UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENERÍA DE MINAS

"APLICACIÓN DEL ANÁLISIS TKPH PARA DETERMINAR LOS NEUMÁTICOS OTR ÓPTIMOS PARA LA OPERACIÓN EN LA FLOTA DE ACARREO CATERPILLAR 793F – MINA CONSTANCIA"

INFORME DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

Bach. César Miguel Cruz Coaquira

Para obtener el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA – PERU

2021

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA
UNAM SECRETARIA GENERAL

Folio N° 007

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : ☐

Trabajo de Suficiencia Profesional : ☒

Otro: ..... : ☐

II. Documento de aprobación para la sustentación:
RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N° 538-2021-UNAM

Fecha: 10-06-2021

III. El Jurado ha dictaminado la (el) TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL, TITULADO:
APLICACIÓN DEL ANÁLISIS TKPH PARA DETERMINAR LOS NEUMÁTICOS OTR ÓPTIMOS PARA LA OPERACIÓN EN LA FLOTA DE ACARREO CATERPILLAR 793F - MINA CONSTANCIA

Bachiller: CESAR MIGUEL CRUZ COAQUIRA

Asesor Principal: MSc. CHRIST JESÚS BARRIGA PARIA.

Co-Asesor : .....

IV. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial ☐ Virtual ☒

Con nota: QUINCE (15) por lo que; Sí ☒ No ☐

Opta el Título Profesional de INGENIERO DE MINAS.

Siendo las 09:20 horas, del 15 de JUNIO del año 2021 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente
Arquímedes E. VARGAS LUQUE
(Nombres y Apellidos)

Primer Miembro
Victor Dorian Calsina Quispe
(Nombres y Apellidos)

Segundo Miembro
Mario A. Arocutipa Gomez
(Nombres y Apellidos)

Bachiller
CÉSAR MIGUEL CRUZ COAQUIRA
(Nombres y Apellidos)

RESUMEN

Uno de los principales parámetros que influyen en la vida útil del neumático es la temperatura que puede soportar el neumático en condiciones de operación. Determinar el neumático adecuado nos brindará mayores rendimientos, mayor producción y mayor seguridad en la operación de los camiones mineros. Por lo tanto, el presente informe tiene como propósito demostrar que mediante la aplicación del análisis de TKPH (Toneladas kilometro por hora) se puede determinar si los neumáticos con los que viene trabajando la flota de acarreo Caterpillar 793F, son los óptimos para los parámetros de explotación en mina Constancia. Para ello, se tendrá como base la información de todos los ciclos de acarreo realizados entre enero y julio del 2019.

Con la recopilación de datos de las cargas, tiempos y distancias de ciclo, se realizará un análisis para determinar si los camiones vienen presentando una buena distribución de cargas y si se encuentran dentro de los parámetros de producción. También se determinarán las cargas medias y velocidades medias para obtener el TKPH de explotación. Finalmente se realizará una comparación entre el TKPH del neumático (especificación de fábrica) y el TKPH de explotación (obtenido mediante cálculos). Como complemento se brindan algunas recomendaciones para el cuidado y mejora de la vida útil de neumático.

Palabras clave: Neumático, carga media, velocidad media, TKPH, productividad, seguridad.

ABSTRACT

One of the main parameters that influence tire life is the temperature that the tire can withstand under operating conditions. Determining the right tire will give us higher yields, higher production and greater safety in the operation of mining trucks. Therefore, the purpose of this report is to demonstrate that by applying the TKPH (tons kilometers per hour) analysis it can be determined whether the tires with which the Caterpillar 793F hauling fleet has been working are the optimal ones for the parameters of exploitation in Constancia mine. To do this, the information of all hauling cycles carried out between January and July 2019 will be used as a basis.

With the collection of data on the loads, times and cycle distances, an analysis will be carried out to determine if the trucks are presenting a good distribution of loads and if they are within the production parameters. The average loads and average speeds will also be determined to obtain the operating TKPH. Finally, a comparison will be made between the tire's TKPH (factory specification) and the operating TKPH (obtained through calculations). As a complement, some recommendations are provided for the care and improvement of the tire's useful life.

Keywords: Tire, medium load, medium speed, TKPH, productivity, safety.

ÍNDICE

I INTRODUCCIÓN..... 1

1.1 Trayectoria del autor 1

1.2 Descripción de la empresa 2

1.3 Organigrama de la empresa 3

1.4 Áreas y funciones desempeñadas..... 4

1.4.1 Área de Seguridad y Salud Ocupacional 4

1.4.2 Área Operativa 5

1.4.3 Área de soporte técnico..... 5

II DESCRIPCIÓN DE UNA ACTIVIDAD ESPECÍFICA 7

2.1 Antecedentes y justificación 7

2.2 Objetivos 8

2.2.1 Objetivo general 8

2.2.2 Objetivo específico 8

2.3 Aspectos generales de mina Constancia..... 8

2.3.1 Ubicación 8

2.3.2 Accesibilidad 9

2.3.3 Topografía y fisiografía general. 10

2.3.4 Relieve y geomorfología. 10

2.3.5 Clima y meteorología. 10

2.3.6 Geología económica 12

2.3.7 Operaciones unitarias 17

2.4 Aspectos generales de los neumáticos 19

2.4.1 Neumático radial tubeless 19

2.4.2 Clasificación de los neumáticos.....20

2.4.3 Tipos de compuesto de Gomas.....25

2.4.4 Principales causas de deterioro de un neumático.....26

2.4.5 TKPH (Tonelada kilómetro por hora).....34

III VIABILIDAD DEL PROYECTO 39

3.1 Viabilidad para la aplicación del análisis de TKPH 39

IV PRODUCTOS/ RESULTADOS ESPERADOS DEL PROYECTO.....40

4.1 Análisis de cargas 40

4.1.1 Política del 10/10/20.....40

4.1.2 Evolución de la carga útil.....41

4.1.3 Análisis de carga eje delantero.....42

4.1.4 Análisis de carga eje posterior.....44

4.2 Análisis de velocidad media 45

4.3 Análisis de TKPH eje delantero y eje posterior.....46

4.4 Resultados 48

V ASPECTOS COMPLEMENTERIOS/ RECOMENDACIONES 49

5.1 Recomendaciones.....49

VI REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 50

VII ANEXOS.....52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Organigrama de la empresa Neuma Perú* 3

Figura 2 *Mapa de ubicación de Mina Constancia* 9

Figura 3 *Sección geométrica del Skarn en las zonas de San José y Constancia* 13

Figura 4 *Mineralización de mina Constancia* 16

Figura 5 *Operaciones unitarias* 19

Figura 6 *Neumático Serie 100*..... 20

Figura 7 *Neumático Serie 80* 21

Figura 8 *Neumático Serie 65* 22

Figura 9 *Neumático Serie 90* 22

Figura 10 *Normas internacionales para neumáticos* 23

Figura 11 *Profundidad de escultura de los neumáticos*..... 24

Figura 12 *Neumático de referencia según escultura y utilización*..... 25

Figura 13 *Tipo de goma según TKPH y condición de pista* 26

Figura 14 *Degradación del rendimiento del neumático en función de una presión inadecuada.*..... 27

Figura 15 *Rotura de chasis del equipo por sobrecarga*..... 28

Figura 16 *Carga descentrada en camión CAT 793F TR-11* 29

Figura 17 *Política de gestión de carga útil 10/10/20.* 30

Figura 18 *Corte en flanco por golpe contra roca* 31

Figura 19 *Ciclo de trabajo de un neumático*..... 32

Figura 20 *Energía vs tiempo en el ciclo de trabajo del neumático* 32

Figura 21 *Separación de los componentes de un neumático* 33

Figura 22 *Distribución de cargas CAT 793F – Política 10/10/20* 40

Figura 23 *Evolución de la carga útil* 41

Figura 24. *Análisis de carga en el eje delantero*..... 42

Figura 25 *Evolución de la carga útil en el eje delantero* 43

Figura 26 *Sobrecarga en pendiente.* 43

Figura 27 *Análisis de carga en el eje posterior* 44

Figura 28 *Evolución de la carga útil en el eje posterior*..... 45

Figura 29 *Análisis de velocidad media*..... 46

Figura 30 *TKPH Corregido vs TKPH neumático – Eje delantero.* 47

Figura 31 *TKPH Corregido vs TKPH neumático – Eje posterior* 47

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Parámetros de neumáticos Michelin* 39

Tabla 2 *Porcentaje de la distribución de cargas* 41

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 *Coeficiente "K1" calculado, para ciclos mayores a 5 km*..... 57

Anexo 2 *Coeficiente "K2" calculado, temperatura ambiente* 58

Anexo 3 *Ejemplo de cálculo de TKPH de un ciclo.* 59

Anexo 4 *Características de los neumáticos Michelin 50/80R57 XDR250* 60

Anexo 5 *Capacidad de carga según presión de inflado.* 61

Anexo 6 *Especificaciones del camión minero Caterpillar 793F* 62

Anexo 7 *Ejemplo de geocercas virtuales en distintas zonas en una mina*..... 63

Anexo 8 *Ejemplo de mapa de velocidades* 64

I INTRODUCCIÓN

1.1 Trayectoria del autor

Desde que egresé de nuestra escuela profesional de ingeniería de minas, gané experiencia en prácticas profesionales realizadas en la empresa Southern Perú Cooper Corporation – Mina Toquepala, en el área de operaciones mina, gracias a ello, tuve la oportunidad de ingresar a trabajar a la empresa Neuma Perú, quien está involucrada en el rubro de los neumáticos para minería.

En Neuma Perú, mina Toquepala (2013), me desempeñé como asistente de supervisión y posteriormente supervisor, encargado de la gestión de neumáticos, procesando los datos obtenidos de las inspecciones realizadas a los neumáticos de los equipos de acarreo, carguío y equipos auxiliares, concluyéndolas con programaciones de trabajos, reportes del status de los neumáticos e informe de rendimientos. Además, encargado de realizar las inspecciones de las condiciones de las vías de la mina, recomendando oportunidades de mejora al área de operaciones mina.

En el 2015, asumo el cargo de supervisor de seguridad, cumpliendo funciones en la elaboración del sistema de gestión SSOMA, siendo responsable de garantizar su cumplimiento. Además de supervisar los trabajos que involucra el cambio de neumáticos en todo su proceso. Líder en las reuniones de seguridad, simulacros, inspecciones, en la investigación de incidentes y accidentes, entre otros propios del área.

En el 2017 como personal de Neuma Perú, soy destacado a la unidad minera Constancia de Hudbay Perú, encargado de dar soporte a las pruebas de rendimientos de los nuevos neumáticos Michelin para los camiones Caterpillar 793F, aplicar el análisis TKPH para determinar si el neumático con nuevo compuesto era el adecuado para los exigentes parámetros de trabajo, inspeccionar los neumáticos rodando y dados de baja para determinar las causas de los daños y recomendar oportunidades de mejora, e implementar el sistema MEMS Evolution 4 en la misma flota de acarreo.

1.2 Descripción de la empresa

El 18 de octubre de 1988 se funda en la ciudad de Lima, la empresa Neuma Perú Contratistas Generales S.A.C. bajo la dirección del Ingeniero Luis Quijada Saavedra, quien con la colaboración y asociación de sus hermanos Walter Quijada, Rory Quijada y Mónica Quijada emprenden esta increíble aventura. Desde la fundación hasta la actualidad ha adquirido la experiencia necesaria para lograr el desarrollo y diversificar sus operaciones para cubrir con las expectativas de un mercado creciente. No solo bastaba con la venta de neumáticos, sino que fue necesario poder brindar el respaldo del servicio postventa que necesita el cliente. Neuma Perú, hoy en día es una empresa dedicada a la importación, distribución y comercialización de neumáticos para minería, construcción y transporte público en la línea Michelin, empresa líder en el mercado mundial. Cuenta con más de 25 años de experiencia en el seguimiento y control técnico de los neumáticos, así como la administración de los talleres de enllante en minas de superficie y subterránea, la reparación y el reencauche de neumáticos OTR, y otros servicios orientados a reducir sus costos operacionales.

Una de sus principales actividades es la gestión de neumáticos como talleres de enllante in situ, actualmente desempeña este ejercicio en la mina de Las Bambas, Cuajone, Pucamarca, Toromocho, Quellaveco, Justa y Toquepala, esta última con vasta experiencia desarrollando actividades desde el año 1999 como montaje, desmontaje, instalación, retiro, seguimiento, control y reparaciones de neumáticos OTR.

Neuma Perú, como empresa, tiene como objetivo eliminar, minimizar y controlar las pérdidas producidas por algún proceso, condición o acción, incrementando de esta manera la calidad en los servicios prestados, la productividad de la empresa y el desarrollo de nuevos proyectos a través del mejoramiento continuo y aplicativos tecnológicos.

Tiene un gran compromiso con la seguridad, donde ninguna actividad tendrá prioridad sobre la salud y seguridad de las personas, reconociendo así la importancia de la protección de la integridad y salud de nuestros colaboradores cumpliendo con las normativas respectivas (Neuma Perú, 2020).

- **Misión**

Contribuir al progreso de nuestros clientes, brindándoles la más alta calidad y excelencia en la venta de neumáticos y el uso de tecnología de vanguardia en la prestación de nuestros servicios.

- **Visión**

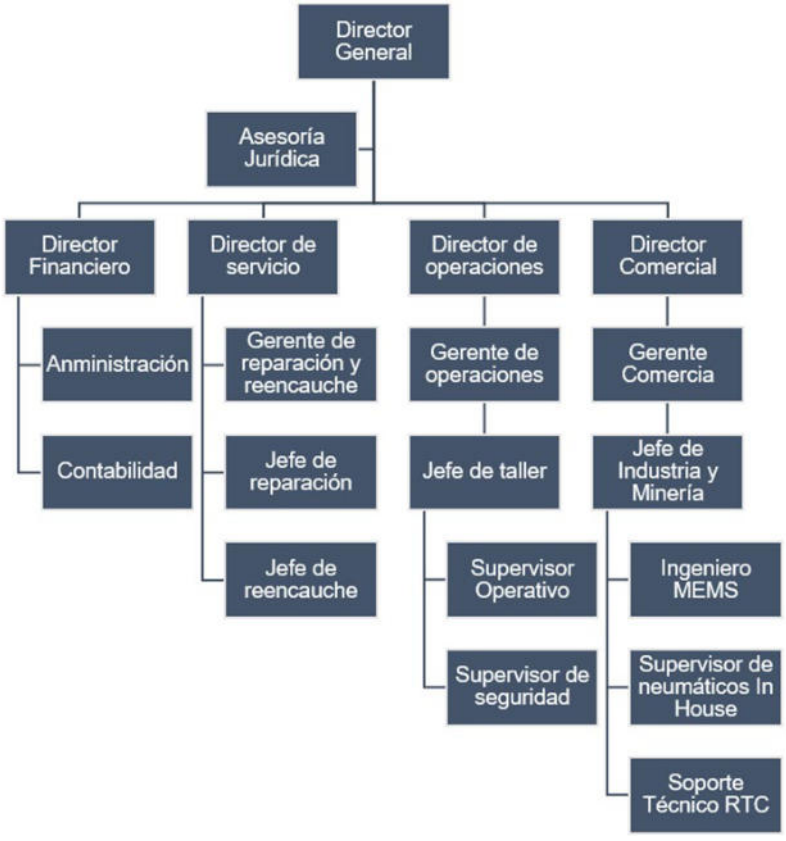
Consolidarnos como la mejor empresa de venta y reparación de neumáticos, así como un aliado estratégico para el desarrollo del máximo costo/beneficio de nuestros clientes.

1.3 Organigrama de la empresa

El organigrama de la empresa Neuma Perú se muestra en la figura 1.

Figura 1

Organigrama de la empresa Neuma Perú



Nota. Elaboración propia.

1.4 Áreas y funciones desempeñadas

El autor del presente informe se desarrolló en áreas que guardan relación con los neumáticos para la gran minería. A continuación, se hace una descripción de las funciones desempeñadas:

1.4.1 Área de Seguridad y Salud Ocupacional

- Corresponsable de la elaboración y actualización del Programa Anual de Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente, así también garantizar su cumplimiento para alcanzar las metas trazadas.

- Supervisión de los trabajos de cambio de neumáticos, identificando condiciones y actos sub-estándares que coloquen en riesgo la integridad de los trabajadores, respondiendo de forma oportuna para su corrección.

- Velar por el cumplimiento de las normas de seguridad y procedimientos de trabajo durante la operación.

- Liderar y programar las reuniones de seguridad, simulacros y capacitaciones

- Supervisar el correcto llenado de los formatos de seguridad (IPERC, check list, otros), según corresponda.

- Responsable de planificar y ejecutar las inspecciones de herramientas, equipos e instalaciones del lugar de trabajo, así también, gestionar el levantamiento de observaciones

- Responsable de realizar la investigación de incidentes y accidentes concluyendo con el informe correspondiente.

- Realizar observaciones planeadas de tareas en el taller de enllante, reparación y grifos de camiones (mina).

- Elaboración de reportes, informes de seguridad y oportunidades de mejora.

1.4.2 Área Operativa

- Supervisor responsable de la administración del taller de enllante.

- Responsable de coordinar con las áreas de operaciones mina y mantenimiento los trabajos donde estén involucrados los neumáticos de la flota de acarreo, carguío y equipos auxiliares.

- Gestión y control de los neumáticos mediante el programa TTC Earthmover y analizar los datos procesados.

- Responsable de programar y garantizar el cumplimiento de los trabajos de cambio de neumático y velar por la seguridad de los trabajadores.

- Responsable de realizar la inspección de las vías en mina y elaboración del informe de mejoras a las observaciones encontradas.

- Gestión y monitoreo de los neumáticos mediante el TPMS Sistema MEMS.

- Elaboración y presentación de los informes de rendimientos de neumáticos a las áreas de operaciones mina y mantenimiento.

1.4.3 Área de soporte técnico

- In house responsable del servicio post venta de neumáticos OTR Michelin para camiones Caterpillar 793F. Gestión y control de los neumáticos mediante el TTC Earthmover y análisis de datos.

- Inspector de neumáticos rodando y dados de baja, identificando daños u observaciones que puedan penalizar su rendimiento, recomendando oportunidades de mejora a la supervisión de la minera y service provider.

- Monitoreo de los neumáticos mediante la aplicación del TKPH para determinar si se superan los parámetros de trabajo de los neumáticos.

- Responsable y soporte en la implementación del Sistema MEMS Evolution 4 (Michelin Earthmover Management System), sistema de monitoreo remoto de presiones y temperaturas de los neumáticos de la flota de acarreo.

- Elaboración y presentación de reportes e informes del rendimiento de los neumáticos y sistema MEMS4.

II DESCRIPCIÓN DE UNA ACTIVIDAD ESPECÍFICA

2.1 Antecedentes y justificación

En el sector minero uno de los productos con mayor demanda y que representa un porcentaje importante en los costos de producción, es el neumático. Estos neumáticos deben soportar las pesadas cargas que manejan los camiones mineros, lo que les genera un gran estrés. Por ello, su adecuada elección toma en cuenta el nivel de resistencia y la calidad que se requiere con el fin de cumplir las exigentes labores que se desarrollan en la operación minera.

En Mina Constancia la flota de acarreo está conformada por camiones Caterpillar 793F, estos vienen montando neumáticos de la marca Michelin en la medida y diseño 50/80R57 XDR250, pero diferenciados por 02 tipos de compuesto de goma, el compuesto B (que tiene una resistencia al calor en suelos poco agresivos) y el compuesto B4 (que tiene un compromiso entre la resistencia a la abrasión y al calentamiento en suelos de poca agresividad). Los neumáticos con este último compuesto recientemente se han montado en la flota de acarreo, al ser un compuesto de mayor dureza, se espera lograr un mayor rendimiento y productividad.

Por lo tanto, es necesario tener un criterio para evaluar si los neumáticos pueden soportar la máxima cantidad de trabajo de forma efectiva y segura en condiciones de operación.

El presente trabajo tiene por finalidad demostrar mediante un análisis de TKPH (Tonelada kilometro por hora), si ambos neumáticos son los recomendados para la operación. Por medio de este cálculo podremos determinar la capacidad de carga del neumático, es decir, saber cuánta carga puede transportar a determinada velocidad dependiendo de la distancia de acarreo.

Si el TKPH del neumático (característica propia) es sobrepasado por el TKPH operacional, la temperatura aumenta mucho y el neumático puede sufrir separaciones internas entre la goma y la carcasa radial interna por la alta temperatura y en el peor de los casos incendiarse.

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo general

- Realizar el análisis de TKPH para determinar si los neumáticos utilizados en la flota de acarreo de camiones Caterpillar, son los adecuados para la operación minera en función de las condiciones de uso.

2.2.2 Objetivo específico

- Realizar el análisis de la política de gestión de cargas para determinar el cumplimiento de los parámetros de carga útil y sobrecargas en los neumáticos.

- Realizar un análisis de cargas por eje para determinar si se encuentran dentro de las especificaciones de los neumáticos.

- Realizar el análisis de la velocidad media para determinar si estas se encuentran dentro de las especificaciones de los neumáticos evaluados.

2.3 Aspectos generales de mina Constancia

2.3.1 Ubicación

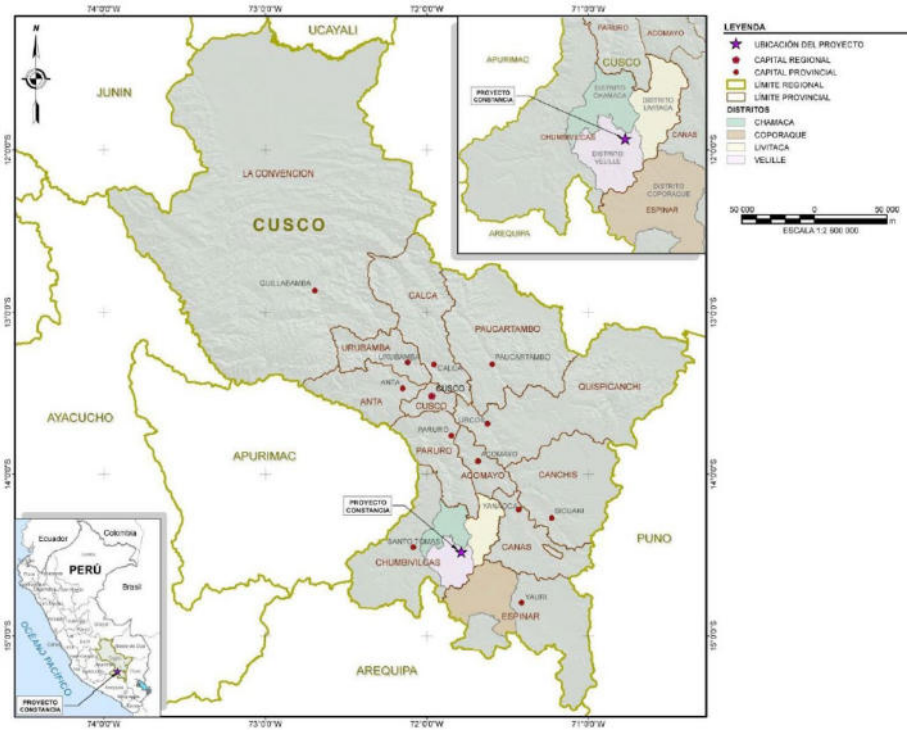
La unidad minera Constancia se encuentra ubicada en los andes surorientales del sur del Perú. Políticamente se ubica en los distritos de Chamaca, Velille y Livitaca, provincia de Chumbivilcas, en el departamento de Cusco (ver Figura 2). Se encuentra aproximadamente a 634 km al sureste de la ciudad de Lima y 112 km al Sur de la ciudad de Cusco (distancias en línea recta). El emplazamiento de la mina está ubicado a una altitud que varía entre los 4000 y 4500 m s. n. m.

La ubicación geográfica está dada por las siguientes coordenadas UTM (WGS 84, Zona 19S):

- N 8393167 a 8400860
- E 197036 a 203806

Figura 2

Mapa de ubicación de Mina Constancia



Nota. Adaptada de *Plano de ubicación y accesibilidad Mina Constancia,* Huamaní Ojeda, N. (2018).

2.3.2 Accesibilidad

Se puede acceder a la zona por carretera asfaltada Arequipa-Yura-Juliaca (hasta el kilómetro 143), tomando el desvío hacia Tintaya, poblado de Espinar por carretera afirmada (139 kilómetros), este recorrido dura aproximadamente 4 horas. Desde este punto hasta el área de exploración, existe un tramo de aproximadamente 80 kilómetros (2,5 horas adicionales) tomando la carretera a Velille hasta el kilómetro 68 y finalmente el desvío a Katanga 12 kilómetros. El recorrido total de Arequipa-Katanga es de 362 kilómetros.

Las distancias promedias con las ciudades más importantes son:

- Lima: 1108.6 km
- Arequipa: 368.1 km
- Cusco: 304.6 km

2.3.3 Topografía y fisiografía general.

La topografía del área de influencia del proyecto Constancia está definida por un relieve moderado con valles de poca profundidad y cerros redondeados que alcanzan elevaciones de 4000 a 5000 m s. n. m.

Se distinguen dos superficies de erosión, una antigua donde se encuentran algunos vestigios ubicados al sur y sobre la que se depositó el volcánico Tacaza y otra más moderna que forma los rasgos topográficos actuales. Esta superficie de erosión presenta un drenaje dendrítico incipiente que indica la iniciación de una etapa erosiva más intensa.

Existen abundantes indicios de actividad glacial, y erosión relacionada con ella, que corresponde a la última etapa de glaciación. Esta erosión ha modelado los valles en forma de U (Huamaní, N. 2018).

2.3.4 Relieve y geomorfología.

En el área de exploración se pueden distinguir tres unidades geomorfológicas:

- **Colinas y lomadas (Co-lo):** Conformada por las cadenas de cerros de aspecto alargado, sub-redondeado ha redondeado, constituida por afloramientos rocosos de naturaleza sedimentaria, volcánica e intrusiva pertenecientes a las formaciones litológicas: Chilloroya, Arcurquina, Orcopampa, Alpabamba e intrusivo Apurímac.

- **Valles o quebradas aluviales (Av):** Constituida por las áreas por donde discurren las aguas superficiales temporales y permanentes hacia el río Chilloroya; está conformada por depósitos aluvio-glaciares.

- **Lomadas morrénicas (Lo-m):** Esta unidad geomorfológica se ubica principalmente hacia la parte norte del área de exploración, destacando por su forma, dimensión y por estar conformada exclusivamente por depósitos morrénicos (Huamaní, N. 2018).

2.3.5 Clima y meteorología.

Para la caracterización climática de la zona del proyecto, se consideró principalmente, la información de los registros de la estación meteorológica Constancia, perteneciente a Norsemont, cuyas coordenadas son 200634 E, 8400308

N y se encuentra ubicada al norte del proyecto a una altitud de 4274 m s. n. m.; así como de estaciones del Senamhi ubicadas en los alrededores. De acuerdo a los registros de los parámetros climatológicos, se tiene los siguientes resultados:

- **Temperatura del aire:** Temperatura mensual media entre 4.9 °C y 7.4 °C, sin una variación anual significativa y con una temperatura promedio anual de 6.2 °C. La temperatura máxima promedio diaria para la estación meteorológica Yauri es de 18.9 °C; en Acomayo de 20.9 °C y en Imata de 12.3 °C. En el caso de la temperatura mínima, se observa un promedio diario de -3.5 °C en Yauri, 5.3 °C en Acomayo y - 6,8 °C en Imata. Los meses más fríos se encuentran en el periodo de mayo a setiembre (invierno), mientras que en los meses de noviembre a enero se encuentran las temperaturas más altas (verano).

- **Humedad relativa:** Varía entre 53.3 % y 74.7 % como valores promedios durante la temporada de lluvia (octubre a abril), y entre 38.3 % y 51.7 % como valores promedios durante la temporada seca (mayo a setiembre). El valor de humedad promedio a lo largo del periodo de registro es de 57.3 %.

- **Evaporación:** Los meses con los menores niveles de evaporación son junio y julio con valores menores a 110 mm.

- **Precipitación:** Se puede mencionar que el promedio anual de precipitación se estimó en aproximadamente 1172 mm, mientras el mínimo y máximo anual se estimaron en 485 y 1887 mm, respectivamente. Durante la temporada húmeda (octubre - abril), la precipitación promedio se estimó en 1078 mm, mientras durante la temporada seca (mayo – setiembre) se estimó en 94 mm. La mayor precipitación anual en 100 años se estimó en 2270 mm y la precipitación mensual en 100 años en 772 mm (enero).

- **Velocidad y dirección del viento:** la información de la estación Constancia ha registrado un promedio anual para la velocidad del viento de 3.1 m/s, siendo el periodo comprendido entre julio y diciembre el que presenta los niveles más altos de velocidad del viento y el comprendido entre enero y mayo, el periodo con el nivel más bajo.

- **Radiación solar:** De acuerdo con la información proveniente de la estación Constancia, los niveles de radiación varían entre 2317.8 $\mathrm{W/m^2}$, y 3616.0 $\mathrm{W/m^2}$, lo que es consecuencia de su ubicación latitudinal, altitud y nivel de nubosidad (Huamaní, N. 2018).

2.3.6 Geología económica

El yacimiento Constancia es un sistema pórfido de Cu-Mo que incluye mineralización skarn de cobre. Este tipo de mineralización es común en el cinturón metalogénico Yauri-Andahuaylas donde varios prospectos pórfidos de Cu-Mo han sido definidos, pero no han sido explotados.

2.3.6.1 Tipo de yacimiento

Las características geológicas, en “tajo Constancia”, son típicas de los depósitos polimetálicos tipo pórfido de cobre - molibdeno - oro.

El pórfido Constancia ha sido evaluado por 317 sondajes de perforación diamantina (antes de enero de 2009), algunos hasta profundidades de más de 600 m, con un máximo de 675.80 m (CO-08-133). La mayor parte de la mineralización ocurre como diseminaciones, yacimientos fisurales de vetas de cuarzo y rellenos de diaclasamientos de sulfuros, asociados principalmente con el “Micro Pórfido de Monzonita 1 (MP1)”. El MP1 muestra cuarzo-sericita extensiva o alteración potásica.

La mineralización de cobre está mejor desarrollada en la parte central del yacimiento dentro del pórfido de monzonita y se encuentra abierto a una profundidad por debajo de 3800 msnm (por ejemplo, CO-06-083, CO-07-105, CO-08-233, CO-08-278 y CO-08-288).

La oxidación y lixiviación son intensas, casi sin sulfatos frescos que ocurran en la superficie. Una capa lixiviada tiene lugar a profundidades variables, hasta un máximo de 100 m donde el diaclasamiento es más intenso, o en rocas con desarrollo de yacimiento fisural intenso.

La oxidación decrece hacia los márgenes del prospecto y en el skarn de magnetita, alcanzando solamente unas cuantas decenas de metros de profundidad. Los minerales de óxido de hierro principales son jarosita y goethita con cantidades menores de hematita después de calcocita supergénica. Las leyes de cobre normales en la capa lixiviada se encuentran en el orden de 100 - 200 ppm, valores considerados como muy anómalos en términos geoquímicos. Los valores de molibdeno y oro en la capa lixiviada son generalmente similares a las leyes hipogénicas.

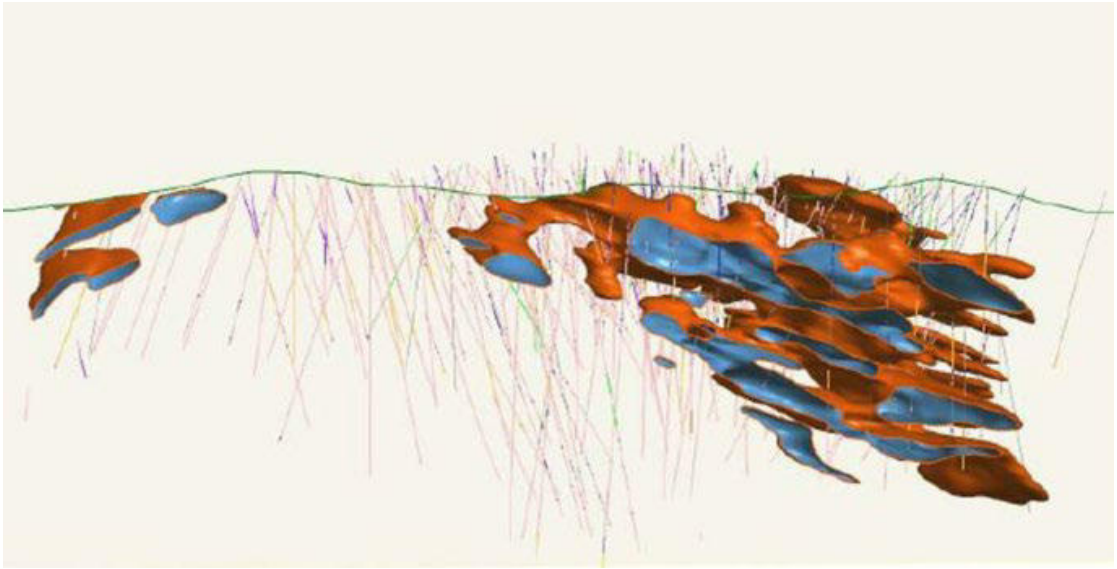
La zona de San José se encuentra en 350 m al oeste - noroeste del límite occidental del yacimiento Constancia y está separada de éste por la Zona de la Falla de Barita. Se completaron sesenta taladros de perforación en el área; muchos de ellos

con el propósito de identificar la extensión y profundidad de la mineralización. Los controles principales para el área parecen ser dos fallas que lo conectan en el este (falla San José) y el oeste. Estas dos fallas tienen generalmente rumbo norte-sur, pero podrían unirse en uno solo en la zona de Yanaccaca, (ver Figura 3).

La mineralización en esta área corresponde mayormente a conjuntos del tipo Hipógeno, con mineralización de skarn en forma secundaria (Huamaní, N. 2018).

Figura 3

Sección geométrica del Skarn en las zonas de San José y Constancia



Nota. Tomada de Hudbay Perú (2013).

2.3.6.2 Alteración

a. **Alteración Potásica:** El conjunto de alteración potásica se caracteriza por potasio-feldespato secundario, y por cantidades variables de biotita hidrotermal que reemplazan minerales ferromagnesianos tempranos y matriz de roca. Las venas de cuarzo son comunes, en especial las vetas pequeñas de tipo “A” y “B”. La intensidad de la alteración es variable, en un rango de débil a fuerte. La magnetita hidrotermal también se encuentra presente como diseminaciones y está asociada con vetas pequeñas de tipo A en secciones más profundas. Las vetas pequeñas de anhidrita también son comunes. Dentro de la zona de alteración potásica, se encuentra presente la mineralización de calcopirita -

(bornita) - molibdenita - pirita en vetas pequeñas de tipo A y B, y también en reemplazo de minerales ferromagnesianos o como relleno de diaclasamiento. Las leyes de cobre por lo general varían de 0.2 % - 4 %, y son las más altas donde la mineralización de cobre del tipo relleno de diaclasamiento se encuentra superpuesta sobre mineralización de cobre diseminada anteriormente. La mineralización de cobre de alta ley (hipógeno) se encuentra alojada por un yacimiento fisural denso de veta pequeña de tipo A que se desarrolló en una fase de pórfido temprana. El ratio pirita/calcopirita es generalmente bajo y en el orden de 1:1 a 2:1. La molibdenita por lo general también se incrementa con la profundidad, y está asociada con las vetas pequeñas de tipo “B”. La bornita ocurre esporádicamente, en especial a niveles más profundos, y algunas veces es asociada con valores de oro.

b. **Alteración Propilítica:** La alteración propilítica es transicional hacia la alteración potásica y se extiende más de un kilómetro desde los contactos intrusivos de pórfido. El conjunto mineral de alteración propilítica incluye epidota - clorita - calcita - pirita - rodocrosita. También se encuentra presente calcopirita subordinada, como relleno de disyunciones o como reemplazo de materiales máficos. Vetas pequeñas y vetas de esfalerita - galena se encuentran distribuidas como un halo hacia la mineralización de cobre - molibdeno dentro del halo de alteración Propilítica, y ocurren a distancias de hasta 3 km desde el sistema de cobre porfídico.

c. **Alteración Fílica:** La alteración fílica forma un caparazón penetrante circundante y algunas veces se superpone a la alteración potásica. Esta alteración acompaña la destrucción casi completa de las texturas de la roca primaria. El conjunto mineral de alteración fílica incluye sericita-cuarzo-pirita, cantidades limitadas de calcopirita, así como ocasionales vetas y vetas pequeñas de tipo “D” asociadas (Huamaní N. 2018).

2.3.6.3 Caracterización mineralógica del yacimiento Constancia

El yacimiento Constancia es un sistema pórfido de Cu-Mo que incluye mineralización skarn de cobre. Este tipo de mineralización es común en el cinturón metalogénico Yauri-Andahuaylas donde varios prospectos pórfidos de Cu-Mo han sido descritos, pero no han sido explotados.

Se han encontrado cinco asociaciones (o tipos) de mineral diferente dentro del área del proyecto Constancia (ver Figura 4), siendo así:

- **Hipógeno:** Mineralización hipogénica de estilo porfídico, que incluye yacimiento fisural de vetas de cuarzo diseminadas y mineralización de calcopirita-molibdenita de diaclasamiento controlado en el intrusivo. La mineralización hipogénica (Tipo 1) constituye el grueso del yacimiento, extendiéndose por debajo del nivel de 3900 m.

- **Skarn:** La mineralización de skarn (Tipo 2) es volumétricamente más pequeña que el Tipo 1; sin embargo, las leyes son normalmente superiores, y la mineralización ocurre en la superficie o cerca de ésta.

- En el contacto entre los intrusivos y las calizas, se desarrolla skarn granate y magnetita, mientras que la asociación piroxena - diópsido (granate - epidota) es más común en areniscas calcáreas y arcosas de la Formación Chilloroya.

- **Supérgeno:** El enriquecimiento supérgeno (Tipo 3) ocurre inmediatamente debajo del Tipo 2, y ocasionalmente como remanentes dentro de la capa lixiviada. Las leyes más altas de cobre en el pórfido Constancia están generalmente asociadas con este tipo y con la zona de skarn.

  La digenita - covelita - calcocita supergénica (cobre nativo raro), principalmente alojada en intrusivo, que yace por debajo de una capa lixiviada.

- **Mixto o de transición:** La zona transicional (Tipo 4) corresponde a la zona donde se mezcla la mineralización supergénica e hipogénica; por ejemplo, donde coexisten los sulfuros supérgeno e hipógeno.

  Es también denominado transicional (mezclado) que incluye sulfuros de cobre secundario / calcopirita en la monzonita (transición del tipo 1 y tipo 3 líneas arriba).

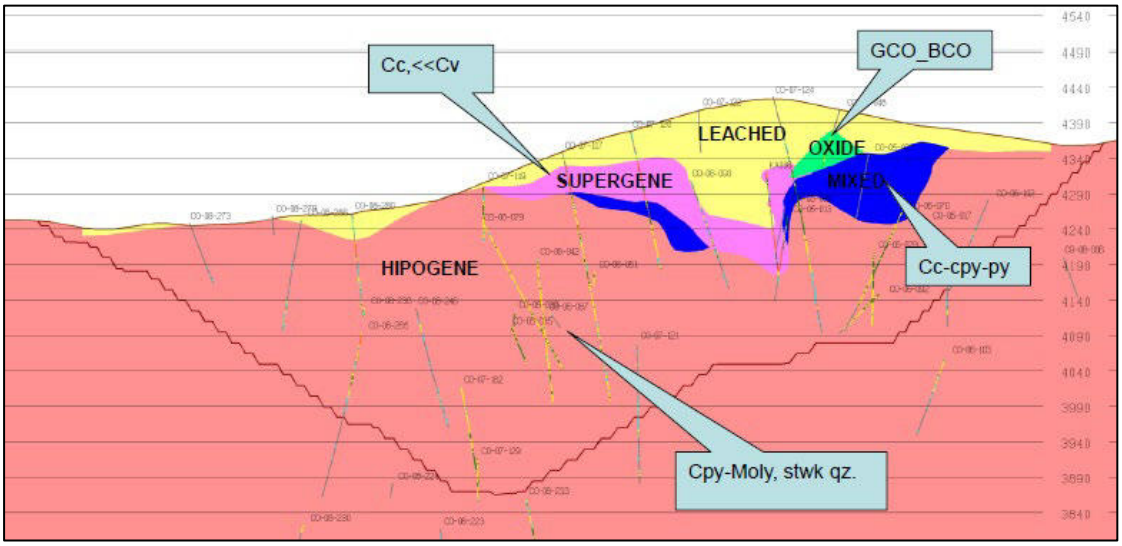
- **Óxidos de cobre:** La mineralización de óxido de cobre (tipo 5) ocurre localmente. Mientras sea superficial, es volumétricamente pequeña y, por lo tanto, no es considerada relevante para su explotación en esta etapa de desarrollo.

Para efectos de un análisis económico, considerando un tratamiento y procesamiento de minerales, sólo se ha considerado los tipos de mineralizaciones 1, 2 y 3; y además el tipo 4, considerando que en esencia es la mezcla del tipo 1 y 3, correspondiente al material hipógeno y supérgeno. Los óxidos de cobre no han sido considerados para efectos de evaluación económica. Siendo parte del material de desmonte.

Se conocen dos áreas de mineralización de estilo porfídico dentro del área del proyecto, Constancia y San José. En Constancia, la mineralización es más profunda que la observada en San José, la cual ocurre en la superficie. La zona mineralizada se extiende aproximadamente 1200 m en la dirección norte - sur y 800 m en la dirección este - oeste. Se identificaron varias áreas nuevas de exploración en los alrededores de Constancia, distintas de “Yanaccaca” y “Old Adits” (Huamaní N. 2018).

Figura 4

Mineralización de mina Constancia



Nota. Tomada de Hudbay Perú (2013).

2.3.7 Operaciones unitarias

Las operaciones de minado del tajo abierto Constancia están basadas en técnicas de minado convencional de tajo abierto, como el uso de perforación & voladura, palas y camiones mineros; (ver Figura 5).

2.3.7.1 Perforación

La perforación primaria se realiza con hasta tres perforadoras PIT VIPER 271 o equivalente, con un diámetro de perforación de 10 5/8" y una velocidad de perforación de 27 m/h aproximadamente.

2.3.7.2 Voladura

Para taladros húmedos o secos, se utiliza el Heavy ANFO 73 (70 % de Emulsión y 30 % de ANFO). Basado en la productividad en la operación y los parámetros de la roca en el tajo, el factor de potencia que se usa varía de 0.16 kg/t a 0.30 kg/t para mineral y para desmonte.

Los principales insumos que se utilizan son:

- Nitrato de Amonio.
- Emulsión Matriz.
- Altos Explosivos (primers o boosters, explosivo de pre corte y cordón detonante).
- Accesorios para voladura (detonadores y retardos).
- Iniciadores (línea silenciosa, fulminantes, mecha de seguridad).

2.3.7.3 Carguío

El carguío considera como equipos principales 03 palas hidráulicas Hitachi EX 5600-6 de 27 m^3 de capacidad, los cuales trabajarán haciendo match con camiones de 227 toneladas. Además, se trabajará con 01 cargador de ruedas 994H de 19 m^3.

2.3.7.4 Acarreo

Durante toda la vida de la mina, el mineral y desmonte será transportado por camiones mineros de 227 toneladas de capacidad (CAT 793F o equivalente). El uso

de estos camiones minimiza la congestión en las vías, requerimiento de operadores y mano de obra, así como también reduce los costos operativos. Este tipo de camiones requieren un mínimo de 32 metros de ancho de vía. Las rutas de acarreo fueron determinadas en orden de optimizar la productividad y las horas de operación para cada año.

2.3.7.5 Equipos auxiliares

Los equipos mayores usados en la mina, también incluyen el uso de equipos auxiliares que no son directamente responsables del avance de la producción, pero son necesarios regularmente para el mantenimiento de las vías de acarreo, bancos en la mina, control de pisos en el tajo y en los depósitos de desmonte.

Estos equipos se utilizan y han sido estimados para la vida restante de la mina en función de las productividades y de los requerimientos de los equipos principales de la mina, los cuales son:

- Tractores de Oruga CAT D10.
- Tractores de ruedas CAT 824 / 854
- Motoniveladoras 14H
- Tanque de Agua 777G

Figura 5

Operaciones unitarias



Nota. Tomada de Hudbay Perú (2013).

2.4 Aspectos generales de los neumáticos

2.4.1 Neumático radial tubeless

Un neumático radial tubeless es un neumático que se monta sin cámara sobre una llanta especial provista de una válvula apropiada.

El neumático radial tubeless se presenta, en su parte exterior, como un neumático tuve type (montaje con cámara de aire).

Su fabricación es idéntica desde el punto de vista arquitectónico; pero, por dentro de la cubierta, una capa de goma especial (butyl) garantiza su estanqueidad total.

Las ventajas son muchas:

- Desaparece el riesgo de pellizcar la cámara.
- No queda aire aprisionado entre el neumático y la cámara.

- Eliminación de un desinflado brutal (la perdida de aire es lenta y no hace falta hacer la reparación in situ, ya que da tiempo a veces a llegar al taller de reparación).
- Dado que el conjunto es perfectamente estanco, no hay riesgo de oxidación interior de la llanta.

2.4.2 Clasificación de los neumáticos

2.4.2.1 Según su relación de aspecto

Los neumáticos de ingeniería se distinguen de los de vehículos de turismo o comerciales por:

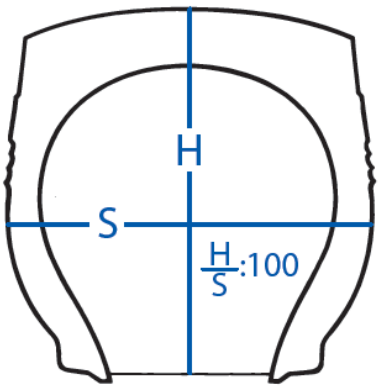
- El tamaño y el peso.
- La profundidad de escultura, proporcionalmente mayor.
- El mayor refuerzo, para responder a condiciones de utilización más agresivas.

Existen varias familias de neumáticos de ingeniería, que se caracterizan por su razón de aspecto o serie H/S (relación entre la altura “H” del flanco y el ancho “S” del neumático)

- **Serie 100.** La razón H/S es aproximadamente igual a 1, (ver Figura 6).
  El ancho de la sección se expresa en números enteros y en centésimas de pulgadas. Ejemplos: 5.00 R 8, 18.00 R 33.
  Neumáticos para camiones dúmper rígidos, máquinas de manutención, etc.

Figura 6

Neumático Serie 100

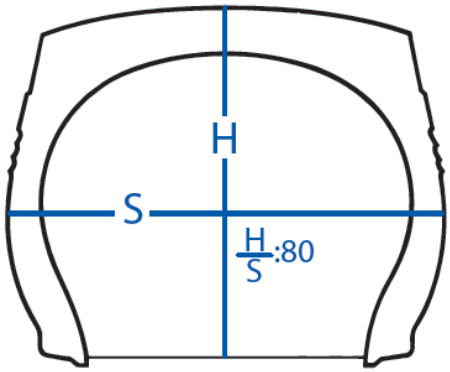


Nota. Tomada de *Guía de utilización y mantenimiento*. Michelin (2012).

- **Serie 80.** La razón H/S es aproximadamente igual a 0.80; (ver Figura 7).
  El ancho de la sección se expresa en:
  Pulgadas y fracción de pulgadas. Ejemplos: 8.25 R 15, 20.5 R 25
  Número entero de pulgadas seguido del número 80. Ejemplo: 59/80 R 63
  Neumáticos para camiones dumper rígidos, camiones dumper articulados, cargadores, máquinas de manutención, etc.

Figura 7

Neumático Serie 80

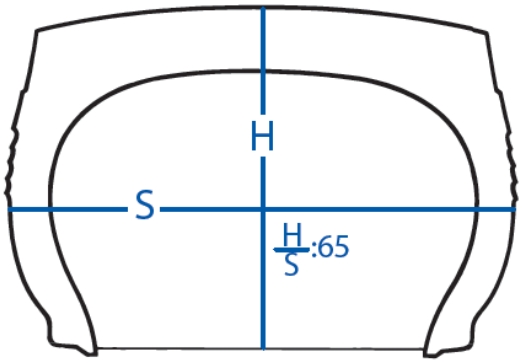


Nota. Tomada de *Guía de utilización y mantenimiento*. Michelin (2012).

- **Serie 65.** La razón H/S es aproximadamente igual a 0.65; (ver Figura 8).
- El ancho de la sección se expresa en un número entero de pulgadas o milímetros, seguido del número 65. Ejemplos: 35/65 R 33, 750/65 R 25
- Neumáticos para grandes cargadores, camiones dumper articulados, etc.

Figura 8

Neumático Serie 65

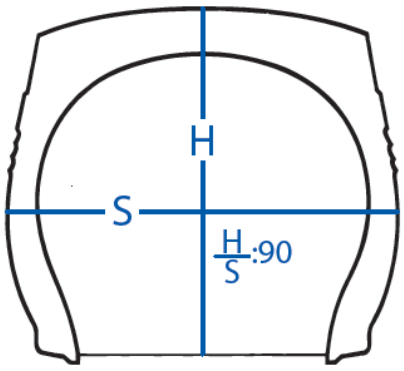


Nota. Tomada de *Guía de utilización y mantenimiento.* Michelin (2012).

- **Serie 90:** La razón H/S es aproximadamente igual a 0.90; (ver Figura 9).
- El ancho de la sección se expresa en un número entero de pulgadas seguido del número 90. Ejemplo: 50/90 R 57
- Neumáticos para camiones dumper rígidos.

Figura 9

Neumático Serie 90



Nota. Tomada de *Guía de utilización y mantenimiento*. Michelin (2012).

Existen otras razones de aspecto para los neumáticos: como las series 95, 75, etc.

2.4.2.2 Según los códigos de uso normalizados ISO-ETRTO-TRA-JATMA (ver Figura 10).

Las cuatro grandes categorías de neumáticos de ingeniería civil se definen tomando en cuenta el uso al cual serán destinados estos. Ella se indica normalmente en el flanco del neumático.

- *C = Compactor (compactadora)*
- *G = Grader (moto-niveladora)*
- *E = Earthmoving (transporte)*
- *L = Loader and bulldozer (cargador y bulldozer)*

Además de la capacidad de carga, esta letra indica la condición de utilización y, en particular, el aspecto cíclico de las condiciones de carga/velocidad. De esta manera, para la letra E (Transporte), la máquina transporta una carga desde el punto A al punto B y luego regresa vacía al punto A.

Figura 10

Normas internacionales para neumáticos



Nota. Tomada de *Guía de utilización y mantenimiento*. Michelin (2012).

2.4.2.3 Según la profundidad de escultura.

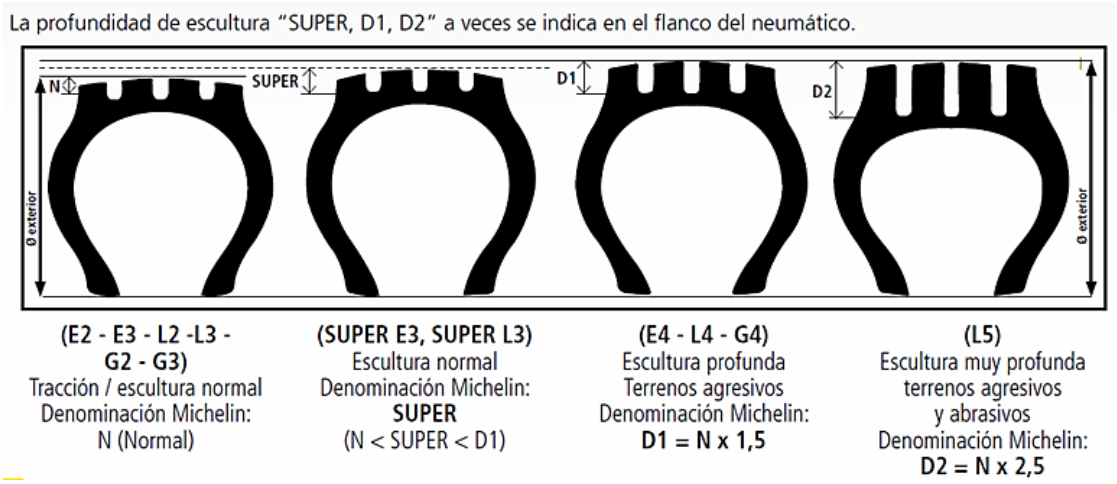
En estas categorías, existen diferentes profundidades de escultura y formas de escultura especialmente adaptadas a usos muy específicos; se les identifica mediante una cifra.

Se les debe seleccionar en función del tipo de suelos previsto y de las probables condiciones de operación del neumático;(ver Figura 11).

- **1:** En línea (profundidad normal de la escultura).
- **2:** Tracción (profundidad normal de la escultura).
- **3:** Normal (profundidad normal de la escultura).
- **4:** Profunda (escultura profunda).
- **5:** Muy profunda (escultura muy profunda).
- **7:** Flotación (escultura normal).

Figura 11

Profundidad de escultura de los neumáticos



Nota. Tomada de *Informaciones técnicas ingeniería civil, obras públicas y minas.* Michelin (2012).

Además, Michelin aporta una identificación complementaria a la mayoría de sus neumáticos de obras públicas.

- T = Tracción.
- R = Roca.
- V = Velocidad.
- F = Flotación.
- P = Polivalente.
- S/R = Liso/ Roca.

Ejemplo: L3T neumático con profundidad de escultura normal (L3; código de identificación normalizado) y tracción (T; código complementario de identificación Michelin); ver Figura 12.

Figura 12

Neumático de referencia según escultura y utilización

Referencia	Escultura	Utilización
C1	Lisa	compactadora
E1	Acanalada	transporte
E2	Tracción (profundidad de escultura normal)	
E3	Normal (profundidad de escultura normal)	
E4	Profunda (escultura profunda)	
E7	Flotación	
G1	Acanalada	Niveladora
G2	Tracción (profundidad de escultura normal)	
G3	Normal (profundidad de escultura normal)	
G4	Profunda (escultura profunda)	
G5	Muy profunda (escultura muy profunda)	
L2	Tracción (profundidad de escultura normal)	Pala mecánica Bulldozer
L3	Normal (profundidad de escultura normal)	
L4	Profunda (escultura profunda)	
L5	Muy profunda (escultura muy profunda)	
L3S	Lisa	
L4S	Lisa (escultura espesa)	
L5S	Lisa (escultura muy espesa)	

Nota. Tomada de *Informaciones técnicas ingeniería civil, obras públicas y minas*. Michelin (2012).

2.4.3 Tipos de compuesto de Gomas

2.4.3.1 Compuesto de gomas en neumáticos Michelín

- **Tipo A4.** Particularmente resistente a los cortes, arrancamientos y abrasión.
- **Tipo A.** Particularmente resistente a los cortes, arrancamientos, abrasión y a velocidades medias más elevadas que el tipo A4.
- **Tipo B4.** Compromiso entre la resistencia a la abrasión y al calentamiento sobre suelos de poca agresividad.
- **Tipo B.** Resistencia al calentamiento sobre suelos poco agresivos.
- **Tipo C4.** Particularmente adaptado a los rodajes muy rápidos en ciclos largos.
- **Tipo C.** Muy resistente al calentamiento durante largos trayectos y rodaje intensivo.

En la Figura 13, podemos apreciar los distintos tipos de goma de los neumáticos Michelin.

Figura 13

Tipo de goma según TKPH y condición de pista



Nota. Tomada de *Informaciones técnicas ingeniería civil, obras públicas y minas*. Michelin (2012).

2.4.4 Principales causas de deterioro de un neumático

2.4.4.1 Condiciones climáticas

Un clima seco o húmedo, una temperatura más o menos elevada influyen también en la integridad del neumático.

2.4.4.2 Fuerzas mecánicas

Daños que pueden ser causados o agravados por:

- El martilleo ligado al impacto regular de los panes de la escultura sobre un suelo liso y muy duro, recorrido a alta velocidad.

- La fuerza centrífuga, ligada a la curvatura de las curvas y a la velocidad con las que se les toma.

- Golpes sobre suelos mal mantenidos (mala nivelación, presencia de piedras, huecos, canaletas, etc.).

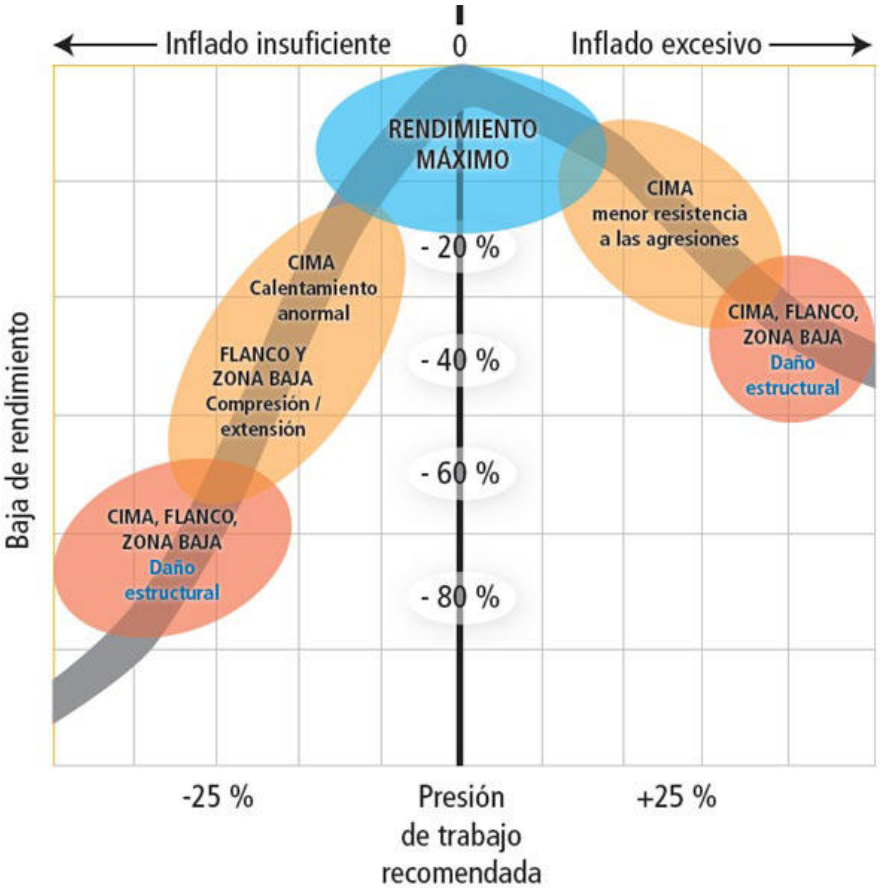
2.4.4.3 Presión de inflado

Impacta directamente el periodo de vida útil de un neumático, el cual es afectado considerablemente en caso de inflado insuficiente o excesivo, ver Figura 14.

- **Inflado insuficiente:** aumento de la flexión de los flancos del neumático, lo que provoca una elevación de su temperatura interior y un desgaste irregular;
- **Inflado excesivo:** desgaste precoz de la banda de rodamiento, mayor sensibilidad a los golpes y cortes, desgaste irregular.

Figura 14

Degradación del rendimiento del neumático en función de una presión inadecuada.



Nota. Tomada de *Guía de utilización y mantenimiento*. Michelin (2012)

2.4.4.4 Sobrecarga

Elevación anormal de la temperatura, aumento de la flexión y debilitamiento de los flancos del neumático que pueden conducir a un desecho prematuro, incluso si la banda de rodamiento tiene poco desgaste.

Impacto en la falta de control de la carga útil:

- Baja confianza en alcanzarlos objetivos de carga útil.
- Alta dispersión de cargas.
- Ineficiencia por presencia de cargas bajas.
- Sobrecargas en camiones con riesgo de afectar su condición mecánica, su certificación, disponibilidad y vida de llantas; (ver Figura 15).
- Baja reconciliación entre los tonelajes obtenidos de los levantamientos topográficos y los obtenidos en el minado.
- Alto número de eventos mecánicos del camión sin control (VIMS, MSH).
- Bajo monitoreo sobre el estado de balanzas: criterio del operador.
- Exceso de refuerzos en tolvas.
- Cargas descentradas (ver Figura 16).
- Incidencia de material pegado en las tolvas: «carga muerta».
- Derrame innecesario de material.

Figura 15

Rotura de chasis del equipo por sobrecarga



Nota. Elaboración propia.

Figura 16

Carga descentrada en camión CAT 793F TR-11



Nota. Elaboración propia.

- **Regla del 10/10/20 Caterpillar para la administración de cargas.**

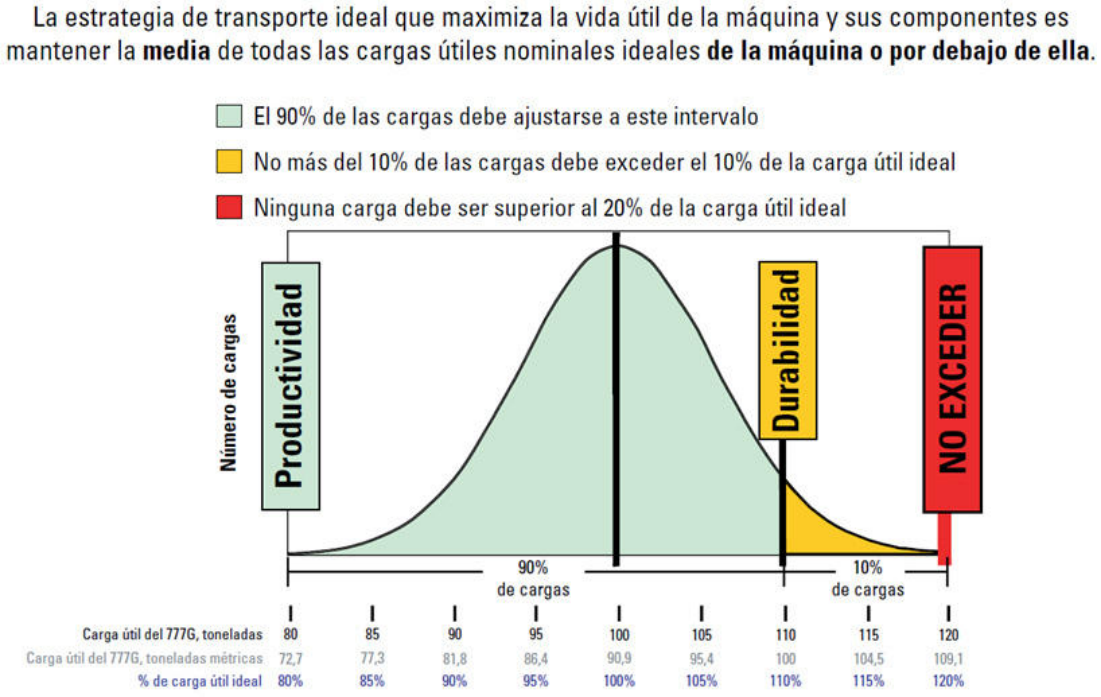
  Esta política para camiones nos indica que no más del 10% de las cargas útiles puede exceder 1.1 veces la carga útil ideal máxima del camión. Ninguna carga útil individual puede exceder 1.2 veces la carga útil ideal máxima; ver Figura 17.

  Para que se cumpla esta regla el equipo utiliza el sistema Vims.

  VIMS = Vital Information Management System. Es decir: Sistema de Administración de Información Vital. Una de sus funciones es recolectar datos de carga útil para producción.

Figura 17

Política de gestión de carga útil 10/10/20.



Nota. Tomada de *Dúmper rígido 777G*. Caterpillar (2012).

2.4.4.5 Velocidad excesiva

Elevación anormal de la temperatura interior del neumático hasta el sobrecalentamiento de sus componentes, causando un deterioro irreversible de su estructura.

2.4.4.6 Número considerable de golpes, repetidos y violentos.

Debido a que el neumático está expuesto a todas las condiciones del terreno y dependiendo del estado de las vías, este puede sufrir daños por golpes y/o impactos contra rocas, huecos en las vías, bermas, lo que podría reducir su vida útil; ver Figura 18.

Figura 18

Corte en flanco por golpe contra roca



Nota. Elaboración propia.

2.4.4.7 Combinación de los elementos antes mencionados.

El rendimiento y vida útil del neumático puede verse afectado por la combinación de las causas de deterioro ya mencionadas.

2.4.4.8 Deterioros térmicos

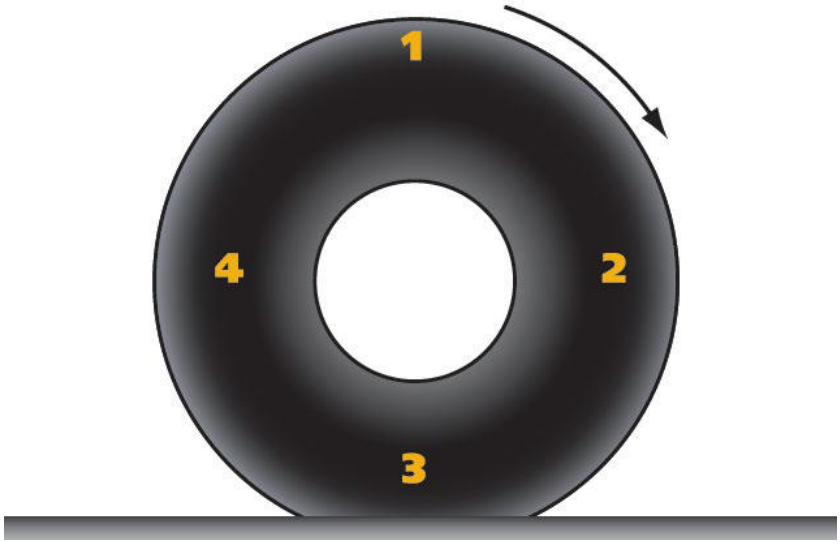
El funcionamiento térmico del neumático es fundamental dado que es el factor clave que explica una gran parte de los daños.

Para comprender la causa se debe recordar el ciclo de trabajo de un neumático (ver Figura 19).

- **Posición 1**. Neumático sin esfuerzo de carga.
- **Posición 2**. A medida que el neumático gira, los flancos se aplastan causando el calentamiento de sus componentes internos.
- **Posición 3**. En el punto de contacto con el suelo, la intensidad del calentamiento es máxima; ésta disminuye después de manera gradual (posición 4) hasta regresar a la posición inicial (posición 1); ver Figura 20.

Figura 19

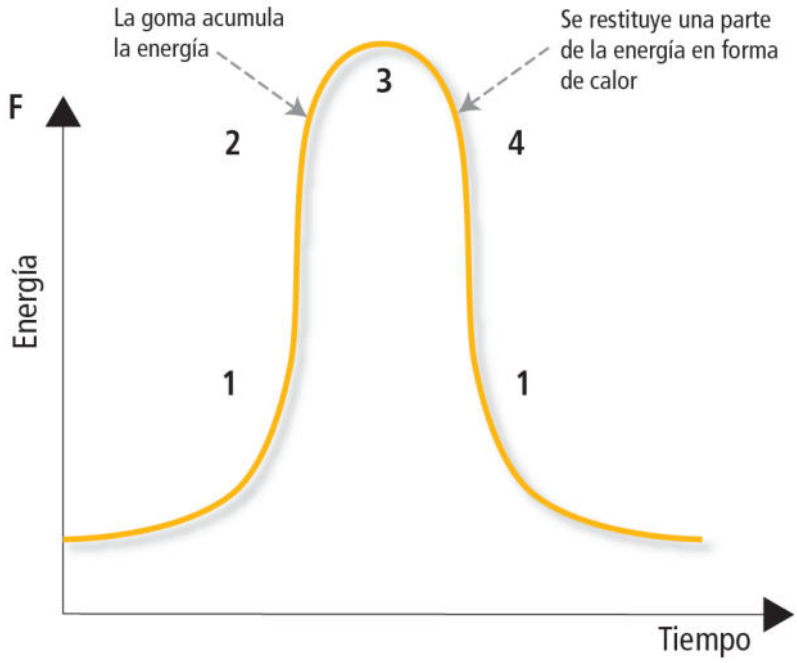
Ciclo de trabajo de un neumático



Nota. Tomada de *Guía de utilización y mantenimiento*. Michelin (2012).

Figura 20

Energía vs tiempo en el ciclo de trabajo del neumático



Nota. Si se repite este ciclo de manera demasiado rápida, se excede la temperatura óptima de funcionamiento del neumático, lo que conlleva una degradación irreversible de sus componentes. Tomada de *Guía de utilización y mantenimiento*. Michelin (2012).

Separación de los componentes. El resultado de un calentamiento excesivo es normalmente una separación de los componentes de los neumáticos (entre la banda de rodamiento y la carcasa, ver Figura 21), provocado por una o varias de las causas descritas anteriormente.

Las consecuencias de tales separaciones pueden ser peligrosas. Por esto, cuando aparecen se debe proceder a un examen profundo del neumático para comprender sus causas y solucionarlas.

Figura 21

Separación de los componentes de un neumático



Nota. Tomada de *Guía de utilización y mantenimiento*. Michelin (2012).

Para evitar estos problemas se debe verificar:

- Regularmente la presión y si fuese necesario ajustarla.
- Periódicamente las cargas y su correcto estibado.
- Los ciclos de desplazamiento y la velocidad real de explotación.
- Los componentes de los frenos del vehículo.

2.4.5 TKPH (Tonelada kilómetro por hora)

El TKPH (Toneladas Kilómetro por Hora) o TMPH (Tonelada Milla por Hora) es una característica de la capacidad de trabajo de un neumático. Esta característica es función de un factor esencial cuando de utiliza el neumático, que es la temperatura máxima de funcionamiento admisible.

2.4.5.1 TKPH neumático

El TKPH neumático depende del diseño de los neumáticos, y varía dependiendo de los tipos y dimensiones de las cubiertas. Los valores de TKPH figuran entre las características del neumático.

Son funciones de la carga nominal propia de cada dimensión, del número de kilómetros permitidos por hora por tipo de neumático y se dan para una temperatura ambiente normalizada de 38 °C.

La relación que permite convertir TKPH a TMPH es mediante la ecuación (1).

$$\boldsymbol{TMPH = TKPH \times 0.685} \quad (1)$$

El cálculo del TMPH tiene en cuenta la “short ton” (tonelada corta) que equivale a 2000 lb, es decir 907 kg (Michelin, 2012).

2.4.5.2 TKPH explotación de base

Define la necesidad específica de la explotación y se obtiene mediante la ecuación (2), (Michelin, 2012).

$$\boldsymbol{TKPH\ explotación\ de\ base = Qm \times Vm} \quad (2)$$

Donde:

Qm **=** Carga media por neumático en toneladas

Vm **=** Velocidad media (en km por hora) en el ciclo cuya velocidad media es la más elevada.

- **Carga media por neumático (Qm).** Se obtiene con la ecuación (3); (Michelin, 2012).

$$\boldsymbol{Qm = \frac{Qv + Qc}{2}} \quad (3)$$

Donde:

Qm **=** Carga media por neumático.
Qv **=** La carga por neumático, vehículo vacío, expresada en toneladas.
Qc **=** La carga por neumático, vehículo con carga, expresada en toneladas.

El cálculo de Qm deberá efectuarse teóricamente para cada neumático. En la práctica, supondremos, a falta de medida, que cada neumático de un mismo eje soporta la misma carga. Cuyo cálculo se hará para el eje delantero y para el eje trasero. Conservaremos el valor de Qm más elevado.

Generalmente, para los dúmperes con dos ejes, la distribución del peso total con carga (peso en vacío + carga útil) es de 33,3 % para el eje delantero en monta sencilla y de 66,7 % para el eje trasero en monta gemela. En vacío, el eje delantero es siempre el más pesado. Por tanto, Qm afectará casi siempre a la posición delantera.

Nota importante, siempre hay que tener en cuenta la distribución de la carga delantera y trasera con el neumático desinflado.

Por supuesto, el estudio de la obra (o, en ausencia de las informaciones obtenidas), los pesajes, y las características de los constructores, proporcionarán los elementos de base que permitirán definir y validar las cargas por neumático. (Michelin, 2012).

- **Velocidad media del ciclo de referencia (Vm).** Se obtiene por la ecuación (4), (Michelin, 2012).

$$\boldsymbol{Vm = \frac{L}{H}} \quad (4)$$

Donde:

Vm **=** Velocidad media por neumático.

L **=** Longitud del ciclo en kilómetros. El ciclo de referencia debe ser aquel donde la velocidad media es la más elevada.

H **=** Duración del ciclo en horas.

2.4.5.3 TKPH real de la explotación

Con la fórmula **Qm** x **Vm**, obtendremos el TKPH básico de la explotación.

Según Michelin (2012). Para obtener el TKPH real de la explotación, hay que tener en cuenta otros dos parámetros influyentes: La longitud de los ciclos que superen 5 km y la temperatura ambiente.

- **Longitud de ciclo (L)**
  Para los ciclos > a 5 km, aplicar al TKPH explotación de base el coeficiente "K1", cuyos valores se dan en la tabla del Anexo 1.

- **Temperatura ambiente en la explotación (TA)**
  Para una misma velocidad, una temperatura ambiente en la explotación superior a 38 °C (100 °F) aumenta el TKPH real de explotación.

Por el contrario, una temperatura ambiente en la explotación inferior a 38 °C (100 °F) disminuye el TKPH real de explotación.

El coeficiente "K2" se aplicará al TKPH base de explotación

Su cálculo difiere dependiendo de la temperatura ambiente básica de la obra, sea superior o inferior a 38 °C.

Si la TA < 38°C, ver ecuación (5), (Michelin, 2012).

$$\boldsymbol{K2 = \frac{1}{\frac{1 - [0.25 \times (TA - TR)]}{Vm}}} \quad (5)$$

Donde:

Vm **=** Velocidad media en el ciclo de referencia de la explotación.
TA **=** Temperatura ambiente.
TR **=** Temperatura de referencia (38°C).

Si la TA > 38 °C, ver ecuación (6), (Michelin, 2012).

$$\boldsymbol{K2 = \frac{1}{\frac{1 - [0.40 \times (TA - TR)]}{Vm}}} \quad (6)$$

Donde:

Vm = Velocidad media del ciclo de explotación.
TA = Temperatura ambiente.
TR = Temperatura referencia (38°C o 100°F).

La temperatura ambiente de la explotación (TA) que hay que tener en cuenta es “la temperatura máxima a cubierto” durante el periodo de más calor.

- Para las temperaturas TA > 15 °C (59 °F), consultar la tabla de coeficientes K2 del Anexo 2.

- Para las temperaturas inferiores a 15 °C (59 °F), consultar los coeficientes K2 del Anexo 2.

En resumen, para calcular el TKPH real de explotación, el procedimiento es el siguiente:

- Cálculo del TKPH explotación de base.

- Corrección para la longitud del ciclo > 5 km con el coeficiente K1.

- Corrección para una temperatura ambiente diferente de 38 °C mediante el coeficiente K2.

El TKPH real de explotación se obtiene mediante la ecuación (7), (Michelin, 2012).

$$\boldsymbol{TKPH\ real\ explotaci\acute{o}n} = TKPH\ explotación\ base\ \times \boldsymbol{K1} \times \boldsymbol{K2} \quad (7)$$

Donde:

K1 y K2 = Factores de corrección.

2.4.5.4 Comparación TKPH del neumático y TKPH real de explotación

Según Michelin (2012). La elección de la escultura se decide en función de las necesidades de tracción, de protección y velocidad, hay dos casos posibles:

- **TKPH neumático > TKPH real explotación,** el neumático conviene.
- **TKPH neumático < TKPH real explotación,** el neumático no conviene.

En este caso:

Ver si otra escultura o tipo puede ser compatible.

Ver si es posible una modificación de las condiciones de utilización (disminución de carga y/o velocidad).

El neumático es térmicamente adaptado al uso si:

TKPH neumático > TKPH real explotación

Capacidad de trabajo del neumático > trabajo solicitado en la operación.

2.4.5.5 Ejemplo de cálculo del TKPH

Para un mayor entendimiento, ver el ejemplo del cálculo de TKPH de un ciclo en el Anexo 3.

III VIABILIDAD DEL PROYECTO

3.1 Viabilidad para la aplicación del análisis de TKPH

Para realizar el análisis de TKPH, se utiliza la información proporcionada por el VIMS, este sistema se encuentra implementado en los camiones CAT 793F, estos datos (información de 36,131 ciclos, las cargas, tiempos y distancias de ciclos, principalmente) nos mostrarán la exigencia de trabajo que soportan los neumáticos.

Previamente se realizará un análisis de cargas y velocidades medias para ver si se vienen superando los parámetros de las capacidades de los neumáticos Michelin y su influencia en el TKPH.

Para este análisis se considerará como factor K2, la temperatura máxima promedio diaria de 18.9 °C, dato según la estación metereológica de Yauri.

Es importante considerar los parámetros establecidos de los neumáticos Michelin usados en mina Constancia (según la ficha técnica del neumático, Anexo 4), ver Tabla 1.

Tabla 1

Parámetros de neumáticos Michelin

Neumático	Dimensión	Diseño	Compuesto	Velocidad Media	Carga Media	TKPH
Michelin	50/80R57	XDR250	B	24	70	1286
Michelin	50/80R57	XDR250	B4	20	70	1072

Nota. Elaboración propia.

IV PRODUCTOS/ RESULTADOS ESPERADOS DEL PROYECTO

4.1 Análisis de cargas

4.1.1 Política del 10/10/20

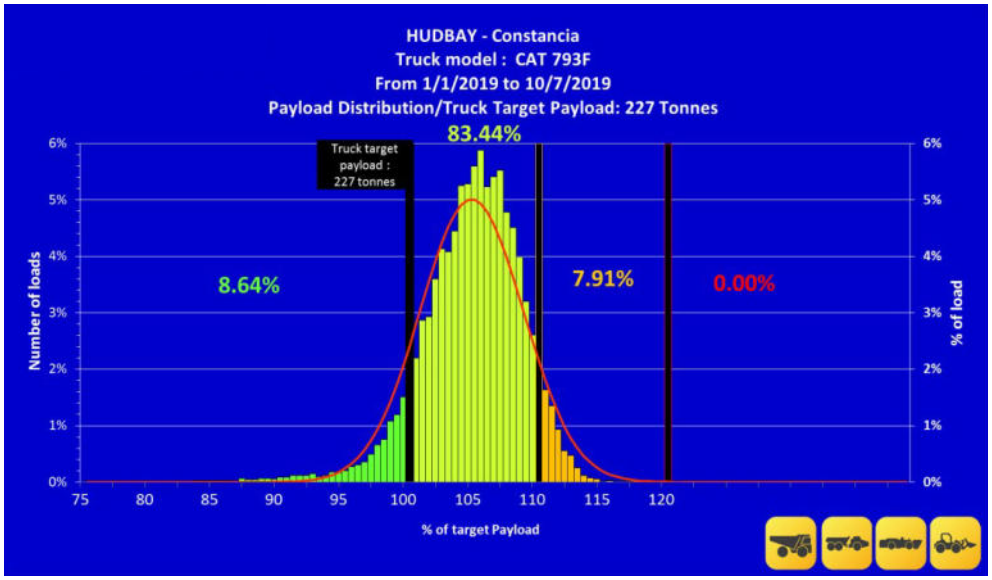
Para este análisis se utilizaron todos los ciclos realizados desde inicios de enero hasta la segunda semana de julio (36,131 ciclos).

El gráfico del análisis 10/10/20 nos muestra que un 8,6 % de cargas se encuentran dentro de la carga útil del camión (227 toneladas, 100 %, ver Anexo 6), un 83,4 % de cargas entre el 100 % - 110 % de carga útil (rango de productividad) y un 7,9 % dentro del rango de durabilidad (110 % - 120 %), carga aceptada por el fabricante del equipo.

No se registraron cargas que superen el 120 % de la carga útil del camión (rango inaceptable); ver Figura 22 y Tabla 2.

Figura 22

Distribución de cargas CAT 793F – Política 10/10/20



Nota. Programa de cálculo Michelin.

Tabla 2

Porcentaje de la distribución de cargas

	Rango de productividad	Rango de durabilidad	No cargas
% de cargas	92.08%	7.91%	0%

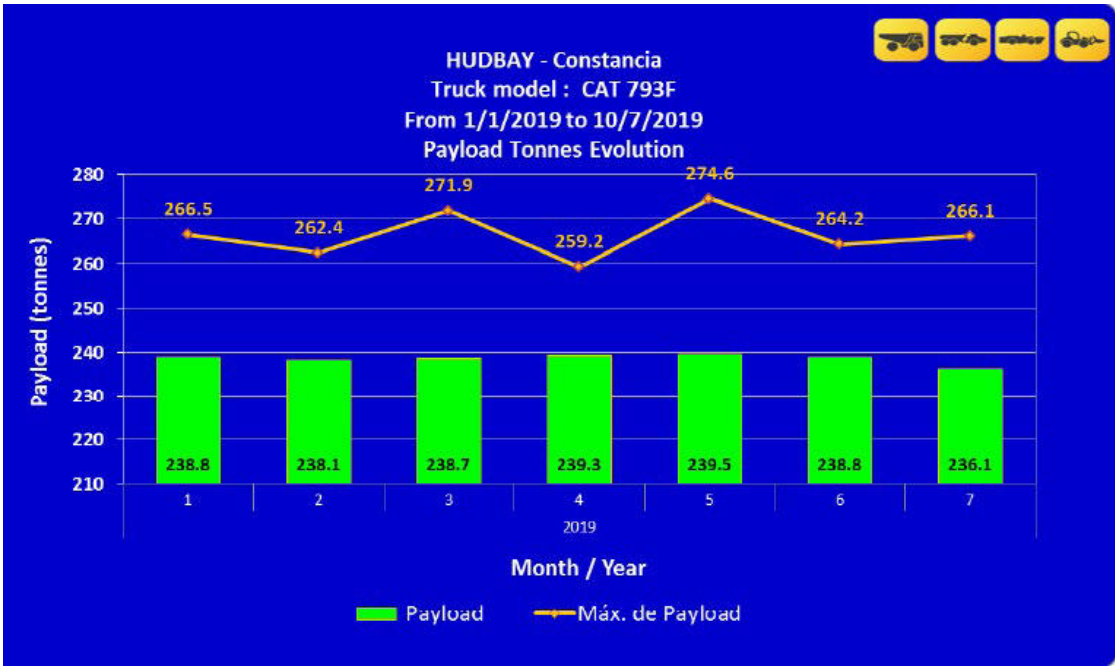
Nota. Elaboración propia.

4.1.2 Evolución de la carga útil

En el periodo de los meses estudiados, se tuvo una carga útil promedio de 238.47 Tm (toneladas métricas), también existieron cargas con picos de hasta 274.6 Tm. en los meses de marzo y mayo; ver Figura 23.

Figura 23

Evolución de la carga útil



Nota. Programa de cálculo Michelin

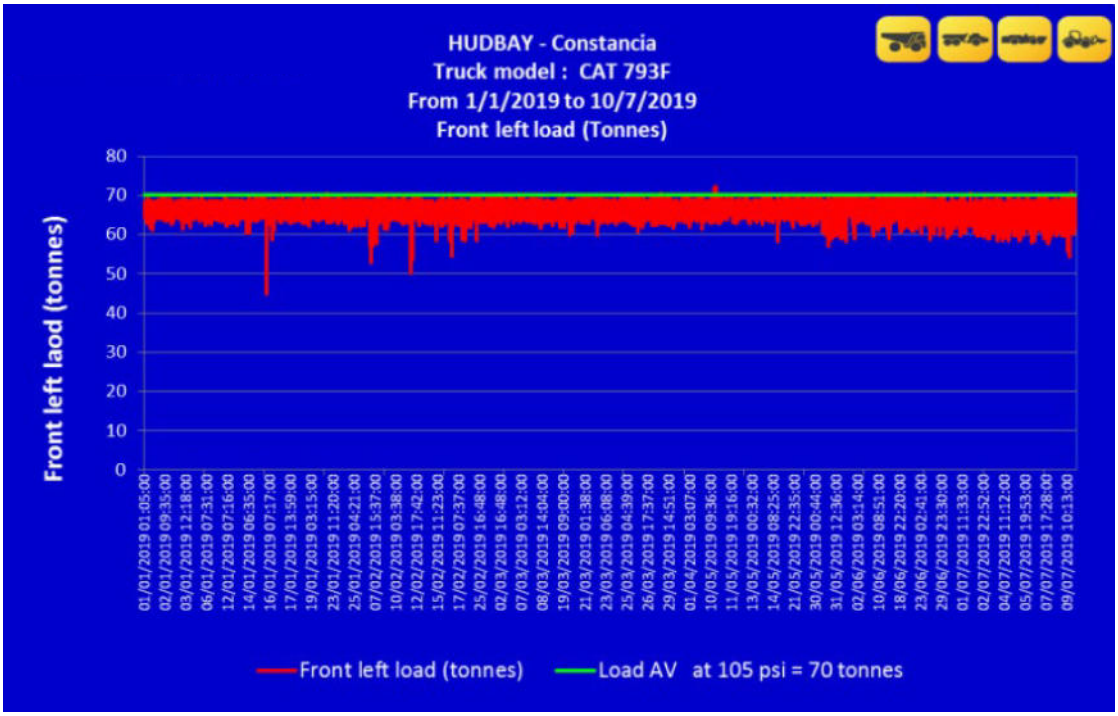
4.1.3 Análisis de carga eje delantero

Los neumáticos del eje delantero (según sus especificaciones y presión de aire a 105 psi) tienen una capacidad de carga de 70 toneladas métricas (ver Anexo 5).

En el periodo de enero a julio, se tuvo una carga útil promedio de 66 Tm, sin embargo, también existieron cargas con picos de hasta 72 Tm en los meses de marzo y mayo; ver Figura 24 y 25.

Figura 24.

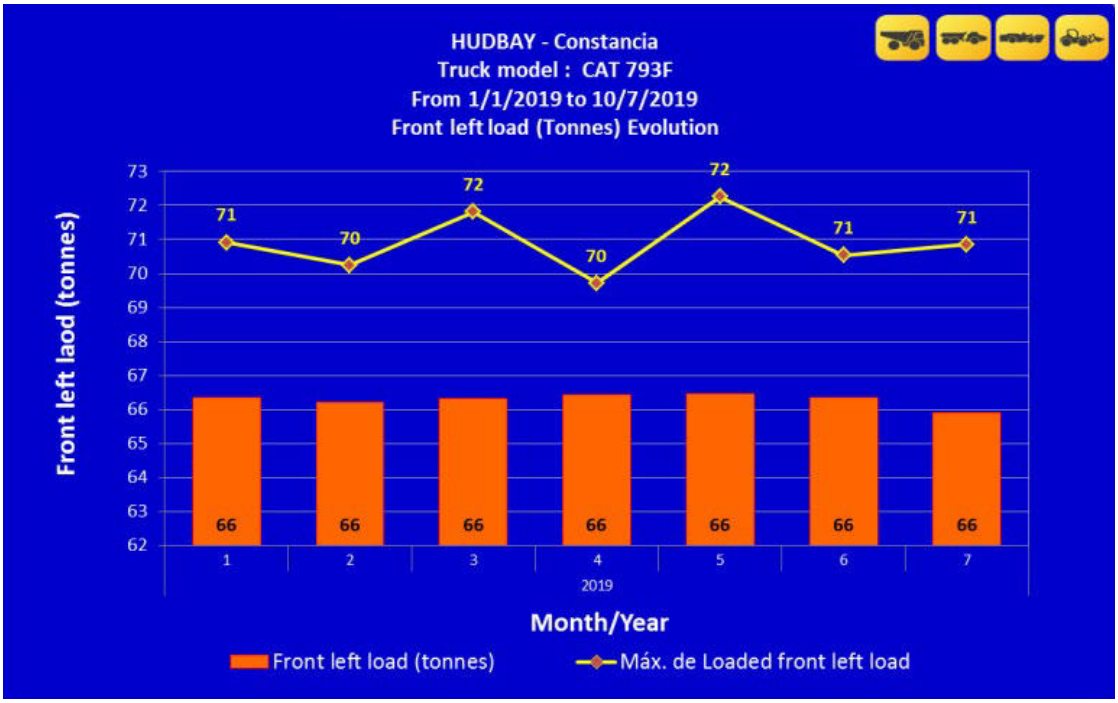
Análisis de carga en el eje delantero



Nota. Programa de cálculo Michelin.

Figura 25

Evolución de la carga útil en el eje delantero

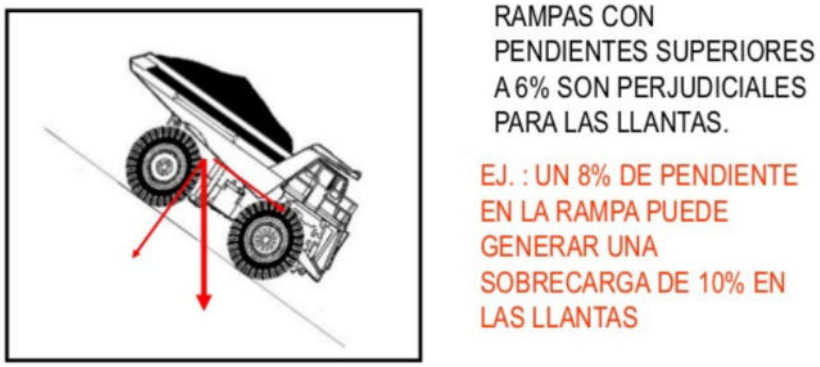


Nota. Programa de cálculo Michelin

Mina Constancia tiene vías con pendientes de hasta 10 % de gradiente, motivo por el cual, los camiones bajan cargados. Esta condición genera una transferencia de carga hacia el eje delantero por efecto de la pendiente en la misma proporción, lo que influiría en la aparición de picos de hasta 72 Tm (ver Figura 26).

Figura 26

Sobrecarga en pendiente.



Nota. Tomada de *El cuidado de las llantas OTR*. Reptell (s.f.).

4.1.4 Análisis de carga eje posterior

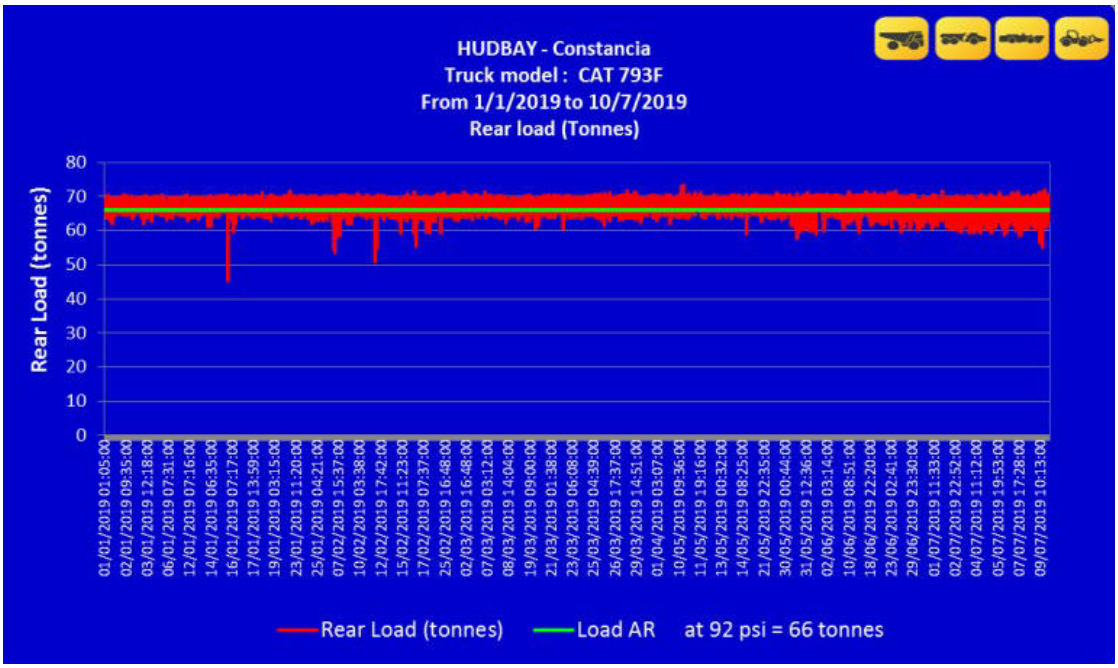
Los neumáticos del eje posterior (según sus especificaciones y presión de aire a 92 psi) tienen una capacidad de carga de 66 toneladas métricas.

En el análisis de cargas del eje posterior se observa que un 62 % de cargas por encima de las especificaciones del neumático, ver Figura 27.

En el periodo de enero a julio, se tuvo una carga útil promedio de 66 Tm, sin embargo, también existieron cargas con picos de hasta 73 Tm en los meses de marzo y mayo; ver Figura 28.

Figura 27

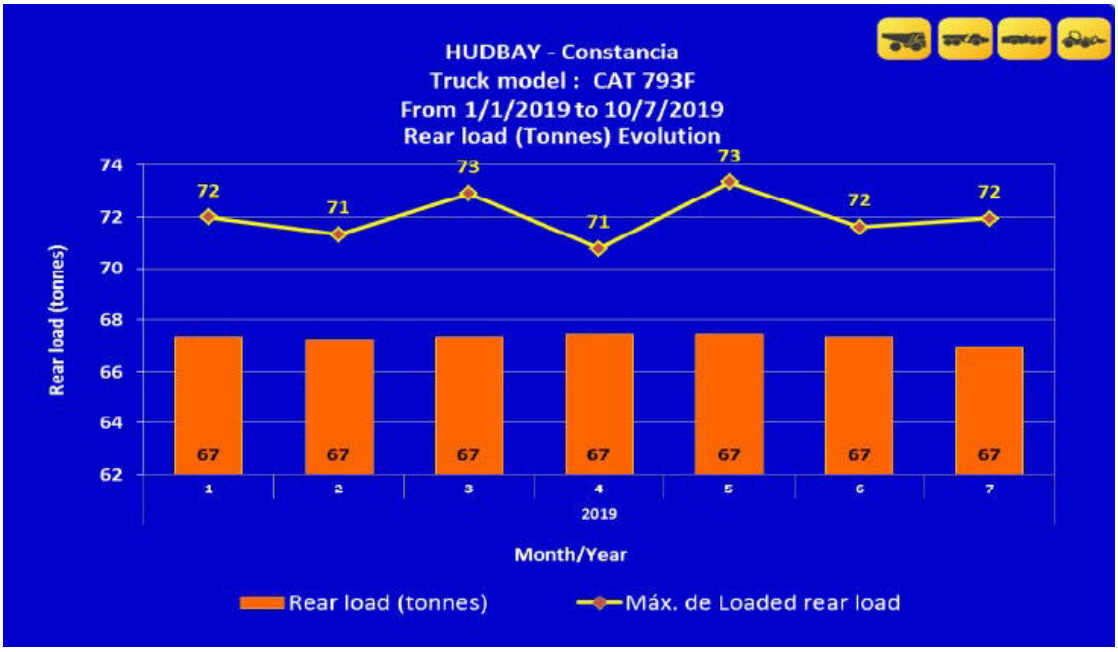
Análisis de carga en el eje posterior



Nota. Programa de cálculo Michelin.

Figura 28

Evolución de la carga útil en el eje posterior



Nota. Programa de cálculo Michelin.

4.2 Análisis de velocidad media

Según especificaciones, la velocidad media para los neumáticos 50/80R57 XDR250 compuesto B es de 24 km/h y para el compuesto B4 es de 20 km/h (ver Anexo 4).

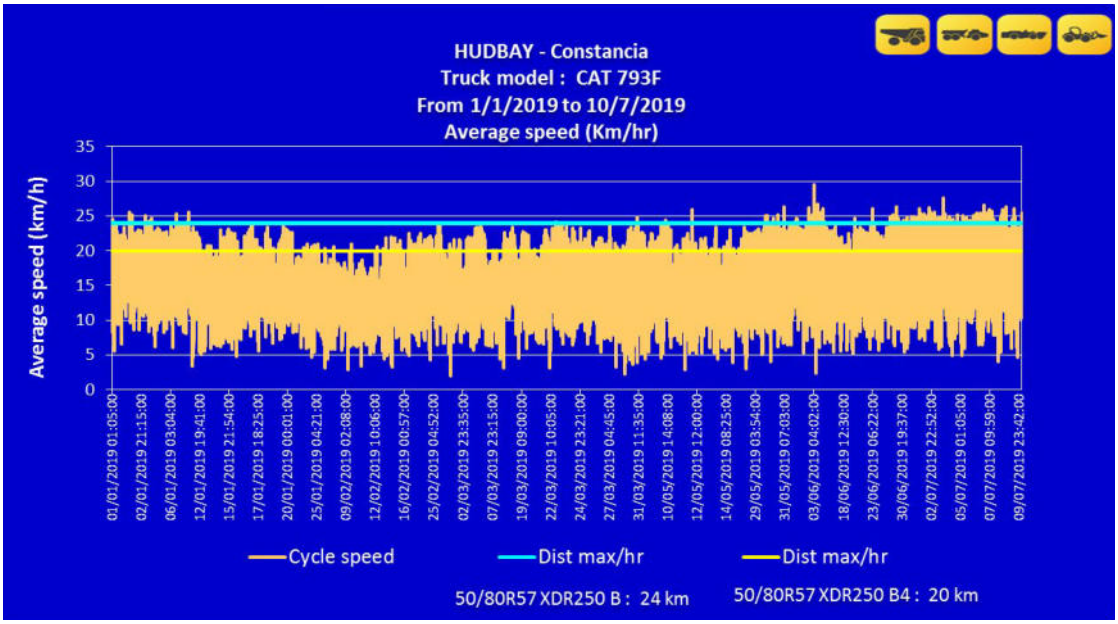
En el periodo de enero a julio, se tuvo una velocidad media de 16 km/ h, sin embargo, se tuvieron picos de hasta 30 km/h. Existe un incremento de velocidad media en los meses de junio y julio, esto podría estar ligado a la temporada seca (ver Figura 29).

Para los neumáticos del compuesto B, la velocidad media se encuentra dentro de la especificación del compuesto, pero con algunos ciclos por encima de la especificación en los meses de junio y julio.

Para los neumáticos del compuesto B4, el 20 % de los ciclos se encuentran por encima de la especificación del compuesto.

Figura 29

Análisis de velocidad media



Nota. Programa de cálculo Michelin.

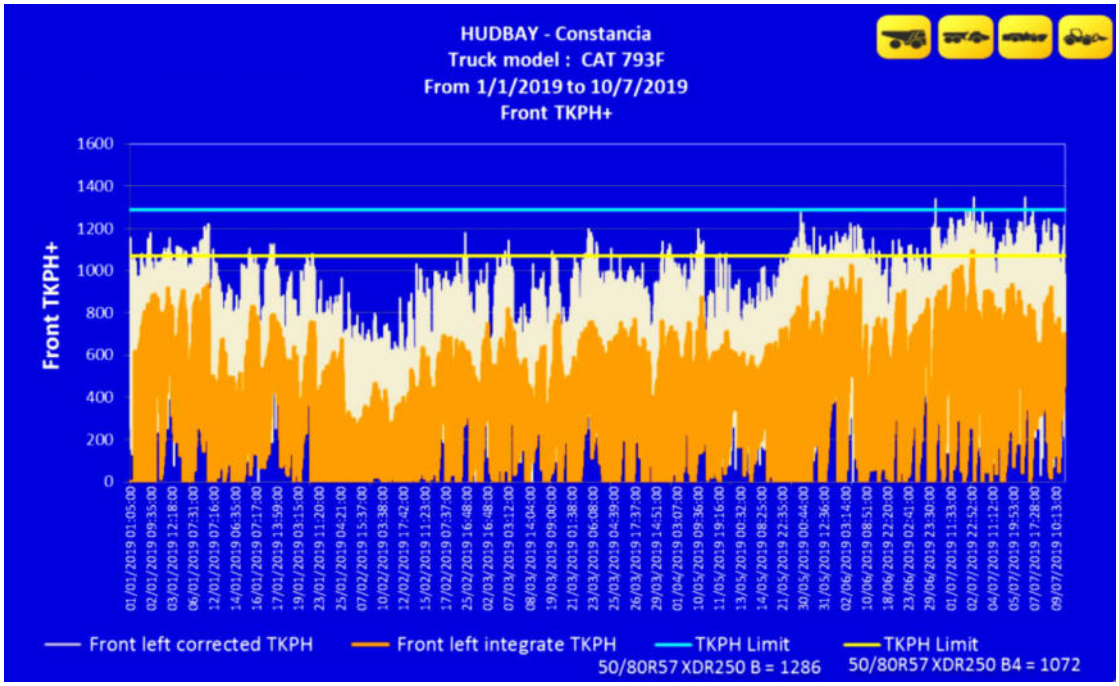
4.3 Análisis de TKPH eje delantero y eje posterior

Según especificaciones, el valor de TKPH para los neumáticos 50/80R57 XDR250 compuesto B es de 1286 y para el compuesto B4 es de 1072.

Se realizó un análisis de TKPH corregido (explotación base) e integrado (real de explotación) para cada eje. El TKPH de ambos neumáticos es mayor al TKPH integrado (real de explotación) Existe un incremento de TKPH a partir de los meses de mayo, junio y julio, esto estaría relacionado con el incremento de velocidad media en esos meses; ver Figura 30 y Figura 31.

Figura 30

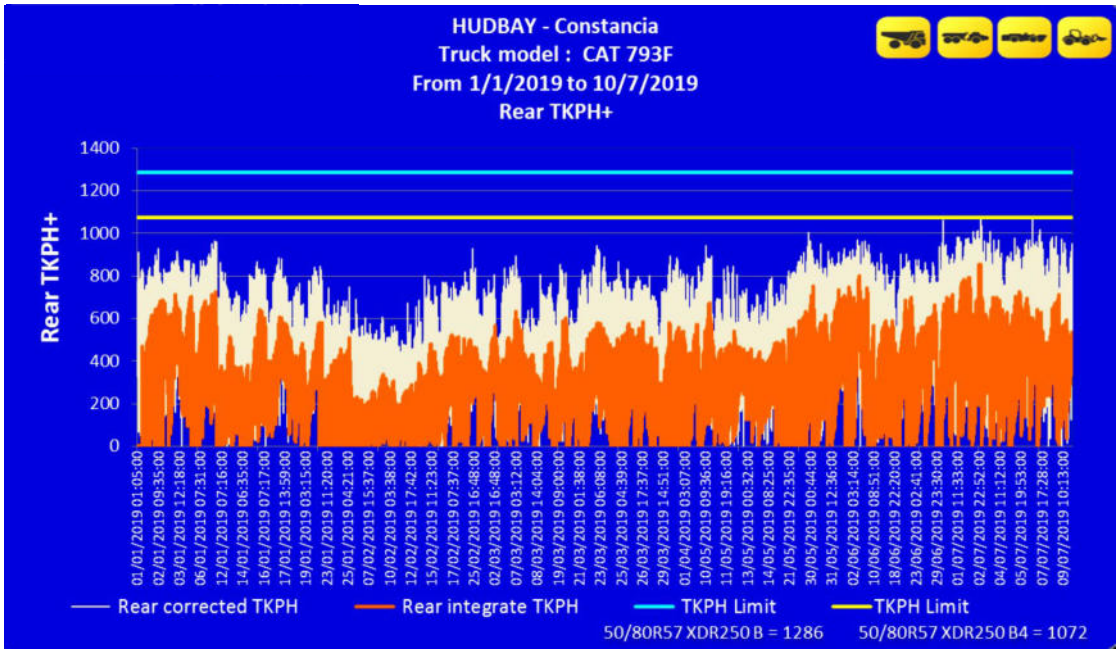
TKPH Corregido vs TKPH neumático – Eje delantero.



Nota. Programa de cálculo Michelin.

Figura 31

TKPH Corregido vs TKPH neumático – Eje posterior



Nota. Programa de cálculo Michelin.

4.4 Resultados

- Tras el análisis de gestión de cargas bajo la política del 10/10/20, se determinó que la mayoría de las cargas se encuentran dentro del rango de productividad y un 7.9 % en el rango tolerable de carga que puede soportar el camión, no se registraron cargas prohibidas.

- Como resultado del análisis de cargas por ejes, un 62% de las cargas superaron las especificaciones de carga de los neumáticos posteriores, esto estaría relacionado con las cargas que se encuentran en el rango tolerable. En el eje delantero, la mayoría de cargas se encuentran dentro de las especificaciones de los neumáticos.
- Luego del análisis de velocidades medias, para los neumáticos del compuesto B, estas se encuentran dentro de sus especificaciones, sin embargo, para los neumáticos del compuesto B4, un 20 % se encuentra sobre sus especificaciones.

- Finalmente, mediante el análisis de TKPH realizado, se determinó que tanto el neumático Michelin 50/80R57 XDR250 del compuesto B y compuesto B4, son los adecuados para las condiciones de uso y parámetros actuales con los que vienen trabajando los camiones Caterpillar 793F, puesto que, el TKPH real de explotación (TKPH integrado con K1 y K2) está por debajo del TKPH de ambos neumáticos.

V ASPECTOS COMPLEMENTERIOS/ RECOMENDACIONES

5.1 Recomendaciones

- Respetar los parámetros de carga y principalmente los de velocidad, porque en los meses donde se incrementó la velocidad media, en la misma medida aumento los índices de TKPH operacional (por lo que tiene una mayor influencia), pudiendo alcanzar el TKPH del neumático, lo que provocaría el calentamiento de los neumáticos, menores rendimientos, posibles bajas por separaciones térmicas y/o algún accidente.

- Se recomienda utilizar al 100% el sistema de monitoreo de neumáticos “MEMS 4” (Michelin Earthmover Management System) no solo para controlar las presiones y temperaturas de los neumáticos en tiempo real de manera remota, también para monitorizar las velocidades de los camiones en distintas zonas y rutas de la mina, creando geocercas virtuales configurados con límites de velocidad, donde si un camión excede el límite de velocidad de esa zona, se notificará con una alarma a la supervisión o encargado del “Dispatch”, para que tomen las acciones correspondientes. De esta manera se evitarán alertas por temperatura e incremento del TKPH que podrían afectar el rendimiento de los neumáticos (ver anexos 7 y 8).

VI REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Blanco, J. R. (2016). *Incremento de la vida útil de neumáticos para reducir costos de operación en camiones Caterpillar 797F en Toromocho, Chinalco, Perú. [tesis]*. Universidad Nacional del Centro del Perú. Recuperado de: https://bit.ly/3yWgfTk

Delgado, A. (2019). *Modelo matemático para la gestión de la vida útil de neumáticos OTR en minería.* Tecsup. Recuperado de: https://bit.ly/2X4lYt2

Caterpillar (2012). *Dúmper rígido 777G*.

Caterpillar (2012). *Camión minero 793F.*

Michelin (2014). *Michelin XDR250.*

Huamani, N. J. (2018). *Estandarización de la distancia de descarga de camiones mineros en botaderos de desmonte mina, mediante análisis de estabilidad de taludes en unidad minera Constancia [tesis].* Universidad Nacional de San Agustín. Recuperado de: https://bit.ly/3l8WhQe

Hudbay Perú (2013). *Proyecto minero Constancia, Cusco – Perú.*

Michelin (2012). *Guía de utilización y mantenimiento de los neumáticos de ingeniería civil (GUM).*

Michelin (2012). *Informaciones técnicas ingenieria civil, obras públicas y minas.*

Michelin (2014). *MEMS Evolution 4, Manual del operador.*

Michelin (2015). *MICHELIN XDR250 50/80 R57, el nuevo neumático para dumpers rígidos que aumenta la productividad en las minas*. Recuperado de: https://bit.ly/35nchGx

Michelin (2017). *Technical data. Earthmover & Industrial, Port, Intermodal tires.*

Michelin (2020). *Recomendaciones Generales.* Recuperado de: https://bit.ly/3dKVUal

Neuma Perú (2020). *Quienes somos.* Recuperado de: https://neumaperu.com.pe/quienes-somos

Neuma Perú (2020). *Neumáticos XDR250.* Recuperado de https://neumaperu.com.pe/neumaticos/otr/xdr250

Paredes, C. H. (2008). *Eficiencia en tiempo de vida de neumáticos con relación a rotación de posiciones uno y dos en volquetes Komatsu 930 E-3 en mina Toquepala [tesis]*. Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperado de: https://bit.ly/3E9qZld

Reptell (s.f.). *El cuidado de las llantas OTR*. Recuperado de: https://bit.ly/3mhOYEU

Sáenz, Y. (2011). *Optimización de la carga útil de acarreo en minera Yanacocha.* Perumin 30° Convención Minera.

Tejada, A. (2014). *Metodología del cambio de posiciones 1 y 6 de neumáticos gigantes 793D, para incrementar la vida útil y reducir costos en S.M. Cerro Verde [tesis]*. Universidad Nacional de San Agustín. Recuperado de: https://bit.ly/3BO5Evo

Vásquez, R. (2009). *Presentación de sobrecarga de camiones Caterpillar 789 C/D.* Faena Radomiro Tomic.

Viewpoint (2020*). Los análisis con balanzas ayudan a las compañías mineras a maximizar la carga útil y aumentar el nivel de producción*. Recuperado de: https://bit.ly/37zcLfs

VII ANEXOS

Anexo 1

Coeficiente "K1" calculado, para ciclos mayores a 5 km

Coeficiente K1 calculado														
L (km)	L (ml)	**K1**	**L (km)**	L (ml)	**K1**	**L (km)**	L (ml)	**K1**	**L (km)**	L (ml)	**K1**	**L (km)**	L (ml)	**K1**
			11	6.8	1.13	**21**	13	1.19	**31**	19.3	1.21	**41**	25.5	1.23
			12	7.4	1.14	**22**	13.7	1.19	**32**	19.9	1.21	**42**	26.1	1.23
			13	8	1.15	**23**	14.3	1.20	**33**	20.5	1.22	**43**	26.7	1.23
			14	8.7	1.16	**24**	14.9	1.20	**34**	21.1	1.22	**44**	27.3	1.23
5	3.1	1.00	**15**	9.3	1.16	**25**	15.5	1.20	**35**	21.7	1.22	**45**	28	1.23
6	3.7	1.04	**16**	9.9	1.17	**26**	16.2	1.20	**36**	22.4	1.22	**46**	28.6	1.23
7	4.3	1.06	**17**	10.6	1.17	**27**	16.8	1.21	**37**	23	1.22	**47**	29.2	1.23
8	5	1.09	**18**	11.2	1.18	**28**	17.4	1.21	**38**	23.6	1.22	**48**	29.8	1.23
9	5.6	1.10	**19**	11.8	1.18	**29**	18	1.21	**39**	24.2	1.22	**49**	30.4	1.23
10	6.2	1.12	**20**	12.4	1.19	**30**	18.6	1.21	**40**	25	1.22	**50**	31	1.23
L = Longitud del ciclo en kilómetros y millas.														

Anexo 2

Coeficiente "K2" calculado, temperatura ambiente

Coeficiente K2 calculado															
Vm Km (millas)	15 °C 59 °F	17,5 °C 63,5 °F	20 °C 68 °F	22,5 °C 72,5 °F	25 °C 77 °F	27,5 °C 81,5 °F	30 °C 86 °F	32,5 °C 90,5 °F	35 °C 95 °F	37,5 °C 99,5 °F	40 °C 104 °F	42,5 °C 108,5 °F	45 °C 113 °F	47,5 °C 117,5 °F	50 °C 122 °F
10 (6)	0,635	0,661	0,690	0,721	0,755	0,792	0,833	0,879	0,930	0,988	1,087	1,220	1,389	1,613	1,923
12 (7)	0,676	0,701	0,727	0,756	0,787	0,821	0,857	0,897	0,941	0,990	1,071	1,176	1,304	1,463	1,667
14 (9)	0,709	0,732	0,757	0,783	0,812	0,842	0,875	0,911	0,949	0,991	1,061	1,148	1,250	1,373	1,522
16 (10)	0,736	0,757	0,780	0,805	0,831	0,859	0,889	0,921	0,955	0,992	1,053	1,127	1,212	1,311	1,429
18 (11)	0,758	0,778	0,800	0,823	0,847	0,873	0,900	0,929	0,960	0,993	1,047	1,111	1,184	1,268	1,364
20 (12,5)	0,777	0,796	0,816	0,838	0,860	0,884	0,909	0,936	0,964	0,994	1,042	1,099	1,163	1,235	1,316
21 (13)	0,785	0,804	0,824	0,844	0,866	0,889	0,913	0,939	0,966	0,994	1,040	1,094	1,154	1,221	1,296
22 (14)	0,793	0,811	0,830	0,850	0,871	0,893	0,917	0,941	0,967	0,994	1,038	1,089	1,146	1,209	1,279
24 (15)	0,807	0,824	0,842	0,861	0,881	0,901	0,923	0,946	0,970	0,995	1,034	1,081	1,132	1,188	1,250
26 (16)	0,819	0,835	0,852	0,870	0,889	0,908	0,929	0,950	0,972	0,995	1,032	1,074	1,121	1,171	1,226
28 (17)	0,830	0,845	0,862	0,878	0,896	0,914	0,933	0,953	0,974	0,996	1,029	1,069	1,111	1,157	1,207
30 (19)	0,839	0,854	0,870	0,886	0,902	0,920	0,938	0,956	0,976	0,996	1,027	1,064	1,103	1,145	1,190
32 (20)	0,848	0,862	0,877	0,892	0,908	0,924	0,941	0,959	0,977	0,996	1,026	1,060	1,096	1,135	1,176
34 (21)	0,855	0,869	0,883	0,898	0,913	0,928	0,944	0,961	0,978	0,996	1,024	1,056	1,090	1,126	1,164
36 (22)	0,862	0,875	0,889	0,903	0,917	0,932	0,947	0,963	0,980	0,997	1,023	1,053	1,084	1,118	1,154
38 (24)	0,869	0,881	0,894	0,907	0,921	0,935	0,950	0,965	0,981	0,997	1,022	1,050	1,080	1,111	1,145
40 (25)	0,874	0,886	0,899	0,912	0,925	0,938	0,952	0,967	0,982	0,997	1,020	1,047	1,075	1,105	1,136
42 (26)	0,880	0,891	0,903	0,916	0,928	0,941	0,955	0,968	0,982	0,997	1,019	1,045	1,071	1,099	1,129
44 (27)	0,884	0,896	0,907	0,919	0,931	0,944	0,957	0,970	0,983	0,997	1,019	1,043	1,068	1,095	1,122
46 (28)	0,889	0,900	0,911	0,922	0,934	0,946	0,958	0,971	0,984	0,997	1,018	1,041	1,065	1,090	1,117
48 (29)	0,893	0,904	0,914	0,925	0,937	0,948	0,960	0,972	0,985	0,997	1,017	1,039	1,062	1,086	1,111
50 (31)	0,897	0,907	0,917	0,928	0,939	0,950	0,962	0,973	0,985	0,998	1,016	1,037	1,059	1,082	1,106
Vm = número de km (millas) **recorridos por hora.**															

Se puede interpolar entre la temperatura que aparece en los encabezados de las columnas.

Anexo 3

Ejemplo de cálculo de TKPH de un ciclo.

Datos:

Camión minero	CAT 777F
Neumático equipado	27.00R49 XDR B4
TKPH del neumático	480
Longitud de ciclo	12 km
Tiempo de ciclo	0.56 horas
Temperatura ambiente	22.5 °C
Peso del camión en vacío	65.297 tn
Carga del camión (según fabricante)	97.996 tn
Carga del camión (según mina)	100 tn
Peso total del equipo	165.3 tn
Distribución del peso - camión vacío	45% Eje delantero 55% Eje posterior
Distribución del peso - camión cargado	33.3% Eje delantero 66.7% Eje posterior

$$TKPH\ real\ explotación = Qm \times Vm \times K1 \times K2$$

Calculando la velocidad media $Vm = \frac{L}{H}$

Velocidad media	12/0.56 **21.43**

Calculando la carga media $Qm = \frac{Qv + Qc}{2}$

Calculando la carga media por neumático del eje delantero

Carga media eje delantero vacío	(65.297*0.45)/2 **14.69**
Carga media eje delantero cargado	(165.297*0.333)/2 **27.52**
Carga media eje delantero	(14.69+27.52)/2 **21.11**

Calculando la carga media por neumático del eje posterior

Carga media eje posterior vacío	(65.297*0.55)/4 **8.98**
Carga media eje posterior cargado	(165.297*0.667)/4 **27.56**
Carga media eje posterior	(8.98+27.56)/2 **18.27**

Nota: Para el cálculo de TKPH elegimos la mayor carga media.
En este caso, sería la carga media del neumático delantero: **21.11.**

Factores de corrección K1 y K2

Para un ciclo con una longitud de 12 km	**K1= 1.14**
Para una velocidad media de 21.43 km/h y 22.5 °C de temperatura ambiente	**K2= 0.847**

Calculando el TKPH

TKPH explotación base	21.11*21.43 **452.39**

Calculando TKPH con factores de correción:

$$TKPH\ real\ explotación = Qm \times Vm \times K1 \times K2$$

TKPH real explotación	21.11*21.43*1.14*0.847 **436.82**

TKPH neumático > TKPH real explotación

480 > 436.8

El TKPH real de explotación (del ciclo evaluado) se encuentra dentro del parametro del TKPH del neumático.

Anexo 4

Características de los neumáticos Michelin 50/80R57 XDR250

COMMERCIAL DESCRIPTION Types CAI (Part Number)	Max. dist./ hour km *Miles*	TKPH *TMPH* (1)	DIMENSIONAL CHARACTERISTICS (2) Michelin® dimensions e mm *inches*	D mm *inches*	R' mm *inches*	RC mm *inches*	Tread depth mm *32rd*	Dual Spacing mm *inches*	Cap. l *gallons*	Measuring Recommended Rim Approved Rims (3) - (4)	Fitment and accessories (rim,seal, flap, tube...) (4)
57" CONTINUED											
50/80 R 57 Tubeless											
MICHELIN® XDR C4 E4R ** 929814	26 *16.2*	1394 *955*	1253 *49.3*	3625 *142.7*	1577 *62.1*	10798 *425.1*	94 *118.4*	1536 *60.5*	6420 *1696*	32.00/6.0 [4.8] **32.00/6.0 [5.2]** 34.00/6.0	See page 84 to 89
MICHELIN® XDR B E4R ** 966177	24 *14.9*	1286 *881*									
MICHELIN® XDR B4 E4R ** 310787	20 *12.4*	1072 *734*									
50/80 R 57 Tubeless											
MICHELIN® XDR250 C E4R ** 195241	30 *18.6*	1608 *1101*	1204 *47.4*	3610 *142.1*	1586 *62.4*	10791 *424.8*	94 *118.4*	1420 *55.9*	6150 *1625*	29.00/6.0 [5.7] 29.00/6.0 [5.2] **32.00/6.0 [5.2]** 32.00/6.0 [4.8]	See page 84 to 89
MICHELIN® XDR250 C4 E4R ** 253293	27 *16.8*	1447 *991*									
MICHELIN® XDR250 B E4R ** 274589	24 *14.9*	1286 *881*									
MICHELIN® XDR250 B4 E4R ** 371742	20 *12.4*	1072 *734*									

Anexo 5

Capacidad de carga según presión de inflado.

Tread type	Identification code (11)	Explanations on how to choose the tire and to determine the inflation pressures Refer to explanations and methods allowing to determine the inflation pressure (10)										
57" CONTINUED												
	Machine - Utilisation	bar	5	5.5	6	6.5	7					
		psi	73	80	87	94	102					
XDR C4 ** E4R XDR B ** E4R XDR B4 ** E4R	Transport	Standard	57820 127493	62410 137614	67000 147735	69290 152784	71590 157856					
	Machine - Utilisation	bar	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8			
		psi	73	80	87	94	102	109	116			
XDR250 C ** E4R XDR250 C4 ** E4R XDR250 B ** E4R XDR250 B4 ** E4R	Transport	Standard	55000 121275	59000 130095	63000 138915	67000 147735	69000 152145	71000 156555	73000 160965			

Anexo 6

Especificaciones del camión minero Caterpillar 793F

Especificaciones del Camión Minero 793F

Motor

Modelo del motor	Cat C175-16	
Potencia bruta: SAE J1995	1.976 kW	2.650 hp
Potencia neta: SAE J1349	1.848 kW	2.478 hp
Reserva de par	20 %	
Calibre	175 mm	6,9"
Carrera	220 mm	8,7"
Cilindrada	85 L	5.187 pulg³

- Las clasificaciones de potencia se aplican a 1.750 rpm cuando se prueban según las condiciones indicadas para la norma especificada.
- Las clasificaciones están basadas en la norma SAE J1995 sobre las condiciones del aire a 25 °C (77 °F) y 99 kPa (29,61 Hg) de presión barométrica en seco. La potencia está basada en el combustible con una densidad API de 35 a 16 °C (60 °F) y un poder calorífico de 42.780 kJ/kg (18.390 BTU/lb) con el motor a 30 °C (86 °F).
- No hay reducción de potencia del motor hasta los 3.353 metros (11.000') de altitud.
- Cumple con los requisitos de la EPA. Según corresponda, el Motor Cat C175-16 cumple con los requisitos sobre emisiones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

Pesos: aproximados

Peso del chasis	122.300 kg	270.000 lb
Gama de los pesos de las cajas	26.862 - 47.627 kg	59.220 - 105.000 lb

- Peso del chasis con el tanque lleno, grupo de montaje y elevación de la caja, llantas y neumáticos 40.00R57.
- El peso de la caja varía dependiendo de cómo esté equipada.

Especificaciones de operación

Capacidad de carga útil nominal	226,8 tons métricas	250 tons EE.UU.
Velocidad máxima: cargado	60 km/h	37,3 mph
Ángulo de dirección	36 grados	
Diámetro de giro: delantero	28 m	93'
Diámetro de giro de espacio libre	33 m	107'
Peso bruto de la máquina en orden de trabajo	386.007 o 390.089 kg	851.000 o 860.000 lb

- Consulte la política de sobrecarga 10/10/20 del camión minero Cat para obtener información sobre las limitaciones de peso bruto máximo de la máquina.

Mandos finales

Relación diferencial	1,8:1
Relación planetaria	16:1
Relación de reducción total	28,8:1

Transmisión

Avance 1	12,9 km/h	8 mph
Avance 2	17,4 km/h	10,8 mph
Avance 3	23,8 km/h	14,8 mph
Avance 4	32,1 km/h	19,9 mph
Avance 5	43,6 km/h	27,1 mph
Avance 6	60 km/h	37,3 mph
Retroceso	11,8 km/h	7,3 mph

Suspensión

Carrera efectiva del cilindro: delantera	130,5 mm	5,1"
Carrera efectiva del cilindro: trasera	105,5 mm	4,2"
Oscilación del eje trasero	±4,9 grados	

Dispositivos de levantamiento de cajas

Flujo de la bomba: velocidad alta en vacío	846 L/min	224 gal EE.UU./min
Configuración de la válvula de alivio: levantamiento	20.370 kPa	2.955 lb/pulg2
Tiempo de levantamiento de la caja: velocidad alta en vacío	19 segundos	
Tiempo de bajada de la caja: posición libre	20 segundos	
Disminución de la potencia de la caja: velocidad alta en vacío	17,5 segundos	

- Dos cilindros hidráulicos idénticos de dos etapas montados fuera del bastidor principal, cilindros de doble efecto en la segunda etapa.
- Elevación de la potencia en ambas etapas, disminución de la potencia en la segunda etapa.
- La baja modulación de la caja automática reduce el impacto en el bastidor.

Frenos

Diámetro exterior	874,5 mm	34,5 pulg
Superficie de freno: delantera	89.817 cm²	13.921 pulg²
Superficie de freno: trasera	34.500 cm²	20.847 pulg²
Normas	J-ISO 3450 JAN88, ISO 3450:1996	

Distribuciones del peso: aproximadas

Eje delantero: vacío	48 %
Eje trasero: vacío	52 %
Eje delantero: cargado	33 %
Eje trasero: cargado	67 %

Capacidad – MSD II – factor de llenado del 100 %

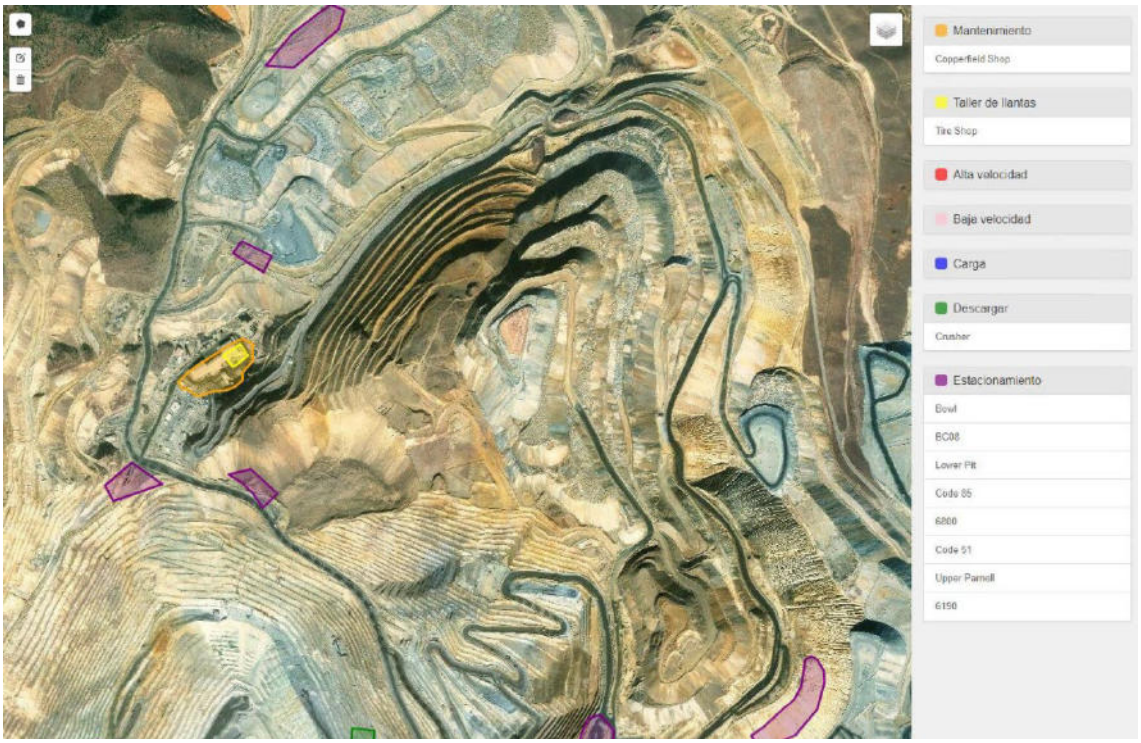
A ras	112-142 m³	146-186 yd³
Colmada (SAE 2:1)	159-190 m³	209-250 yd³

- Comuníquese con su distribuidor Cat local para obtener recomendaciones acerca de la caja.

Nota. La capacidad de carga y la distribución del peso del camión por eje son datos considerados para el cálculo del TKPH. Tomado de Caterpillar (2012). *Camión minero 793F.*

Anexo 7

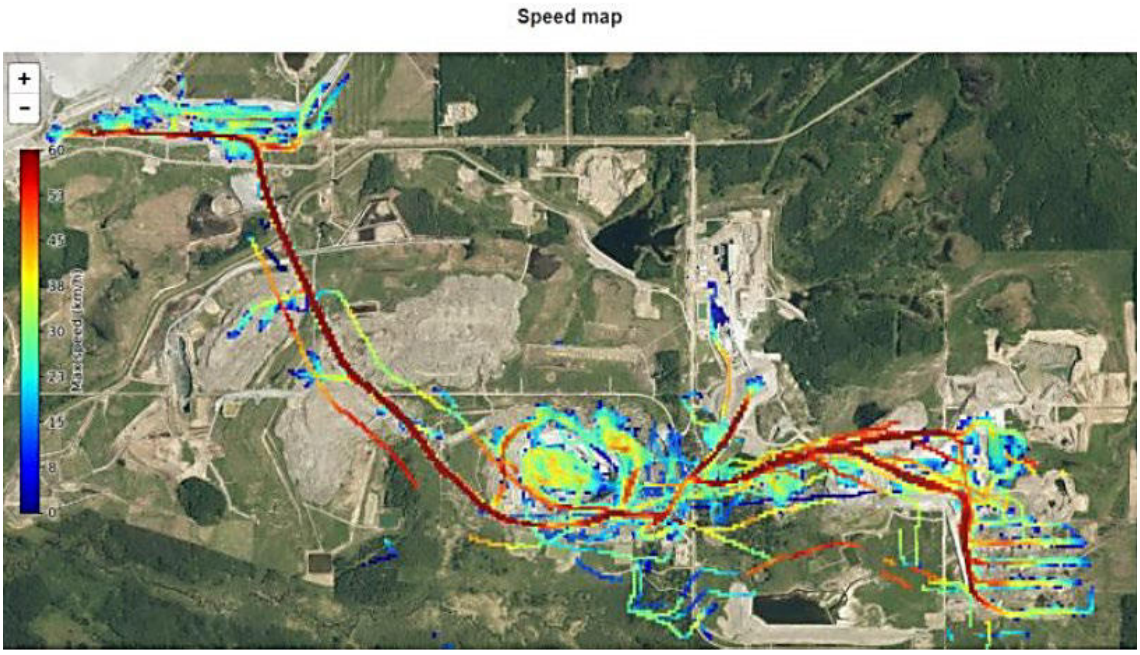
Ejemplo de geocercas virtuales en distintas zonas en una mina



Nota. Los polígonos de colores son las distintas zonas creadas con límite de velocidad, donde si un camión excede dicha velocidad, se notificará a la supervisión correspondiente (según configuración) y en el software generará un historial de tales faltas.

Anexo 8

Ejemplo de mapa de velocidades



Nota. El mapa muestra las velocidades registradas por el camión de interés. Las rutas coloreadas azules donde las velocidades fueron bajas y rojas donde las velocidades fueron altas.

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA PARA TESIS Y TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL AL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN DEL ACCESO ABIERTO DE LA UNAM

VICEPRESIDENCIA DE INVESTIGACIÓN

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con el Decreto Legislativo N° 822, sobre la Ley de los Derechos de Autor, Ley N° 30035 del Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNAM aprobada mediante la Resolución de C.O. N° 0158-2016-UNAM.

1. DATOS PERSONALES DEL AUTOR

Apellidos y Nombres:	CRUZ COPAQUIRA CÉSAR MIGUEL
D.N.I.:	46101482
Otro Documento:	
Nacionalidad:	PERUANO
Teléfono/Celular:	987319720
e-mail:	cesar.mcc20@gmail.com

2. DATOS ACADÉMICOS

Escuela Profesional:	INGENIERIA DE MINAS
Grado Académico otorgado:	BACHILLER
Título Profesional otorgado:	INGENIERO DE MINAS
Tesis / Trabajo de Suficiencia Profesional (Pregrado y/o Postgrado):	
Modalidad de Titulación:	TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

3. DATOS DE LA TESIS

Título de la tesis / Trabajo de Suficiencia Profesional:	"APLICACIÓN DEL ANALISIS TKPH PARA DETERMINAR LOS NEUMÁTICOS OTR ÓPTIMOS PARA LA OPERACIÓN EN LA FLOTA DE ACARREO CATERPILLAR 793F MINA CONSTANCIA"
Fecha de Sustentación:	15 de junio del 2021
Calificación:	15
Año de Publicación:	2021

4. DATOS DEL ASESOR

Apellidos y Nombres:	BARRIGA PARIA CHRIST JESUS
D.N.I.:	44331713
Otro Documento:	
Nacionalidad:	PERUANO
Teléfono / Celular:	996 707 694
e-mail:	cbarrigap@unam.edu.pe

5. AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN VERSIÓN ELECTRÓNICA

A través de la presente, autorizo la publicación del texto completo de la tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua para su explotación no exclusiva, ilimitada, perpetua y con alcance mundial, a favor de la Universidad Nacional de Moquegua.

Según el Reglamento de la Ley Nº 30035, Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto DECRETO SUPREMO N° 006-2015-PCM "TÍTULO IV GESTIÓN DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL Y DE LOS DATOS PERSONALES; *Artículo 10º.- De los Derechos: Esta cesión de derechos comprende, mas no se limita, a los derechos de reproducción, comunicación al público, distribución, traducción, adaptación, arreglo, edición, modificación, cambio de formato u otra transformación, importación al territorio nacional de copias por cualquier medio incluyendo la transmisión, así como cualquier otra forma de utilización de las obras, datos procesados y estadísticas de monitoreo que no estén contempladas en la ley de la materia como excepción al derecho patrimonial y, en general, para cualquier tipo de utilización y explotación, que la entidad estime pertinentes, en cualquier forma o procedimiento, conocido o por conocerse, pudiendo poner a disposición las obras, datos procesados y estadísticas de monitoreo por medio de autorizaciones o licencias a favor del público en general."*

Sin perjuicio de otras obligaciones a su cargo, EL AUTOR deberá entregar una versión digital final de la TESIS sin ninguna medida tecnológica efectiva ni sistema de auto tutela, sin contraseña ni restricción, de acuerdo con los lineamientos establecidos por el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) en relación con el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto. Cuando las obras contengan en parte o consistan en programas de ordenador o software, además deberá entregar el código fuente, código objeto, documentación técnica y manuales. Lo dispuesto en relación con los programas de ordenador no se aplicará cuando la entidad pública sea sólo licenciataria del software.

Para facilitar la divulgación y alcance nacional e internacional de los resultados de las investigaciones en materia de ciencia, tecnología e innovación contenidos en los repositorios institucionales y en el Repositorio Nacional Digital, se autoriza la traducción automática a otros idiomas y dialectos por medio de programas de ordenador de las obras, datos procesados y estadísticas de monitoreo, así como de los metadatos de los mismos. En caso de ser fijadas o reproducidas, se deberá incluir expresamente que se trata de traducciones hechas por medios informáticos, con fines ilustrativos o referenciales.

Firma y huella digital: _____



Fecha de autorización: 04/10/2021