencias

- Arias-Calla, L. D. (2013). *Planeamiento y diseño del sistema de extracción del proyecto de profundización de la U.O San Braulio Uno.*(Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Baldeón-Quispe, Z. L. (2011). *Gestión en las operaciones de transporte y acarreo para el incremento de la productividad en CIA. Minera Condestable S.A.* (Tesis de

- pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, , Lima, Perú.
- Díaz-Aguado, M. B. (2006). *Carga, transporte y extracción en minería subterránea*. Septem Ediciones, España.
- Mallqui-Carranza, E. A. (2019). *Optimización de costos en extracción de mineral, implementando chimenea raise boring como ore pass del nivel 1915 al nivel 1467 de la Mina Papagayo - Poderosa*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.
- Martinez-Saavedra, B. A. (2016). *Incremento de producción a partir de la gestión del tiempo en el transporte de mineral en el sector Nicole, concesión minera Esperanza II, empresa minera MINECSA, Zaruma-Ecuador*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.
- Monge-Sosa, J. I. (2014). *Diseño entre el método de minado convencional con rieles y el sistema trackless para mejorar la productividad en la empresa especializada IESA mina Arcata*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- Portuguez-Cordova, J. L. (2009). *Diagnóstico y alternativa de mejora de los procesos productivos Unidad Manuelita compañía minera Argentum S.A.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, D.S. N° 024- 2016-EM.*
- Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, D.S. N° 023- 2017-EM.*
- Rios-Cali, W. A. (2016). *Análisis del transporte por locomotoras eléctricas y a baterías en el nivel principal y abastecimiento de los niveles secundario en PRODUMIN S.A. (Proyecto técnico)*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Macas, Ecuador.