

**USO Y AUTOMATIZACIÓN DE LECTORES DE EQUIPO VITAL DE
CAMIONES CATERPILLAR, COMO HERRAMIENTA PARA EL
MEJORAMIENTO DEL MANTENIMIENTO DE LAS VÍAS Y EL MEJOR
DIRECCIONAMIENTO DE LOS RECURSOS EN MINAS A CIELO ABIERTO.**

JORGE EDUARDO RODRÍGUEZ REY

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2006**

**USO Y AUTOMATIZACIÓN DE LECTORES DE EQUIPO VITAL DE
CAMIONES CATERPILLAR, COMO HERRAMIENTA PARA EL
MEJORAMIENTO DEL MANTENIMIENTO DE LAS VÍAS Y EL MEJOR
DIRECCIONAMIENTO DE LOS RECURSOS EN MINAS A CIELO ABIERTO.**

JORGE EDUARDO RODRÍGUEZ REY

**Tesis de grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

Director

JORGE HERNANDO GÓMEZ GÓMEZ

**Ingeniero en Vías y Transportes, M.Sc. en Sistemas de Información
Geográfica**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2006

A Dios, por ayudarme y darme fuerzas cuando mas lo he necesitado, a mis padres Robiel y Helena, por estar siempre a mi lado brindándome el consejo sabio que solo ellos saben dar, a Miguel, Juancho y Luchi, por su apoyo incondicional y la unión de hermanos que siempre nos ha caracterizado, a Nana por ser novia y amiga que me acompañó en esta etapa importante de mi vida, a mis amigos, a mis profesores, a la UIS, y todo lo que ella representa, por ser el Alma Mater que me acogió y me guió en el camino profesional que emprendo.

Jorge Eduardo Rodríguez Rey

AGRADECIMIENTOS.

El autor agradece la colaboración recibida a todos aquellos que hicieron posible la realización de ésta tesis y en especial:

A **Jorge Hernando Gómez Gómez**, Ingeniero en Vías y Transportes, M.Sc. en Sistemas de Información Geográfica, por su colaboración, apoyo y entrega en la dirección de éste trabajo.

A **Miguel Enrique Gutiérrez Soto**, Ingeniero de Mina, M.Sc. Superintendente de Soporte a Producción - Carbones del Cerrejón LLC, porque mediante su paciente consejo, me enseñó todo acerca de la minería y por más que ser un tutor, se convirtió en un amigo.

A **Libardo Luis Lozano López**, Ingeniero Civil y Supervisor de Vías y Botaderos - Carbones del Cerrejón LLC, por su atención y charlas cargadas de conocimiento, además de compartir toda su experiencia adquirida en mantenimiento y construcción de vías en minas a cielo abierto.

A **German Enrique García**, Ingeniero de Sistemas, por formar parte de este trabajo como amigo y tutor de manera incondicional.

CONTENIDO.

INTRODUCCIÓN	14
OBJETIVOS	18
1 VÍAS EN MINAS A CIELO ABIERTO.	20
1.1 ESTRUCTURA DE LAS VÍAS.	21
1.1.1 Subbase.	21
1.1.2 Base.	21
1.1.3 Capa de Rodadura.	22
1.2 ESTABILIZACIÓN POR COMPACTACIÓN.	23
1.3 DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DE VÍAS.	24
1.3.1 Bermas.	24
1.3.2 Anchos de Vía.	24
1.3.3 Bombeo.	25
1.3.4 Capacidad de una vía (C).	26
1.3.5 Cunetas.	26
1.3.6 Curvas Horizontales.	27
1.3.7 Curvas Verticales.	27
1.3.8 Combinación de Alineación Horizontal y Vertical.	28
1.3.9 Pendientes.	28
1.3.10 Peralte.	29
1.3.11 Velocidad de Diseño (Vd).	29
1.4 CLASIFICACIÓN DE LAS VÍAS.	29
1.4.1 Conforme al Servicio.	30
1.4.2 De Acuerdo con su Vida Útil.	31

1.5	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN EN VÍAS DE ACARREO CLASE A.	32
1.6	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN EN VÍAS DE ACARREO CLASE B.	36
1.7	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN EN VÍAS AUXILIARES CLASE C.	38
1.8	SECCIONES TÍPICAS DE VÍAS.	39
2	SISTEMAS DE INFORMACIÓN VITAL.	41
3	EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE LAS VÍAS DE ACARREO, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE SEVERIDAD DE APLICACIÓN (ASA) Y CONTROL DE ANÁLISIS DE VIA (RAC).	43
3.1	LÍMITES PERMISIBLES.	44
3.2	ÍNDICE DE SEVERIDAD DE MINA.	46
3.3	ÍNDICE DE CARGA ÚTIL.	48
3.3.1	Clasificaciones del índice de Carga .	49
3.4	ÍNDICE DE CONDICIÓN DE VÍA.	50
3.4.1	Clasificación del Índice de Condición De Vía .	51
3.5	DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS ASA DE PRESIÓN COMPUESTA.	52
3.5.1	Machine RAKING.	52
3.5.2	Machine BIAS.	53
3.5.3	Machine PITCH.	53
3.5.4	Variación en Intervalos de dos Segundos.	54
3.5.5	Presión Mínima en los Cilindros de la Suspensión.	54
3.5.6	División Axial.	54
3.6	INTERPRETACIÓN DE LA GRÁFICA DE PRESIÓN DE LOS CILINDROS DE LA SUSPENSIÓN.	55
3.6.1	Picos Dobles.	55
3.6.2	Picos de RACK y BIAS para una Irregularidad de Vía.	56
	USO Y AUTOMATIZACIÓN DE LECTORES DE EQUIPO VITAL DE CAMIONES CATERPILLAR, COMO HERRAMIENTA PARA EL MEJORAMIENTO DEL MANTENIMIENTO DE LAS VÍAS Y EL MEJOR DIRECCIONAMIENTO DE LOS RECURSOS EN MINAS A CIELO ABIERTO.	8

3.6.3	Interpretación de los Datos de PITCH.	56
4	DESARROLLO DEL EJERCICIO DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA ASA/RAC EN MINAS A CIELO ABIERTO.	58
5	PROPUESTA DE MEJORAMIENTO POR AUTOMATIZACIÓN Y MANUAL DE PROCEDIMIENTOS.	65
5.1	PROPUESTA DE MEJORAMIENTO POR AUTOMATIZACIÓN.	65
5.2	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA LA EFECTIVA EJECUCIÓN DE LA METODOLOGÍA ASA – RAC.	76
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	77
	BIBLIOGRAFÍA.	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema tipo de berma.	24
Figura 2. Anchos de vía recomendados	25
Figura 3. Sección típica de vías de acarreo en minas a cielo abierto.	26
Figura 4 (a y b). Dimensiones de Camiones Euclid Hitachi EH5000	35
Figura 5. Sección estructural de vías clase A, en minas a cielo abierto.	36
Figura 6. Sección típica #1. vacío a un solo lado	39
Figura 7. Sección típica #2. vacío a los dos lados	40
Figura 8. Sección típica #3. Pared a los dos lados	40
Figura 9. Gráfica ASA, comportamiento de la suspensión ante las irregularidades de la vía.	60
Figura 10. Área de pala	61
Figura 11. Curva con problemas de peralte y socavación.	62
Figura 12. Tercera curva de la ruta inspeccionada, con arreglos geométricos y estructurales.	63
Figura 13. Tramo de vía con ningún pico sobrepasando los ML's	64
Figura 14. Vía de botadero con fuertes ondulaciones y baches.	64
Figura 15. Interfase VIMS del despacho computarizado de camiones.	69
Figura 16. Vista preliminar de la herramienta sistematizada.	72

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Límites permisibles (Presiones en kPa).	45
Tabla 2. Clasificación del Índice de Severidad de Mina	47

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A	816
---------	-----

USO Y AUTOMATIZACIÓN DE LECTORES DE EQUIPO VITAL DE CAMIONES CATERPILLAR, COMO HERRAMIENTA PARA EL MEJORAMIENTO DEL MANTENIMIENTO DE LAS VÍAS Y EL MEJOR DIRECCIONAMIENTO DE LOS RECURSOS EN MINAS A CIELO ABIERTO.	11
---	----

RESUMEN

TITULO:

USO Y AUTOMATIZACIÓN DE LECTORES DE EQUIPO VITAL DE CAMIONES CATERPILLAR, COMO HERRAMIENTA PARA EL MEJORAMIENTO DEL MANTENIMIENTO DE LAS VÍAS Y EL MEJOR DIRECCIONAMIENTO DE LOS RECURSOS EN MINAS A CIELO ABIERTO.¹

AUTOR:

JORGE EDUARDO RODRÍGUEZ REY**

PALABRAS CLAVES:

Lectores de Información Vital, Rack, Bias, Pitch, Monitoreo de Vías,

DESCRIPCIÓN:

Este proyecto de grado compila la información correspondiente a los parámetros o estándares de las vías en minas a cielo abierto, así como la teoría correspondiente al comportamiento de las suspensiones de los camiones de acarreo de estéril, Caterpillar de 240 toneladas, ante las imperfecciones de las vías, con el propósito de eliminar las subjetividades generadas por el personal encargado, o los clientes que se benefician del mantenimiento de estas en minas a cielo abierto.

¹ Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Jorge Hernando Gómez Gómez

Además, en este proyecto se presenta la metodología para realizar el monitoreo de las vías a bordo de los equipos CAT 240 y los parámetros necesarios para crear una herramienta sistematizada que permita hacer el monitoreo desde una base de despacho computarizado de camiones y obtener la información generada en tiempo real, graficada en un plano, indicando las zonas que necesitan un mantenimiento y de esta manera lograr la optimización y el enfoque de los recursos que se invierten al mantenimiento de las vías en minas a cielo abierto.

El alcance principal de este proyecto, es analizar el comportamiento de las suspensiones de los camiones de acarreo CAT 240, ante las imperfecciones de las vías por medio de la herramienta ASA – RAC y dar los parámetros que permitan crear una herramienta sistematizada y realizar el monitoreo de las vías por telemetría.

ABSTRACT

TITLE:

Use and automatization of readers of vital team for caterpillar trucks, as an improvement tool for the roads maintenance and a to determine the best way to invest resources in open sky mines.

AUTHOR:

JORGE EDUARDO RODRÍGUEZ REY**

KEY WORDS:

Vital Information Readers, Rack, Bias, Pitch, Roads monitoring.

DESCRIPTION

This Final Project compiles all the information concerning to the parameters and standard for roads at open sky mines, as well as the theory for the behavior of hauls truck suspension, Caterpillar 240 Tons, related to the ground imperfections. The purpose is to eliminate the personal appreciations of on charge personnel, and those from customers who get benefits for the maintenance of such roads.

In addition, in this project it is shown a new methodology to for the monitoring of the roads while the CAT 240 trucks are driven, and the necessary parameters to develop a systematized tool that allows the monitoring process on real time, in order to optimize the budget waste. The monitoring process could be done from a computerized delivering base of trucks, and the collected information is presented in plot plans that show the areas that

requires maintenance, and indicates critical points. The information is gathered by the ASA-RAC software, which receives it through radio signals from the truck to the base.

INTRODUCCIÓN

A lo largo del desarrollo de la ingeniería como ciencia, el hombre buscó la solución de problemas técnicos que posibilitaran la ejecución de tareas complejas con un menor gasto de energía, mayor comodidad, con nuevos y mejores materiales y en menor tiempo. Esto podría traducirse en que la tendencia ha sido, y es actualmente, la “búsqueda” de una mayor eficiencia en la realización de dichas tareas.

Paralelamente a esta “búsqueda” de eficiencia, surgen nuevos problemas que, precisamente, están asociados al desarrollo de mejores velocidades, disminución en los tiempos de ciclos de acarreo, aumento de la disponibilidad de equipos y mejoramiento del confort, todo esto ligado al mantenimiento vías.

Existen herramientas que contribuyen al monitoreo de condiciones asociados a las vías de minas a cielo abierto, de manera particular, CATERPILLAR cuenta con un software de alta tecnología compatible con sus equipos, específicamente el “Application Severity Analysis (ASA)” y el “Road Analysis Control (RAC)”, desde el cual se registran zonas en mal estado, obteniendo un enfoque claro del control de los recursos invertidos en el mantenimiento de las vías, eliminando así la subjetividad del personal relacionado a esta actividad.

Este trabajo recopila la información suficiente para proponer la creación de un programa de mantenimiento de vías en minas a cielo abierto y dar un

enfoque práctico para el análisis de los datos obtenidos del monitoreo de las condiciones de las vías.

OBJETIVOS

Objetivo General

Proponer los conceptos básicos que conduzcan a la creación de una herramienta sistematizada para la realización de las inspecciones por telemetría de las vías en minas a cielo abierto, con base en la herramienta existente llamada RAC (Road Analysis Control), con el fin de mejorar la planeación y realización del mantenimiento de estas vías, de manera que se optimicen los recursos técnicos y económicos requeridos.

Objetivos Específicos

- ?? Explicar los conceptos básicos utilizados en la construcción de vías en minas a cielo abierto, así como los relacionados con los lectores de equipo vital y la respuesta de éstos a las irregularidades de la estructura de estas vías.
- ?? Establecer un protocolo de inspección de vías en minas a cielo abierto, previo a su mantenimiento, como herramienta para el establecimiento de las condiciones físicas presentes.
- ?? Identificar los puntos más vulnerables al desgaste de la estructura de las vías en minas a cielo abierto, producto del tránsito que se moviliza sobre ellas.

?? Proponer la creación de una herramienta sistematizada para la realización de las inspecciones por telemetría, de las vías en minas a cielo abierto.

1 VÍAS EN MINAS A CIELO ABIERTO.

Las vías de acarreo en minas a cielo abierto constituyen una base importante para el desarrollo de la minería, debido a que por ellas transitan los millones de BCMS (Meter cubic in bank) de material estéril y las toneladas del material que se explotan en ellas, sean: Esmeraldas, cobre, diamantes, oro, carbón para el caso de Carbones del Cerrejón LLC, entre otros.

Estas vías además de poseer grandes dimensiones, son sometidas a importantes vibraciones y cargas que van desde las 30 a las 1000 toneladas, generadas por los equipos de acarreo más grandes del mundo, los Euclid Hitachi EH5000.

Las grandes tensiones y desgaste soportadas por este tipo de vías, debidas al paso continuo de maquinaria pesada, se convierten en razón fundamental para que estas vías no tengan como capa de rodadura ningún tipo de material sellante o pavimento, duro o flexible, pues aún sin éste, los costos de construcción y mantenimiento de este tipo de vías en minas a cielo abierto, conforme a lo reportado por Carbones del Cerrejón LLC, equivalen al 50% de los costos de minería, y alcanza en algunos casos hasta el 25% de los costos totales que incluyen la exploración, el procesamiento y el mercadeo del material extraído

A continuación se definen algunos conceptos fundamentales para el diseño y construcción de vías en minas a cielo abierto, con base en la literatura técnica revisada.

1.1 ESTRUCTURA DE LAS VÍAS.

1.1.1 Subbase.

Es la capa de material que se construye directamente sobre la subrasante o terreno natural. Su función es: Proteger a la base aislándola de la subrasante al tiempo que permite reducir el espesor del material de la base y por ende su costo, puesto que los materiales utilizados para la base, por sus calidades y propiedades, representan mayores inversiones económicas.

1.1.2 Base.

Es la capa de material que se construye sobre la subbase o a falta de ésta sobre la subrasante y debe estar formada por materiales de mejor calidad que el de la subbase.

La base debe cumplir con los siguientes requisitos:

- ?? Mantener durante su tiempo de vida útil, la resistencia estructural para soportar las presiones que le sean transmitidas por los vehículos estacionados o en movimiento que transitan sobre ella.
- ?? Tener el espesor necesario para que dichas presiones al ser transmitidas a la subbase o a la subrasante, no excedan la resistencia estructural de estas.
- ?? No presentar cambios volumétricos perjudiciales al variar las condiciones de humedad.

Como se mencionó anteriormente, las condiciones de uso y desgaste excesivo al que son sometidas estas vías, hacen que los costos de su mantenimiento y construcción sean elevados así como la necesidad de vías que faciliten los procesos de extracción y cumplimiento de las metas planeadas. Estas últimas razones crean una dinámica, que lleva a utilizar los materiales existentes en la zona como base, sin cumplir con los estándares de calidad y granulometría adecuada, tal cual reza la teoría. En estos casos, el material que prestará función de base, es tomado de un banco que se encuentre en la zona de minería, que cumpla solo con algunas propiedades como: tener baja variabilidad volumétrica a los cambios de humedad, una buena capacidad portante y que contenga canto rodado, para dar soporte y evitar el corte de las llantas.

1.1.3 Capa de Rodadura.

Es la capa de material granular que se ubica sobre la base con el fin de: proporcionar una superficie de rodamiento que permita un flujo o tránsito continuo y cómodo de los vehículos, así como proporcionar una mayor capacidad de carga a la vía.

Esta capa también favorece la ausencia de cambios volumétricos perjudiciales que puedan presentarse al variar las condiciones de humedad en la vía.

Por lo general a capa de rodadura en minas a cielo abierto se construye con triturado de 2 pulgadas.

1.2 ESTABILIZACIÓN POR COMPACTACIÓN.

Cuando se compactan los suelos se comprimen los granos entre si, lo que incrementa su capacidad soportante, se reducen los espacios vacíos, y por ende la capacidad de penetración o permeabilidad del suelo, de manera que la cantidad de agua que puede penetrar y afectar su resistencia al corte, así como causar cambios volumétricos perjudiciales es menor.

Aunque la compactación mejora la calidad del los suelos, ella por sí sola no proporciona la resistencia y la durabilidad que se necesita para soportar el tráfico de los camiones.

Aún los suelos bien compactados son seriamente afectados por los cambios de humedad y por el desgaste ocasionado por el tránsito, si no poseen las cualidades de soporte requeridas.

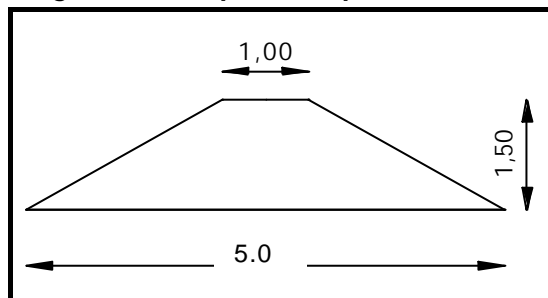
En minas a cielo abierto donde transitan camiones de acarreo de gran volumen, la compactación es realizada por los mismos, al transitar sobre el material que se está regando, cuando viajan cargados proporcionan un peso de 800 toneladas, como la que pueden transportar los camiones Caterpillar de 240 toneladas, o 1000 toneladas, como la que pueden transportar los camiones Euclid Hitachi EH5000 de 320 Toneladas, repartidas en 6 llantas, generando una presión, para las ruedas delanteras de 175.628lb/rueda y para las traseras de 177.744lb/rueda, dando un magnífico resultado en la compactación de las vías.

1.3 DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DE VÍAS.

1.3.1 Bermas.

Conocidas como el área de la calzada construida a los lados de los carriles de circulación, comprendida entre sus orillas y sus hombros, con el propósito de permitir a los vehículos que deban estacionar, un espacio para hacerlo con seguridad, así como proteger a la calzada de la humedad y posibles erosiones. En minería, también se llama berma al cordón de material que se coloca en los bordes de la vía para protección del tránsito, el cual evita la caída a niveles inferiores. En algunos casos, las bermas pueden ser reemplazadas por los taludes naturales.

Figura 1. Esquema tipo de berma.

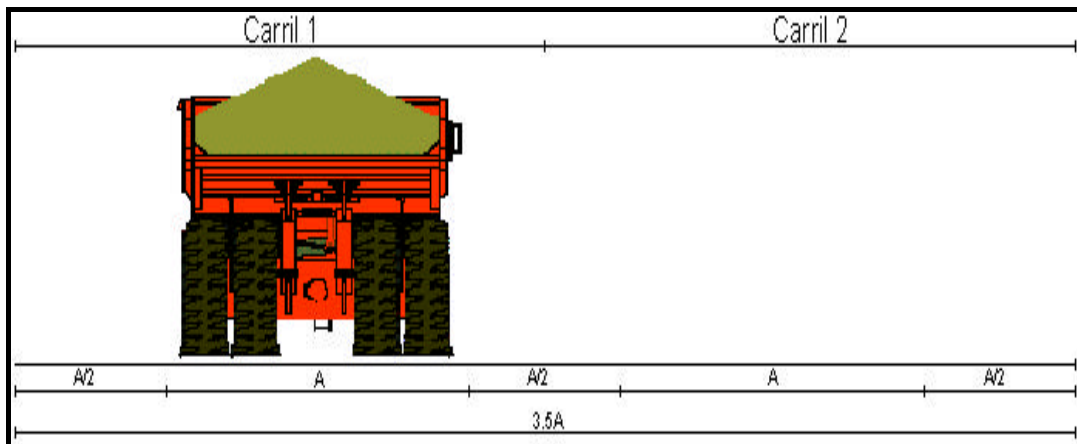


1.3.2 Anchos de Vía.

Para considerar el ancho de una vía es necesario tener en cuenta: el ancho del carril, número de carriles y las bermas. La literatura recomienda que cada carril debe tener un espacio libre tanto a la derecha como a la izquierda, igual a la mitad del ancho del equipo más grande que transite sobre ella, luego

para vías de un solo carril, el ancho es igual a 2 veces el ancho del vehículo y para vías de mas carriles se debe incrementar $1\frac{1}{2}$ ancho por cada carril adicional. (Ver figura 2.)

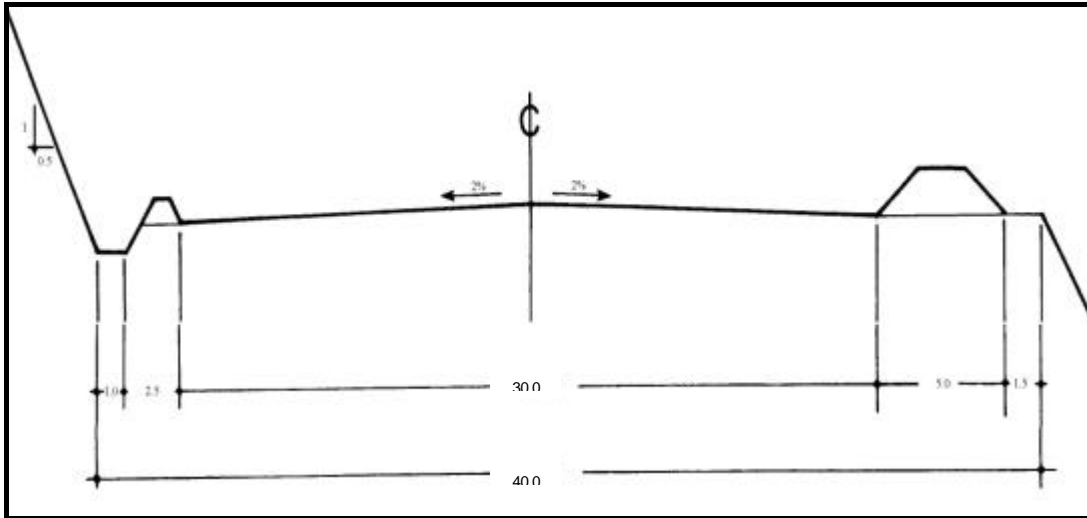
Figura 2. Anchos de vía recomendados



1.3.3 Bombeo.

Se refiere a la inclinación que tiene la vía en el sentido transversal, ya sea del centro hacia los bordes o de borde a borde, cuyo fin principal es drenar el agua que cae en la vía y transportarla hacia los costados de esta, sin afectar el tránsito.

Figura 3. Sección típica de vías de acarreo en minas a cielo abierto.



Fuente: Manual de Estándares y Procesos. Carbones del Cerrejón LLC.

1.3.4 Capacidad de una vía (C).

Se define como la posibilidad que tiene una vía para alojar un volumen dado de vehículos en un tiempo determinado. La capacidad se puede ver afectada por los factores de ancho del carril, obstrucciones laterales, condiciones de las bermas, porcentaje de vehículos lentos, alineamiento horizontal y vertical, etc.

1.3.5 Cunetas.

Corresponden a zanjas que se construyen a ambos o a un solo lado de la vía, con el propósito de conducir las aguas que caen sobre la calzada, así como las otras aguas que escurren por los taludes de cortes o de áreas adyacentes.

1.3.6 Curvas Horizontales.

Las curvas horizontales son definidos como arcos circulares que sirven de enlace entre los tramos del alineamiento recto, denominados tangentes, de una vía. Los elementos de una curva horizontal son: el radio, el grado, las tangentes, la cuerda larga, la externa, la ordenada media o flecha y la longitud de los cuales deben calcularse en función de la velocidad de diseño (Vd) y del ángulo de deflexión de las tangentes, para un adecuado empalme.

Desde el punto de vista operacional, se debe procurar que los desplazamientos en la curva sean lo más bajo posible para evitar una disminución improductiva en la velocidad y se debe seguir el terreno natural tanto como la economía y la seguridad lo permitan.

1.3.7 Curvas Verticales.

Se refiere a arcos parabólicos que sirven de enlace entre los alineamientos rectos del perfil de una vía, proveyendo una transición suave de una pendiente a otra. Las curvas verticales pueden ser convexas o cóncavas y se calculan en función de la diferencia algebraica de las pendientes de los tramos rectos que unen. La longitud de estas curvas debe ser adecuada para la confortable conducción y además entregar amplias distancias de visibilidad en el diseño.

Las curvas verticales deben ser tan largas como las condiciones lo permitan en forma tal que se puedan conseguir la máxima velocidad de diseño y la distancia visual requerida.

1.3.8 Combinación de Alineación Horizontal y Vertical.

En un diseño de vías de acarreo es indispensable que los alineamientos tanto horizontal como vertical se complementen. A pesar que las alternativas posibles de diseño son limitadas, es necesario considerar algunos problemas potenciales como los que citan a continuación:

- ?? Evitar diseñar y / o construir una curva horizontal aguda dentro o cerca de la cresta de una colina. Si se requiere necesariamente esta curva, se podría iniciar mucho antes de la curva vertical.
- ?? Evitar curvas horizontales agudas después de una pendiente larga de bajada donde los vehículos alcanzan o pueden alcanzar altas velocidades.
- ?? En vías donde se tienen dos carriles en operación y donde se produce sobrepaso de vehículos, es conveniente diseñar secciones de vía con tangentes largas y pendientes constantes.
- ?? Evitar intersecciones cerca de crestas verticales y curvas horizontales agudas.

1.3.9 Pendientes.

La pendiente de una línea es la relación entre la diferencia de altura de sus extremos y su longitud medida en proyección horizontal. La pendiente equivale a la tangente del ángulo de inclinación de dicha línea. En vías,

cuando se habla de pendiente, generalmente se refiere a la pendiente longitudinal, que es la pendiente de cualquier tramo recto de su perfil.

1.3.10 Peralte.

Se refiere a la inclinación transversal que tiene una curva horizontal de borde a borde, cuya función principal es contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga de los vehículos que marchan en curva y se calcula en función de la velocidad de diseño.

1.3.11 Velocidad de Diseño (Vd).

Es la velocidad seleccionada para proyectar la vía y relacionar las características físicas de ella, tales como los radios de curvatura, peraltes, distancias de visibilidad, entre otras, de las cuales depende la operación segura de los vehículos.

1.4 CLASIFICACIÓN DE LAS VÍAS.

Teniendo en cuenta que las condiciones de la mina son bastante dinámicas, la clasificación de estas vías se da conforme al servicio que presten y su vida útil, como se citan a continuación.

1.4.1 Conforme al Servicio.

Teniendo en cuenta el servicio prestado las vías se clasifican en:

1.4.1.1 Vías de Acarreo de Estéril.

Son aquellas por las cuales circula el tránsito pesado, tales como Camiones de 170, 240 y 320 toneladas, Tanqueros, Tractores, Motoniveladoras, entre otros. Estas vías comprende desde las palas hasta los botaderos y se dividen a su vez en:

- ?? Vías de áreas de palas: Son aquellas que van desde el frente de cargue de la pala hasta la pata de la rampa de salida del nivel.
- ?? Corredores y rampas de acarreo: Son las que van desde donde termina la vía de áreas de palas hasta la cabeza de la rampa que llega al botadero, comprendiendo rampas internas en los tajos, corredores, diques y rampas de los botaderos que forman parte del ciclo de acarreo de estéril.
- ?? Vías de botaderos: Son aquellas que van desde la cabeza de la rampa de entrada al botadero hasta el triángulo de botado.

1.4.1.2 Vías de Acarreo de Carbón.

Son aquellas por donde circulan los camiones carboneros desde los tajos hacia las trituradoras ó hacia las pilas de carbón.

1.4.1.3 Vías de Intercambio.

Son aquellas vías que comunican los tajos ó diferentes áreas de los tajos y por ellas circulan eventualmente los equipos mineros.

1.4.1.4 Vías de Equipos Livianos y Medianos.

Como su nombre lo dice, son aquellas por donde circulan equipos livianos y medianos y está restringido el paso a los equipos pesados, incluye las vías de acceso a los cambiaderos.

1.4.1.5 Vías de Acarreo de Suelo.

Son las vías por donde circulan los equipos que realizan la labor de acarreo de suelo, hacia y desde los bancos.

1.4.1.6 Vías Auxiliares.

Son aquellas vías que se construyen con un fin determinado diferente al de las vías de acarreo y se utilizan para acortar distancia entre niveles, accesos a sumideros ó a las instalaciones.

1.4.2 De Acuerdo con su Vida Útil.

Las vías se clasifican en:

1.4.2.1 Vías de Clase A.

Son aquellas vías que se construyen para un tiempo de servicio igual o mayor de dos meses; como los: corredores en el "highwall" o en el "footwall", o las vías perimetrales.

1.4.2.2 Vías de Clase B.

Son aquellas que se construyen para un tiempo de servicio menor de dos meses; como ejemplo: se citan rampas entre niveles.

1.4.2.3 Vías de Clase C.

Son las vías cuyo tiempo de servicio está determinado por la duración de la labor o trabajo por la cual se construyeron. Normalmente, estas vías tienen una duración menor a los 10 días; por ejemplo: vía de traslado de palas eléctricas.

1.5 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN EN VÍAS DE ACARREO CLASE A.

?? **Ancho de la Calzada:** Debe ser 3 y 1/2 veces el ancho del camión más grande que opere sobre la vía, de este modo los camiones Caterpillar de 240 ton., pueden y deben operar sobre una vía que cuente con un ancho igual a 28 metros, y los camiones EH5000 de 320 Ton., cuyas dimensiones se aprecian en la figura 4, lo deben hacer en vías de 30 metros de ancho.

Los siguientes parámetros de diseño de vías de acarreo clase A, (Ver figura 5) fueron tomados del Manual de Estándares y Procesos con que cuenta el Departamento Técnico de Carbones del Cerrejón LLC.

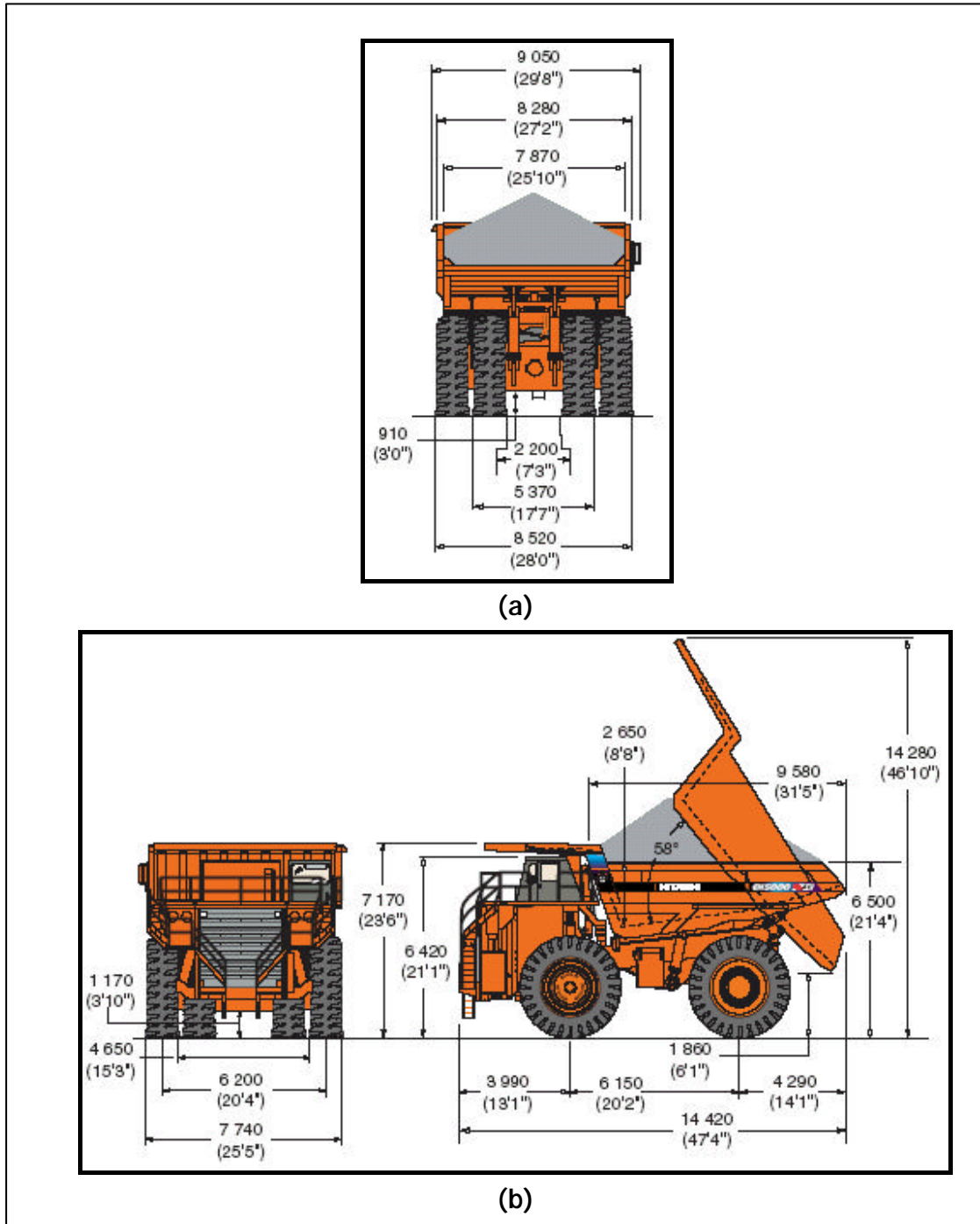
- ?? **Base:** Compuesta de material con características similares a una base con un CBR de 80 y un espesor de 1 metro. Requiere compactación al 100% del próctor modificado.
- ?? **SubBase:** Compuesta de material tipo aluvión (3 pulgadas con finos) con un espesor de 0.1 metros y un CBR de 35. Requiere compactación al 100% del próctor modificado.
- ?? **Subrasante:** Compuesta de material de estéril con CBR de 30.
- ?? **Capa de Rodadura:** Compuesta por triturado de 2 pulgadas, y 0.15 metros de espesor.
- ?? **Bermas:** Conformadas con material de rechazo o estéril suave, 1.5 m de altura y 1.0 m de ancho en la cabeza.
- ?? **Pendiente Longitudinal Máxima:** 8% o 10%; longitud máxima: 500 metros.
- ?? **Pendiente Longitudinal Máxima para Descenso de Camiones Cargados:** 6%, longitud máxima: 250 metros.
- ?? **Señalización:** Debe realizarse con paletas reflectivas cada 25 m en vías planas y cada 50 m en rampas. Así mismo deben contar avisos de límites de velocidad y señales convencionales de tránsito en los sitios que lo requieran (Señales de Pare, Ceda el Paso, etc.).

?? Vehículo de Diseño: Camión de 320 Toneladas.

?? Velocidad de diseño: 50 Km. /h.

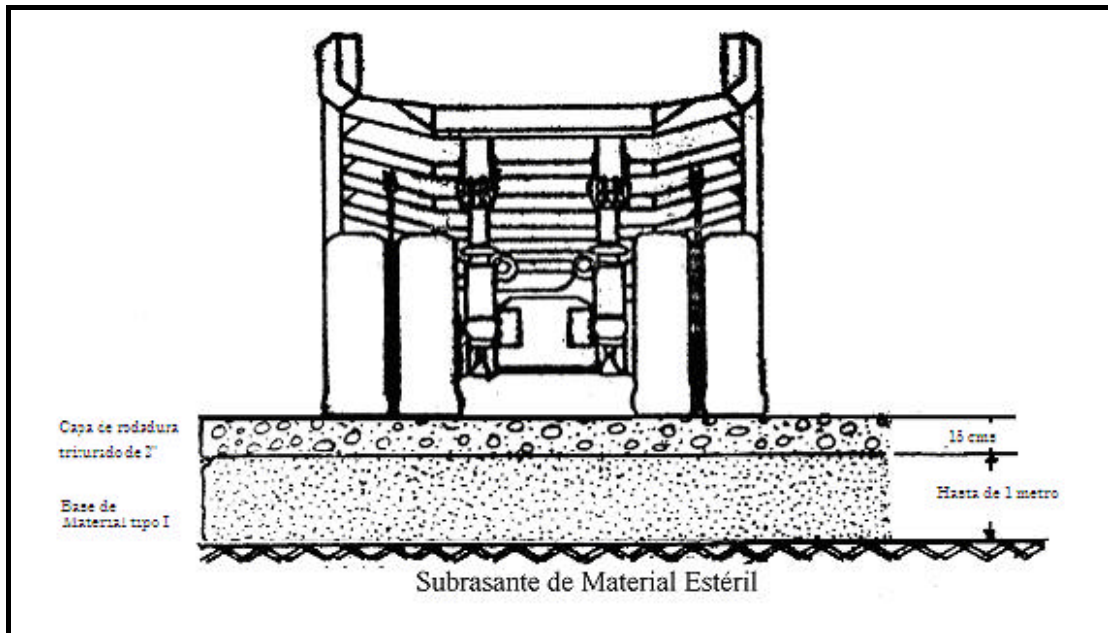
Usos: Corredores permanentes, rampas de acceso a botaderos, vías perimetrales permanentes, paso de vehículos pesados tales como camiones, tanqueros, motoniveladoras, etc.

Figura 4 (a y b). Dimensiones de Camiones Euclid Hitachi EH5000 ²



² www.hitachi-c-m.com/au/pdf/brochure/current/rigid/B_EH5000.pdf

Figura 5. Sección estructural de vías clase A, en minas a cielo abierto.



Fuente: Manual de Estándares y Procesos. Carbones del Cerrejón LLC.

1.6 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN EN VÍAS DE ACARREO CLASE B.

Los siguientes parámetros de diseño de vías de acarreo clase B, fueron tomados del Manual de Estándares y Procesos con que cuenta el Departamento Técnico de Carbones del Cerrejón LLC.

?? **Ancho de la Calzada:** 3.5 veces el ancho del camión de 320 ton. (30 metros).

?? **Base:** Compuesta de material tipo aluvión (3 pulgadas con finos) con un espesor de 0.2 metros y un CBR de 35.

- ?? **Bermas:** Conformadas con material de rechazo o estéril suave, de altura 1.5 m y de ancho 1.0m.

- ?? **Capa de Rodadura:** Compuesta de triturado de 2 pulgadas con un espesor de 0.10metros.

- ?? **Pendiente Longitudinal para Descenso de Camiones Cargados:** Máxima: 6%, longitud máxima: 250metros.

- ?? **Pendiente Longitudinal:** Máxima: 8%, longitud máxima: 500metros.

- ?? **Señalización:** Paletas reflectivas cada 25m en vías planas y cada 50m en rampas. Avisos de límites de velocidad y señales convencionales de tránsito en los sitios que lo requieran (Señales de Pare, Ceda el paso, entre otras).

- ?? **Subrasante:** Compuesta de material de estéril con CBR de 30.

- ?? **Vehículo de Diseño:** Camión de 320 ton. Velocidad de diseño: 35Km/h.

Usos: Vías de acceso a Palas, vías de intercambio entre niveles, vías de acceso a cargue restringido, traslado de Palas eléctricas. Su duración, por lo general, es menor de un mes.

1.7 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN EN VÍAS AUXILIARES CLASE C.

Los siguientes parámetros de diseño de vías de acarreo clase C, fueron tomados del Manual de Estándares y Procesos con que cuenta el Departamento Técnico de Carbones del Cerrejón LLC.

?? **Ancho de la calzada:** Máximo: 9m. Mínimo: 3m.

?? **Base:** Compuesta de material estéril de espesor 0.20m.

?? **Bermas:** Conformadas con material de estéril suave, de altura 1.5m y de ancho 1.0m, donde se requiera.

?? **Capa de Rodadura:** Compuesta de material estéril de espesor 0.10 m.

??

?? **Pendiente Longitudinal Máxima:** 12%, longitud máxima: 150 m.

?? **Señalización:** Donde se requiera.

?? **Subrasante:** Compuesta de material de estéril con CBR de 30.

?? **Vehículo de Diseño:** Equipo liviano.

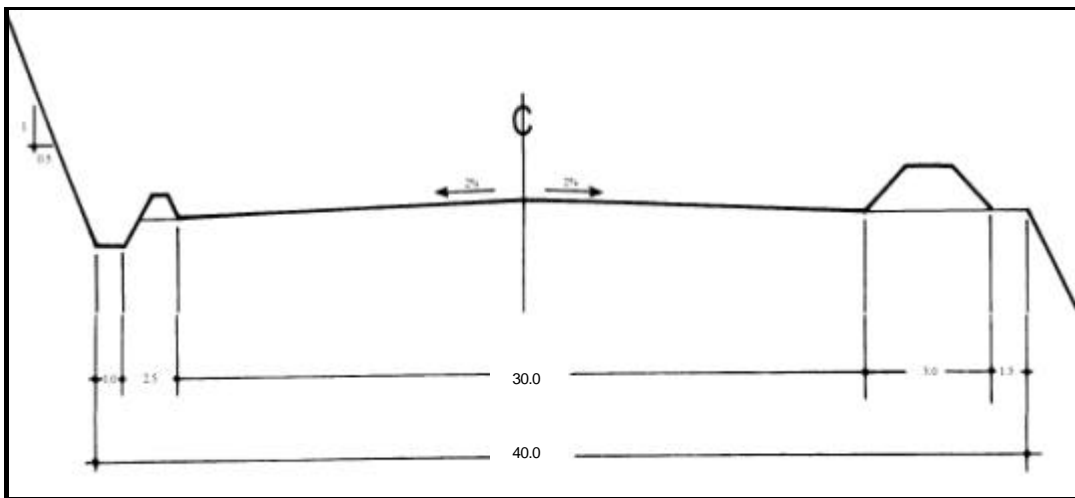
?? **Velocidad de diseño:** 30 Km. /h.

?? **Usos:** Vías de acceso a bombas, Áreas de voladuras, comunicación entre dos niveles, tendido de cables o tuberías, etc.

1.8 SECCIONES TÍPICAS DE VÍAS.

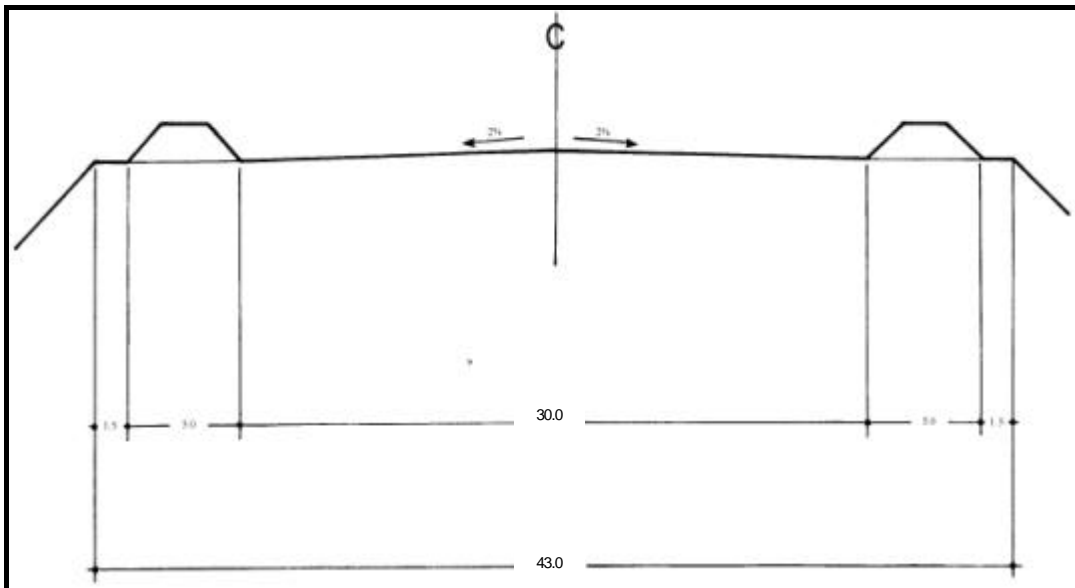
A continuación se presentan las secciones típicas de las vías en minas a cielo abierto, y sus respectivas dimensiones, estas últimas calculadas para camiones Euclid Hitachi EH5000, de 320 ton. (Ver figuras 6, 7 y 8).

Figura 6. Sección típica #1. vacío a un solo lado



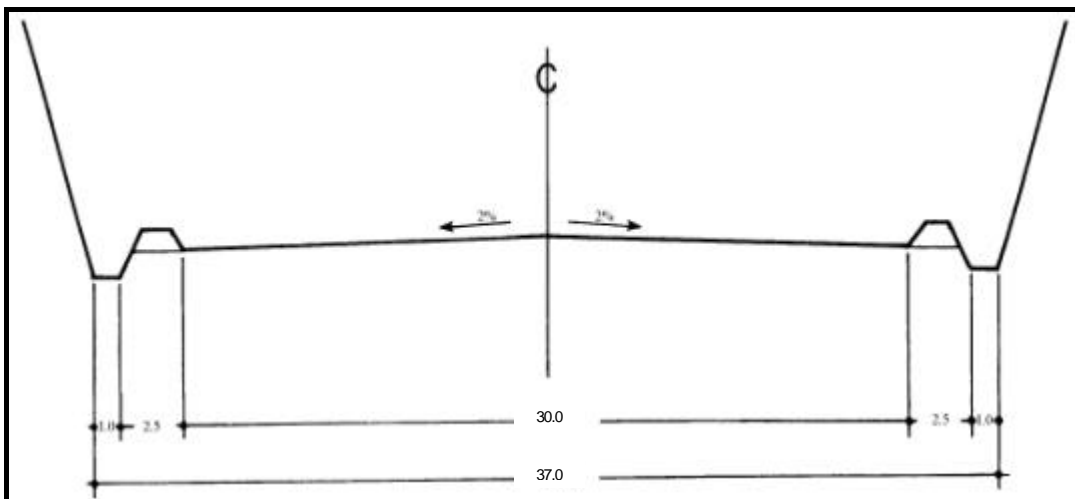
Fuente: Manual de Estándares y Procesos. Carbones del Cerrejón LLC.

Figura 7. Sección típica #2. vacío a los dos lados



Fuente: Manual de Estándares y Procesos. Carbones del Cerrejón LLC.

Figura 8. Sección típica #3. Pared a los dos lados



Fuente: Manual de Estándares y Procesos. Carbones del Cerrejón LLC.

2 SISTEMAS DE INFORMACIÓN VITAL.

Las compañías tradicionalmente mineras han sido las mas innovadoras y las líderes en términos de tecnología, aplicando los sistemas de información a las máquinas que trabajan directamente en los procesos de extracción minera.

Estos sistemas aumentan el flujo de información en tiempo real y lo entregan a los usuarios finales, los cuales pueden tomar las decisiones y obtener aumentos en las productividades, por medio de ejercer un mayor control en los volúmenes extraídos y aumento en las velocidades de trabajo.

Además de generar un aumento en la productividad, los sistemas de información son de gran ayuda para el personal de mantenimiento, pues suministran la información del o de los elementos averiados y por lo tanto, se puede llegar a la raíz del problema rápidamente y de esta manera disminuir los tiempo muertos de los equipos.

Caterpillar, como empresa proveedora de equipos mineros, no se puede quedar atrás en los avances tecnológicos que exigen sus clientes, y es por esto, que ha instalado en todos sus equipos el Sistema Administrador de Información Vital (VIMS, Vital Information Management System), el cual ha estado funcionando desde hace 10 años en las diferentes maquinas que construyen.

Una serie de sensores estratégicamente repartidos, junto a una grabadora de eventos, pueden reunir información de más de 250 funciones. Sí el VIMS

detecta condiciones de operación anormales en cualquiera de los sistemas de la máquina, pone en sobre aviso al operario, proporciona las instrucciones para modificar la operación de la maquina y notifica al personal de mantenimiento o simplemente deja de funcionar, dependiendo de la severidad del problema.

VIMS también registra información sobre la productividad y el desempeño, incluyendo (para los camiones) tiempo de cargue, tiempo de viaje cargado, tiempo de botado, y tiempo de viaje vacío

3 EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE LAS VÍAS DE ACARREO, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE SEVERIDAD DE APLICACIÓN (ASA) Y CONTROL DE ANÁLISIS DE VIA (RAC).

El continuo deterioro de los camiones que se movilizan por este tipo de vías en minas a cielo abierto, hizo que los expertos de Caterpillar desarrollaran la metodología ASA/RAC para facilitar la evaluación de las condiciones de las vías y por ende, identificar en tiempo real, los puntos que causaban sobrepresiones a los equipos.

En este capítulo se muestra el desarrollo de esta metodología, con base en el ASA/RAC Application Guide V.10.

Los datos generados por los Sistemas de Información Vital de los camiones Caterpillar, son recolectados en tiempo real, por la opción "Data logger" del VIMS. Los archivos recolectados, son analizados usando el software de Análisis de Severidad de Aplicación (ASA). Éste análisis permite una evaluación cuantitativa de las condiciones de las vías, lo cual puede ser usado para desarrollar estrategias de mejoramiento, y para evaluar los efectos de acciones y programas anteriores.

Una vez han sido representados gráficamente los datos usando el software ASA, los diagramas pueden ser revisados para determinar si hay una excedencia de los límites permisibles, individual o compuesta de los cilindros de la suspensión. Entonces es posible medir la severidad del ciclo del acarreo usando el "Índice de Condición de la Vía".

Este índice es combinado con la evaluación de datos de carga útil, para establecer un "índice de Severidad de Mina". Una vez el índice inicial ha sido determinado, se puede programar un análisis continuo y regular de las condiciones de la vía y la historia de la carga útil para ayudar a identificar las áreas que necesitan atención y mantener estas mejoras.

La primera consideración importante para la realización del mejoramiento de la capa de rodadura usando el software de Análisis de Severidad de Aplicación (ASA) y Control de Análisis de Vía (RAC), es el chequeo de la correcta calibración de las suspensiones, ya que sin estas el estudio podría llegar a arrojar valores errados, como por ejemplo: Mostrarnos una vía que se encuentra en supuestas buenas condiciones, cuando los equipos que transitan sobre ella están deteriorándose y reduciendo el tiempo de vida de sus componentes y por ende reduciendo las productividades, provocando grandes pérdidas para cualquier empresa que quiera implementar este método.

3.1 LÍMITES PERMISIBLES.

Por algún tiempo Caterpillar, ha recolectado datos de presiones de los cilindros de la suspensión de sus camiones en operaciones mineras y ha comparado con la información gráfica obtenida con ASA conociendo el desempeño de sus productos, la vida de sus componentes y las condiciones de las vías.

El análisis de estos datos indica que existe una relación directa entre RACKING de la estructura del equipo o chasis sobre el tiempo y el daño de la estructura y otros componentes del equipo, como: mandos finales y

componentes de los rodamientos de las ruedas, llantas, rines, terminales de la dirección, entre otros.

También fue concluido que otros factores como PITCH y BIAS (Son el resultado de malas técnicas de cargue y debido a las curvas sin el peralte adecuado) y una tasa de cambio de presiones desfavorables en la estructura, afecta adversamente la vida de servicio de los componentes.

La siguiente tabla "Límites Permisibles", fue construida para promover el objetivo del método, el cual es valorar consistentemente las condiciones de las vías y eliminar los niveles de subjetividades que existen, cuando una persona realiza una inspección a las condiciones de estas.

Tabla 1. Límites permisibles (Presiones en kPa).

Parámetro	Modelo de Equipo			
	777 y pequeños	785	789/793	797
RACKING & MACHINE BIAS (+/-)	6000	8000	8500	12500
Payload BIAS (+/-)	3000	3000	4000	5500
Max. Variación en intervalos de 2 segundos	5500	7000	8000	12000
Max. Presión en la estructura	12000	14000	14000	22700

Fuente: DAVEY, J. Y MCLEOD, M

3.2 ÍNDICE DE SEVERIDAD DE MINA.

El concepto de Índice de Severidad de Mina tiene en cuenta que la severidad de aplicación de la máquina se relaciona tanto con las condiciones de la vía como con la carga útil que transporta el equipo de acarreo. Anteriormente, los dos parámetros eran evaluados en una escala de 1 a 10, después multiplicados el uno con el otro para generar el Índice de Severidad de Mina (MSI). Para evitar confusiones cuando se reportara el Índice de Severidad de Mina, con otros índices, se ha decidido que la carga útil sea evaluada en una escala de valores alfabético de la A a J.

El propósito de este análisis es establecer un índice de línea base en el ciclo de acarreo, después reevaluar las condiciones a intervalos regulares para identificar y corregir las áreas de la vía que han causado esfuerzos significativos en el equipo. La retroalimentación de estos datos a los departamentos de planeación minera y mantenimiento de vías, ha probado ser una manera constructiva de mejorar tanto las condiciones de las vías, como el manejo de cargas, y también:

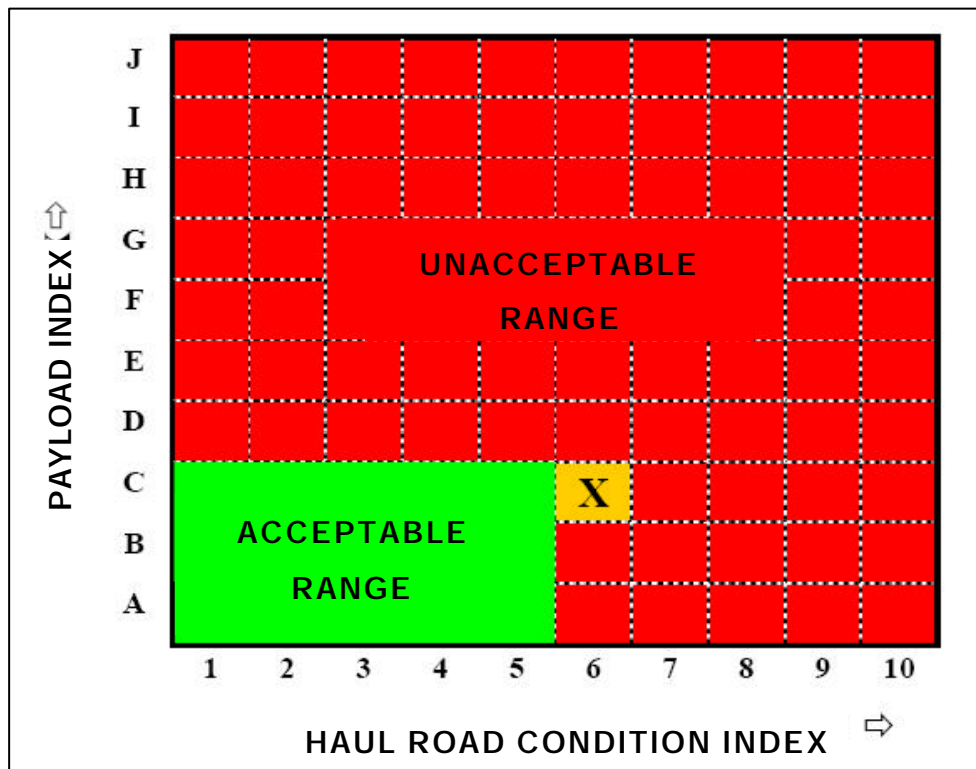
- ?? Reduciendo los costos de operación debido a la ampliación de la vida de los componentes.
- ?? Mejorando la productividad (incrementando la velocidad promedio de los equipos en las vías y por ende una reducción en los tiempos de los ciclos).
- ?? Reduciendo el consumo de combustible, debido a la reducción de la resistencia a la rodadura.

?? Mejorando el confort y la seguridad del operador (Debido a reducción del esfuerzo y principio de fatiga.

Con el fin de permanecer dentro del diseño y parámetros de los pesos brutos de nuestros vehículos, el índice de carga no podrá exceder de la clasificación C. El Índice de Condición de Vía no podrá exceder del nivel 5. Esto quiere decir que el mayor Índice de Severidad de Mina aceptado es el C5, siendo el producto de estos dos números de clasificación.

Esto puede representarse gráficamente, como se muestra a continuación:

Tabla 2. Clasificación del Índice de Severidad de Mina



Fuente: DAVEY, J. Y MCLEOD, M

Este método gráfico, ha demostrado ser una manera muy útil de ilustrar las condiciones actuales del manejo de las cargas y condiciones de las vías a la gerencia de la mina. Usando verde en el área de "Rango aceptable", rojo en el "Rango inaceptable" y ubicando una "X" amarilla como las condiciones actuales, permite ser una manera fácil de identificación de la conformidad o no conformidad de la situación.

En la anterior tabla se muestra a manera de ejemplo, un Índice Severidad minera clasificado en C6. Esto muestra que el Índice de Carga esta siendo manejado con la regla de carga 10/10/20 de Caterpillar, pero las condiciones de la vía están en necesidad de atenderlas para regresar el índice de condición de vía al rango aceptable.

3.3 ÍNDICE DE CARGA ÚTIL.

El resumen del monitoreo de carga se puede obtener a través del VIMS y puede ser asignado un valor del índice. El índice es basado en la regla de carga 10/10/20 de Caterpillar, que establece:

"La media de la distribución de carga útil no es mas que la carga objetivo; no mas del 10% de las cargas podrán exceder 1.1 veces la carga objetivo, y ni una carga excederá 1.2 la carga objetivo".

3.3.1 Clasificaciones del índice de Carga ³.

- ?? Clasificación A: El 100% de las cargas menores, que el 110% de las cargas evaluadas.
- ?? Clasificación B: El 95% de las cargas menores que el 110% de las cargas evaluadas, y ninguna excediendo el 120%.
- ?? Clasificación C: El 90% de las cargas menores que el 110% de las cargas evaluadas, y ninguna excediendo el 120%.
- ?? Clasificación D: El 85% de las cargas menores que el 110% de las cargas evaluadas, y ninguna excediendo el 120%.
- ?? Clasificación E: 80 % de cargas menores que 110 % de las cargas evaluadas y/o hasta 2% de cargas que superan 120 %
- ?? Clasificación F: 75 % de cargas menores que 110 % de las cargas evaluadas y/o hasta 5% de cargas que superan 120 %
- ?? Clasificación G: 70 % de cargas menores que 110 % de las cargas evaluadas y/o hasta 10% de cargas que superan 120 %
- ?? Clasificación H: 65 % de cargas menores que 110 % de las cargas evaluadas y/o hasta 15% de cargas que superan 120 %
- ?? Clasificación I: 60 % de cargas menores que 110 % de las cargas evaluadas y/o hasta 20% de cargas que superan 120 %
- ?? Clasificación J: 55 % de cargas menores que 110 % de las cargas evaluadas y/o mayor al 20% de cargas que superan 120 %

³ DAVEY, J. Y MCLEOD, M, Noviembre 2003. ASA/RAC Application Guide, Versión 10, Australia, Caterpillar.

3.4 ÍNDICE DE CONDICIÓN DE VÍA.

Una vez los datos de la presión de los cilindros de la suspensión han sido valorados utilizando los límites mencionados abajo, un Índice de Condición de Vía puede ser asignado para evaluar la condición de la vía. El índice emplea los datos para la gráfica de presión compuesta del análisis ASA, y busca los valores o picos máximos trazados por las presiones, generados por el Machine RACK y el Machine BIAS

Los valores de los límites del Machine RACK y Machine BIAS mencionados anteriormente son²:

?? ± 12 500 kPa para camiones de la serie 797

?? ± 8 500 kPa para los camiones de la serie 789 y 793

?? ± 8 000 kPa para los camiones de la serie 785

?? ± 6 000 kPa para los camiones de la serie 777 y menores

Nota: El manejo de los límites para el Machine BIAS difiere del límite de Payload BIAS que se encuentra en la tabla 1, porque el valor de esta tabla es usado para valorar el Payload BIAS mientras el equipo está quieto en la fase de carga. Los límites mostrados anteriormente son usados en la evaluación dinámica de la carga del equipo, la medición de estos datos en tiempo real se hace usando el VIMS Data logger durante los ciclos de cargado y vacío.

² DAVEY, J. Y MCLEOD, M, Noviembre 2003. ASA/RAC Application Guide, Versión 10, Australia, Caterpillar.

Adicionalmente a los límites permisibles definidos anteriormente, dos criterios de presiones significativas son definidos para usarlos en el desarrollo del índice de condición de vía. Estos valores son ²:

?? $\pm 16\ 500$ y $20\ 000$ kPa para la serie de camiones 797

?? $\pm 12\ 000$ y $16\ 000$ kPa para la serie de camiones 785, 789 y 793

?? $\pm 10\ 000$ y $14\ 000$ kPa para la serie de camiones 777 y menores

3.4.1 Clasificación del Índice de Condición De Vía ².

?? Clasificación 1: Ningún área con RACK o BIAS por fuera de los límites permisibles (ML's)

?? Clasificación 2: De uno a tres picos (RACK/BIAS) por fuera del ML's pero ninguno por encima de $\pm 12\ 000$ kPa.

?? Clasificación 3: Uno a tres picos por fuera de ML's, permitiendo un valor máximo por encima de $\pm 12\ 000$ kPa

?? Clasificación 4: De cuatro a seis picos por fuera de ML's permitiendo un valor máximo por encima de $\pm 12\ 000$ kPa, pero ninguno por encima de $\pm 16\ 000$ kPa.

?? Clasificación 5: De siete a diez picos por fuera de ML's, con dos a tres valores por encima de $\pm 12\ 000$ kPa pero ninguno por encima de $\pm 16\ 000$ kPa

² DAVEY, J. Y MCLEOD, M, Noviembre 2003. ASA/RAC Application Guide, Versión 10, Australia, Caterpillar.

- ?? Clasificación 6: De siete a diez picos por fuera de ML's, con cuatro a seis valores por encima de ± 12000 kPa, pero ninguno por encima de ± 16000 kPa.
- ?? Clasificación 7: Con mas de diez picos por fuera de ML's, con siete valores por encima de ± 12000 kPa, pero ninguno por encima de ± 16000 kPa.
- ?? Clasificación 8: Un número significativo de picos por fuera de ML's, con siete a diez valores por encima de ± 12000 kPa, y/o uno a tres valores por encima de ± 16000 kPa.
- ?? Clasificación 9: Un número significativo de picos mayores a ± 12000 kPa, y/o cuatro a seis valores por encima de ± 16000 kPa.
- ?? Clasificación 10: Un número significativo de picos mayores a ± 12000 kPa, y/o más de seis valores por encima de ± 16000 kPa.

*Nota: Para los camiones de la serie 797 se debe sustituir los limites de los índices: $\pm 12\ 000 / \pm 16\ 000$ kPa. Por $\pm 16\ 500 / \pm 20\ 000$ kPa
Para camiones de la serie 777 y más pequeños, se debe sustituir $\pm 12\ 000 / \pm 16\ 000$ kPa. Por $10\ 000 / \pm 14\ 000$ kPa*

3.5 DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS ASA DE PRESIÓN COMPUESTA.

3.5.1 Machine RAKING.

Es la diferencia entre las presiones de las suspensiones a través el centro del camión; de la siguiente manera,

$(Izquierda Delantera + Derecha Trasera) - (Derecha Delantera + Izquierda Trasera)$, lo cual cuida el chasis de la torsión y de sobre cargar los componentes del equipo.

3.5.2 Machine BIAS.

El diagrama de este parámetro demuestra si la colocación de la carga es central o a un lado del camión durante el ciclo de carga (Payload BIAS). También muestra si está ocurriendo carga "dinámica" significativa cuando la máquina atraviesa pendientes, o curvas a grandes velocidades donde no hay suficiente peralte; esta carga dinámica es llamada "Machine BIAS". El Machine BIAS y el Payload BIAS se definen como la diferencia de presiones de los cilindros a cada lado del equipo; es decir:

$(Izquierda Delantera + Izquierda Trasera) - (Derecha Delantera + Derecha Trasera)$

3.5.3 Machine PITCH.

Es la diferencia entre el total de las presiones de los cilindros, de las ruedas delanteras y las ruedas traseras; es decir:

$(Izquierda frontal + Derecha Frontal) - (Izquierda Trasera + Derecha Trasera)$.

Por diseño, la carga axial puede generar presiones en los cilindros de la suspensión trasera igual a aproximadamente el doble de la presión de los cilindros delanteros.

3.5.4 Variación en Intervalos de dos Segundos.

Los torques que sufre el chasis pueden ser más severos que lo que indican los valores generados, si la rata de cambio es rápida. La torsión en un lapso largo de tiempo causará menores esfuerzos que una reacción rápida.

3.5.5 Presión Mínima en los Cilindros de la Suspensión.

Valores menores de 1800 kPa son causa de interés ya que ésta es la presión de carga aproximada de los cilindros. Una menor presión puede indicar que el pistón del cilindro puede estar en contacto con la cabeza.

3.5.6 División Axial.

Es diseñada para generar una distribución aproximadamente del 33% para el eje frontal y un 66% para el eje trasero. La operación constante por fuera de estos límites de diseño causará una correspondiente reducción en la vida de los componentes mencionados anteriormente.

Una vez se tenga recolectada la información del comportamiento del camión ante las condiciones de la vía, según el manual inspecciones (Anexo A), se procede a graficar dicha información por medio del software ASA.

3.6 INTERPRETACIÓN DE LA GRÁFICA DE PRESIÓN DE LOS CILINDROS DE LA SUSPENSIÓN.

Para asegurar la consistencia en la interpretación de datos de ASA, las siguientes reglas han sido establecidas:

3.6.1 Picos Dobles.

Es muy común para una irregularidad en la vía, resulte de altas presiones leídas "picos", disminuidas y después hace un pico a una distancia corta. Sea que estos picos "picos dobles" pueden ser contados como uno, o dos picos serán abiertos a la interpretación.

Regla 2: Según (DAVEY, Y MCLEOD, 2003), cuando un pico de presión esté por encima de un valor de presión significativo (sea por los límites permisibles, o los dos valores críticos más altos) después bajan los picos de nuevo solo para hacer otro pico, el pico será contado como uno solo a menos que el valor baje por debajo de los límites permisibles.

Por ejemplo: Un camión Caterpillar de la serie 793C (Límite permisible es ± 8500 kPa, con valores de presión crítica en $\pm 12\ 000$ y $\pm 16\ 000$ kPa.) por lo tanto picos por encima de ± 12000 kPa, después bajan a menos de ± 8500 kPa, después vuelven a estar por encima de ± 12000 kPa, serán contados como dos picos para la evaluación en el Índice de Condición de

² DAVEY, J. Y MCLEOD, M, Noviembre 2003. ASA/RAC Application Guide, Versión 10, Australia, Caterpillar.

Vía. Sí el pico solo sobrepasa ± 8500 kPa, este pico será contado como uno solo.

3.6.2 Picos de RACK y BIAS para una Irregularidad de Vía.

También es muy común para una indeseable irregularidad de vía el resultado de altas presiones leídas (Picos), muestre altos picos de RACK y BIAS.

Regla 2: Según (DAVEY, Y MCLEOD, 2003), donde estos dos picos excedan los límites permisibles o los dos valores de presión crítica, ellos serán contados como dos picos para la clasificación en el Índice de Condición de Vía.

3.6.3 Interpretación de los Datos de PITCH.

Ocasionalmente vemos donde los datos de PITCH están siendo interpretados como una indeseable irregularidad de vía, pero típicamente esto es un resultado de una pendiente positiva o negativa de la vía (Ondulaciones). Debido a la fórmula usada para determinar el PITCH, no se ha hecho consideración alguna para la parte trasera del camión que carga el doble de la parte frontal. Esto explica porque los trazos del PITCH en la gráfica de presiones compuestas es un número negativo y muchas veces está por debajo de los límites permisibles del equipo.

² DAVEY, J. Y MCLEOD, M, Noviembre 2003. ASA/RAC Application Guide, Versión 10, Australia, Caterpillar.

Regla 2: Según (DAVEY, Y MCLEOD, 2003), a menos que sea severo el cabeceo (de adelante para atrás), se recomienda que las graficas de PITCH sean usadas como confirmación de cuando el camión esta en la vía, en vez de un parámetro reportable.

² DAVEY, J. Y MCLEOD, M, Noviembre 2003. ASA/RAC Application Guide, Versión 10, Australia, Caterpillar.

4 DESARROLLO DEL EJERCICIO DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA ASA/RAC EN MINAS A CIELO ABIERTO.

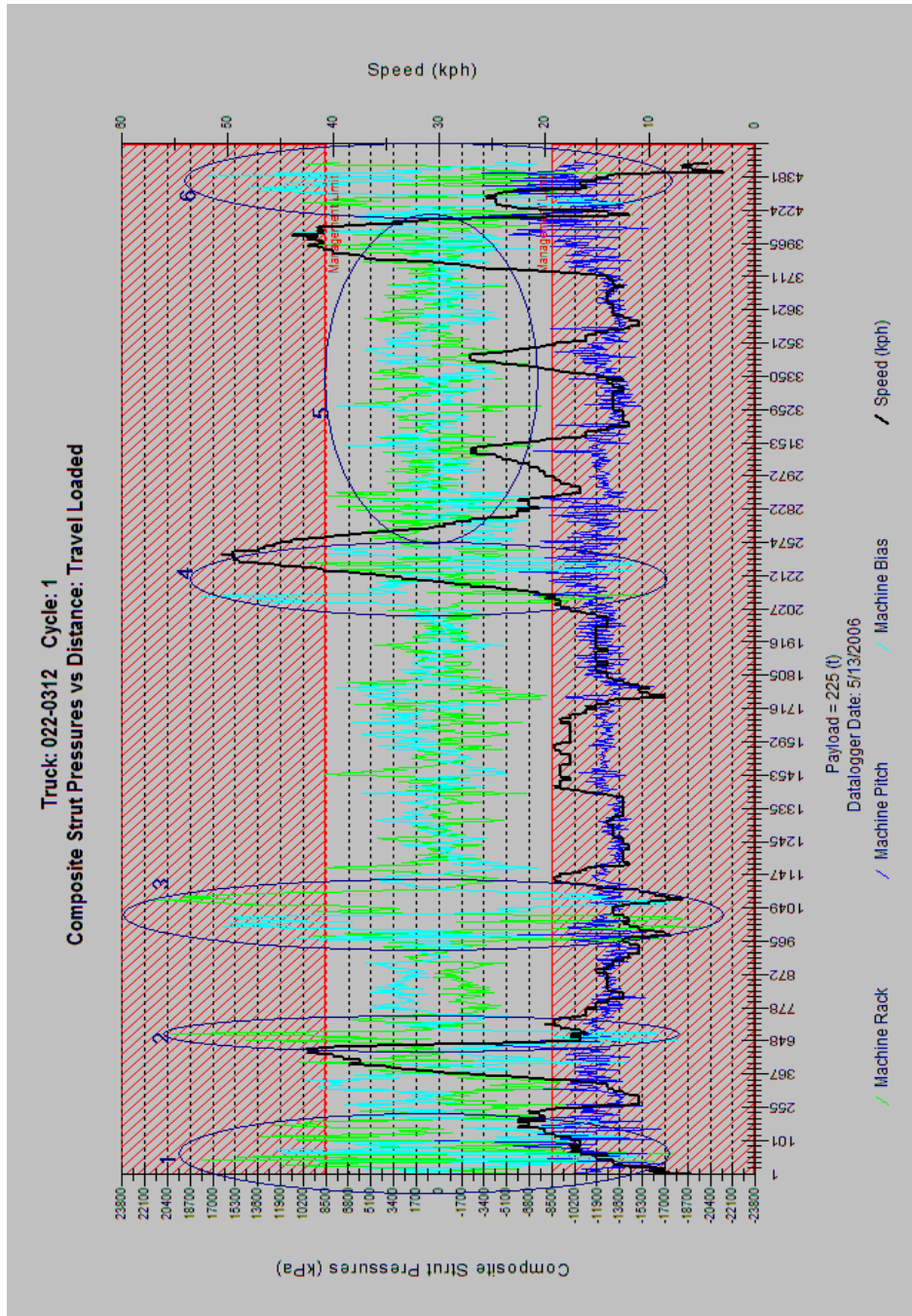
Con base en la información presentada anteriormente, se desarrolló un ejercicio de aplicación de esta metodología en una vía tipo en minas a cielo abierto, de manera que se consiguió analizar el estado general y las causas de falla presentes en la vía, proponer una opción de mejora a la metodología ASA/RAC con el fin de hacerla más efectiva y eficiente en el momento de su aplicación y posterior análisis, la cual fue presentada a través de un documento ante la empresa encargada de programar el Despacho Computarizado de Camiones de la Empresa Carbones del Cerrejón LLC, y se desarrolla en el siguiente capítulo; y desarrollar así mismo, un manual de aplicación que facilite a cualquier operario su ejecución, con el fin de dar respuesta efectiva y oportuna a los problemas presentados en las vías, favoreciendo la productividad y competitividad de la empresa que las opere.

Este ejercicio fue desarrollado en una vía tipo (vía de la mina de Carbones del Cerrejón LLC), con alto volumen de tráfico, extensa longitud (recorrido desde unas de sus palas al botadero asignado a dicha pala) y mayor movimiento de estéril extraído, considerada crítica para la empresa y en la cual se presentaban con gran frecuencia condiciones de falla que afectaban de manera significativa la productividad de la empresa.

La figura 9 ilustra el comportamiento de los cilindros de la suspensión de los equipos de acarreo CAT 240 graficado con el software ASA, durante el recorrido de inspección de la vía. En ella se observan las irregularidades que

han generado picos por encima de los límites permisibles o valores de presión crítica, identificados con los números 1, 2, 3, 4 y 6, es decir, aquellos lugares de la vía en donde se presentan causas de falla por las cuales la estructura del equipo se puede ver afectada y las velocidades de operación son reducidas; el punto 5 por su parte, identifica un sector de la vía en buen estado. A continuación se presenta el análisis realizado correspondiente a cada uno de los puntos anteriormente identificados.

Figura 9. Gráfica ASA, comportamiento de la suspensión ante las irregularidades de la vía.



Punto 1. Identifica el área de pala. Los altos picos o sobre presiones a las que se estaba sometiendo el camión en esta inspección, son debidos a la gran cantidad de ondulaciones que presentaba la vía, generadas por el avance de la pala. (Ver Figura 10).

Figura 10. Área de pala



Punto 2. Este punto corresponde a la primera curva que empalma el área de pala con la vía de acarreo. Es una combinación de curva vertical y horizontal. (Ver Figura 11) Esta curva presenta falta de peralte así como socavación; lo cual genera grandes torsiones en los equipos. Lo anterior se demuestra en los picos de RACK y BIAS presentes al mismo tiempo y a cada lado de la gráfica, abriendo en dos la misma, y que sobrepasan los límites permisibles.

Figura 11. Curva con problemas de peralte y socavación.



Punto 3. Identifica la segunda curva de salida de la pala que llega al nivel 20 del tajo. La deformación es mayor que la anterior dado que es una curva a 180 grados de manera que se socava con mayor facilidad y tiene mayor tráfico que la anterior.

Punto 4. Corresponde a la tercera curva de la ruta inspeccionada. Esta presenta menores esfuerzos que las anteriores debido a los arreglos geométricos y estructurales que le estaban realizando en el momento de la inspección. (Ver Figura 12).

Figura 12. Tercera curva de la ruta inspeccionada, con arreglos geométricos y estructurales.



Punto 5. Tramo de la vía comprendido entre los niveles 130 y 160 que conduce al botadero. Se encuentra en condiciones adecuadas, no presenta picos que sobrepasen los límites permisibles. (Ver Figura 13)

Punto 6. Identifica la vía de botadero. Se presentan fuertes ondulaciones y baches, que generan gran cantidad de picos por encima de los límites permisibles. (Ver Figura 14).

Figura 13. Tramo de vía con ningún pico sobrepasando los ML's



Figura 14. Vía de botadero con fuertes ondulaciones y baches.



5 PROPUESTA DE MEJORAMIENTO POR AUTOMATIZACIÓN Y MANUAL DE PROCEDIMIENTOS.

En éste capítulo se presenta la propuesta de automatización que se realizó y se remitió a la empresa MODULAR, empresa encargada de la programación del despacho computarizado de camiones de Carbones del Cerrejón LLC, así como el Manual de Procedimientos, indispensable para facilitar la ejecución de la inspección a través de esta metodología y dar respuesta oportuna a los problemas que se presenten en las vías, de manera que se favorezcan la productividad y la competitividad de cualquier empresa que desee implementarlos.

5.1 PROPUESTA DE MEJORAMIENTO POR AUTOMATIZACIÓN.

En este numeral se presenta una copia del documento original que fue estructurado y enviado a la empresa MODULAR con sede en Chile, como informe y propuesta de mejoramiento para la automatización, por medio de telemetría, del monitoreo de condiciones de las vías con ASA-RAC. Modular es la empresa encargada de la programación del despacho computarizado de camiones (CTD), en Carbones del Cerrejón LLC.

Ésta propuesta, en el momento de escritura de este libro, se encuentra en estudio de viabilidad económica.

PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN Y USO DEL RACK DE CAMIONES CAT PARA EL MEJORAMIENTO DE MANTEMIENTO DE LAS VÍAS DE LA MINA DEL CERREJÓN.

ANTECEDENTES.

El movimiento interno que tiene la mina es tan alto, en lo que corresponde al frecuente tráfico pesado que tienen que soportar sus vías, que la estructura de éstas se va deteriorando rápidamente, perdiendo el bombeo (drenaje), peraltes y formando baches, que afectan de manera directa la productividad de la mina, puesto que los camiones comienzan a sufrir sobre-presiones en su suspensión y en sus llantas, y torsiones elevadas en el chasis, de manera que se generan grietas e incrementan la probabilidad de falla y accidentes, por lo que los operadores se ven obligados a reducir la velocidad de desplazamiento, o aumentar el tiempo down de los camiones por reparación, y por ende disminuir la capacidad de producción diaria.

Para dar solución efectiva a esta situación, es claro que se deben invertir recursos para realizar un adecuado mantenimiento a las vías, sea en operación de maquinaria pesada como motoniveladoras, tractores o traíllas, o cambiando la capa de rodadura con determinada periodicidad. El problema radica en poder detectar de manera rápida y confiable donde están ubicados los puntos de falla que están afectando a los camiones, analizar las causales de falla, su periodicidad y realizar el mantenimiento adecuado y así tener un

mejor control en la inversión de los recursos para el mejoramiento de las vías y disminuir costo y tiempo de mantenimiento de los camiones.

Hoy en día en la mina del Cerrejón es necesario tener una persona de la empresa cuya única función es subirse a los camiones para realizar el levantamiento de datos en tiempo real para identificar los sitios donde la vía presente irregularidades, posteriormente procesar la información para darla a conocer al supervisor encargado de una manera práctica y entendible desde el punto de vista Geo-espacial. Sin embargo en un buen número de ocasiones la información procesada llega a manos del supervisor hasta un día después de haber sido tomada y en ese tiempo ya se han invertido recursos a otros tramos que no los necesitaban con tanta urgencia.

Caterpillar cuenta con un sistema de información vital llamado VIMS; éste programa toma la lectura de la presión de las suspensiones y la procesa de esta manera: ((Delantera derecha+Trasera izquierda)-(Delantera izquierda+Trasera derecha)) esto es igual a una presión generada en el chasis llamada RACK.

Aunque la información que llega al CTD con que cuenta el Cerrejón, tiene la interfase con VIMS la cual funciona por telemetría y baja los datos en tiempo real, no permite ubicar al camión en ningún punto interno de la vía, respecto a los datos del Rack del VIMS. A continuación se expone el proceso con que cuenta CTD.

OBJETIVO.

Desarrollar una herramienta sistematizada para la utilizar la información que provee el sistema VIMS de los camiones CAT para la automatización y uso del rack, como

Herramienta para el mejoramiento de las vías de la mina del cerrejón y enfoque de recursos en el mantenimiento.

QUE SE HACE HOY EN DIA PARA BAJAR LOS DATOS POR TELEMETRIA.

En la opción de VIMS por CTD se ingresa a "Pantalla Solicitud de Canales", donde aparece un sub-menú con las siguientes opciones:

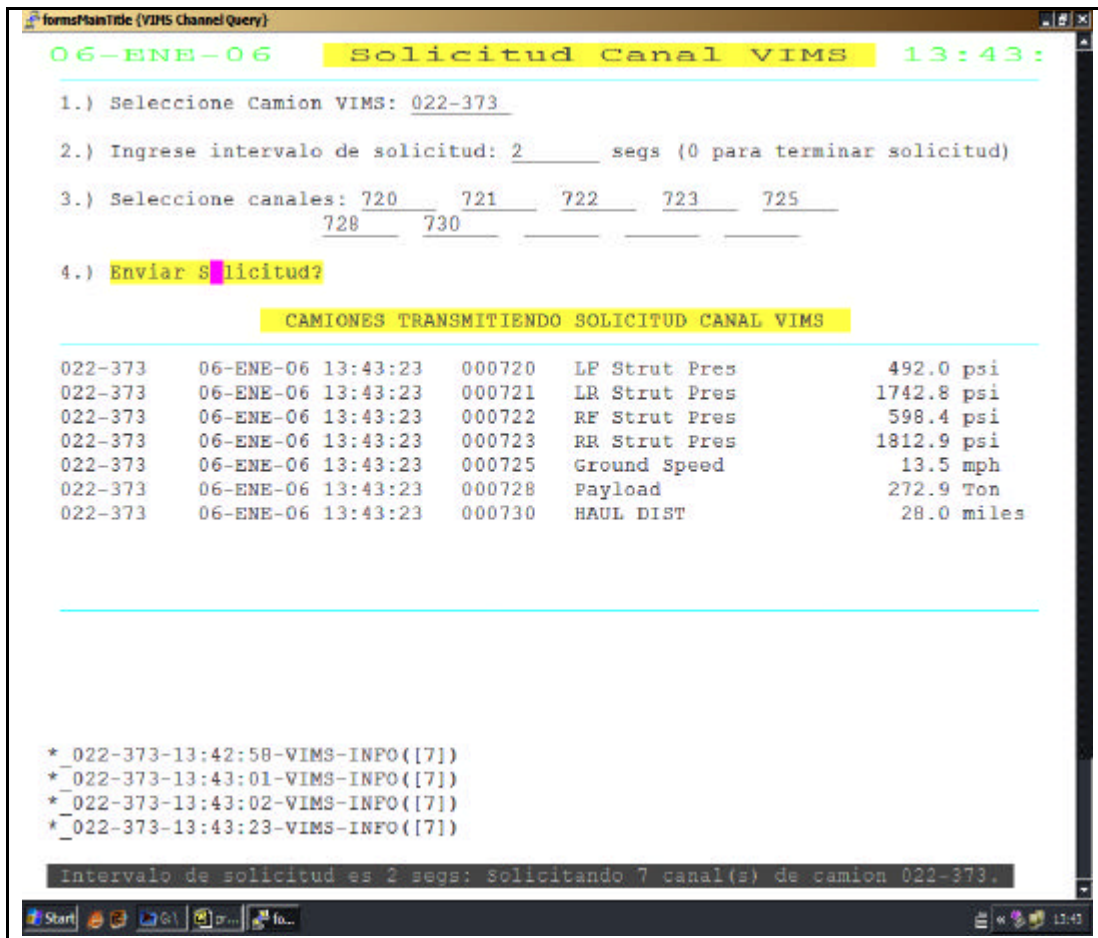
1). Selecciones Camión VIMS: en este punto es necesario ingresar el número del camión con el cual se va a hacer la observación, que para este caso es alguno que se encuentre en la zona de cargue de la pala que CTD tiene asignado a la vía que se quiere analizar.

2). Ingrese Intervalo de solicitud: como se requiere obtener la información bien detallada es necesario ingresar "cada segundo".

3). Seleccione Canales: se seleccionan los canales necesarios para la lectura del RACK a saber: Lt F Susp Cyl (720), Lt R Susp Cyl (721), Rt F Susp Cyl (722), Rt R Susp Cyl (723), Ground Spd (725), Haul Distance (730) y Payload (728).

El resultado de la consulta es como se indica a continuación:

Figura 15. Interfase VIMS del despacho computarizado de camiones.



Después de bajar los datos es necesario hacer la operación respectiva para encontrar el RACK, y para ir dando la ubicación al supervisor de los problemas, es necesario estar en línea con el operador para que éste informe por cual lugar va pasando minuto a minuto.

La sola toma de la información puede tardar entre 20 y 30 minutos, (El tiempo del recorrido del camión), y a estos hay que agregarle el tiempo que se demora procesando la información recogida.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO.

Con base en lo anterior, y teniendo en cuenta los sobrecostos que representan para la empresa la manera en que se atienden la revisión y reparación de las vías, a continuación se describe la propuesta de mejoramiento, con el ánimo de desarrollar una herramienta que permita acceder de manera fácil y eficiente a la información confiable para optimizar este proceso.

Condiciones de operación a ser tenidas en cuenta:

La herramienta que se describirá a continuación deberá ser muy sencilla para que sus usuarios vinculados a la operación que requieran saber sobre el estado de una vía, puedan acceder a él sin requerir algún soporte técnico respecto a su funcionamiento.

Deberá funcionar de la siguiente manera:

- 1). El primer pantallazo que arroje, deberá preguntar por la pala que el CTD tenga asignada a la ruta que se irá a analizar, por ejemplo: Sí el supervisor desea revisar el comportamiento de la vía desde el fondo de Tabaco Extensión al botadero Estrella, este tendrá que ingresar o seleccionar el nombre de alguna pala que se encuentre en dicho tajo y que tenga asignado ese botadero.
- 2). Deberá mostrar el ID de los camiones que han cargado en dicha pala en las últimas dos horas y de los cuales el programa tenga registro del Rack almacenado y una opción donde se teclee el número del camión con el cual se realizará la inspección.

- 3). En el momento que se ingresa el número del camión se cambiara de pantalla y mostrará el siguiente formato con la respectiva información que se tenga.

Figura 16. Vista preliminar de la herramienta sistematizada.

Pala = PH9 N-45

Botadero : 160 Estrella

Camión: 022-357

Tiempo (H:MM:SS)	Distancia (Millas)	Velocidad (Mph)	Rack (PSI)	Carga (Ton)	GPS
8:59:35	0	11	-63.97	278	1
8:59:36	0	12	1.74	278	
8:59:37	0	12	142.73	278	
8:59:38	0	12.5	381.20	278	
8:59:39	0	13.5	566.43	278	
8:59:40	0	13.5	574.27	278	
8:59:41	0	14	37.71	278	
8:59:42	0	14	-127.50	278	
8:59:43	0	14	-200.75	278	
8:59:44	0	16.5	-74.12	278	
8:59:45	0	18.5	41.63	278	
8:59:46	0	16.5	54.83	278	
8:59:47	0	16.5	751.81	278	
8:59:48	0	17.5	-215.55	278	
8:59:49	0	17.5	-1423.41	278	
8:59:50	0	16	-1620.83	278	
8:59:51	0	16	-1273.14	278	2
8:59:52	0	16.5	-274.15	278	
8:59:53	0	16	220.34	278	
8:59:54	0	17.5	-588.77	278	
8:59:55	0	17.5	681.90	278	
8:59:56	0	17.5	511.89	278	
8:59:57	0	16.5	170.29	278	
8:59:58	0	17.5	24.51	278	
8:59:59	0	17.5	-161.59	278	
9:00:00	0	17.5	38.44	278	
9:00:01	0	17.5	1820.15	278	
9:00:02	0	17.5	1920.35	278	
9:00:03	0	19	21.32	278	
9:00:04	0	18.5	215.11	278	
9:00:05	0	19	-141.28	278	
9:00:06	0	18.5	-2450.23	278	
9:00:07	0	19	-2820.35	278	3
9:00:08	0.16	20	-30125.25	278	
9:00:09	0.16	19.9	-1061.36	278	

6Rack /
100mts

- ?? La información de la **Pala**: Será alimentado desde el CTD junto con el nivel donde se encuentra, confrontado con el nombre de la pala que el usuario a ingresado al comienzo, y el botadero, será el que el CTD tenga asignado para dicha pala.
- ?? Columna **Tiempo**: Indicará el momento en que se realizó la inspección.
- ?? Columna **Distancia**: Se alimentará del canal "Haul Distance (730)", tomando la información que éste arroja y procesándola de la siguiente manera: Toma el dato inicial que arroja el camión en el momento del evento lleno, y a los datos siguientes se les restará el primero, con el fin de obtener una distancia relativa a la pala, segundo a segundo.
- ?? Columna **Velocidad**: Se alimentará directamente del canal "Ground Spd (725)".
- ?? Columna **Rack**: Leerá las columnas de los canales: Lt F Susp Cyl (720), Lt R Susp Cyl (721), Rt F Susp Cyl (722), Rt R Susp Cyl (723)

Y los procesará de la siguiente manera:

$$((\text{Lt F Susp Cyl (720)} + \text{Rt R Susp Cyl (723)}) - (\text{Lt R Susp Cyl (721)} + \text{Rt F Susp Cyl (722)})) = \text{Rack}$$

Después la columna tendrá un semáforo de la siguiente forma:

Verde: cuando el valor del Rack esté entre ± 1232 PSI y ± 1740 PSI

Amarillo: cuando el valor se encuentre entre ± 1740 PSI y ± 2320 PSI

Rojo: cuando el valor se encuentre excediendo a ± 2320 PSI.

?? Columna **Carga**: Leerá directamente el canal "Payload (728)".

?? Columna **GPS**: Se alimentará de los archivos de GPS que almacena el CTD para cada camión.

Confrontando los datos de tiempo inicial y final de la inspección, la herramienta leerá las coordenadas que se encuentren entre la hora mayor o igual a la del inicio de la prueba, hasta la hora menor o igual del final de la prueba, ("momento de botado del camión"). Las coordenadas anteriormente mencionadas deben graficarse automáticamente utilizando el "pitgraph" de CTD mostrando los puntos de GPS. Esta información de GPS debe generarse en un archivo plano, con el propósito de ser exportado al sistema MINEX o cualquier graficador (dxf), el cual será generado a diario automáticamente. Este archivo, para manera de este ejemplo, se deberá llamar PH9 - 160 Estrella o simplemente PH9. Esto traería como ventaja que con estos archivos generados se grafiquen planos para que el supervisor realice las tareas pertinentes.

?? Una vez se tenga el plano con los puntos de GPS, se hará una interpolación con la con éstos y la distancia, para que el programa grafique los punto de Rack encontrados en un estilo diferente a los puntos de GPS y cada clasificación de Rack con un color específico.

?? El último recuadro que presenta el informe, se sacará contando la cantidad de veces en que se esté reportando valores de Rack superiores a los límites mencionados previamente y dividiéndolos por

la distancia total de la vía multiplicada por 16,1 que es el factor de conversión de millas a 100 m.

- ?? Como la toma de los datos llevaría una inversión de tiempo al usuario alrededor de 20 minutos, se ve la necesidad de almacenar todos estos datos, para que luego el programa los lea y haga la confrontación de datos descrita previamente.
- ?? La información recogida para este informe es muy extensa y una lectura de Rack del día anterior no sirve, la base de datos solo almacenaría datos de los recorridos del camión en las últimas dos horas, de manera que apenas la pala lo reporte como cargado comience la recolección de datos hasta el momento en que el camión reporte Botando.
- ?? El reporte solo leerá los datos del viaje más reciente que tenga en la pala el camión seleccionado; si el reporte de la vía a PH9 tiene registro en la última hora de 3 viajes del camión 022-357 en nuestro ejemplo, el programa solo leerá los datos del último viaje.
- ?? Los datos que se almacenarán de manera indefinida serán el resultado del recuadro inferior del reporte, es decir el número Rack / 100 m, junto con el ID del camión, la hora del inicio de la prueba, la fecha, Pala y destino final.

5.2 MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA LA EFECTIVA EJECUCIÓN DE LA METODOLOGÍA ASA – RAC.

En el anexo A se presenta el documento estructurado como Manual de Procedimientos para la realización efectiva del monitoreo de condiciones de las vías con el software ASA – RAC, de manera que se convierta en una herramienta que cualquier persona dentro de la mina, pueda aplicarlo sin mayores inconvenientes.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

1. La realización de un programa de mantenimiento de vías en minas a cielo abierto, basado en el software ASA – RAC es muy efectivo y confiable, siempre y cuando se seccione la vía en tramos muy bien definidos con el fin de poder tener el control de los mismos y dar respuesta efectiva y eficaz a los problemas presentados.
2. Con la mejora propuesta, la optimización de los recursos invertidos en el mantenimiento de vías es alcanzada gracias a que se consiguen identificar, puntualizar y dar solución efectiva sobre los sitios que están afectando realmente la estructura y las llantas de los camiones de acarreo, consiguiendo de esta manera aumentar la disponibilidad de los mismos, disminuir los costos de mantenimiento y aprovechar de una mejor manera los recursos disponibles o redireccionarlos en caso de ser necesario.
3. Así mismo, el monitoreo constante de la condición de las vías permite el análisis basado en métodos estadísticos, de modo que el personal encargado del mantenimiento de vías conoce a tiempo los tramos que requieren mayor atención y así contribuir a la disminución de los ciclos de acarreo basados en aumento de velocidades.

4. De este modo, la mejora propuesta en la herramienta permite:
- Disminuir los costos por monitoreo de la vía,
 - Eliminar la subjetividad del sistema debida al operario que realiza el monitoreo,
 - Dar respuesta en tiempo real a las imperfecciones de la vía.
 - Aumentar la productividad de la mina,
 - Aumentar la disponibilidad de los equipos,
 - Disminuir los tiempos muertos, y
 - Enfocar de manera efectiva y eficaz los recursos destinados al mantenimiento de las vías.

BIBLIOGRAFÍA.

1. DAVEY, J. Y MCLEOD, M, Noviembre 2003. ASA/RAC Application Guide, Versión 10, Australia, Caterpillar.
2. INTERCOR, 2003. Estándares de Operación Vías y Botaderos, Intercor, Carbones del Cerrejón LLC, La Mina, Albania, La Guajira, Colombia.
3. CARBONES DEI CERREJÓN LLC, Documentos internos, La Mina, Albania, La Guajira, Colombia.
4. MINERA ESCONDIDA, Noviembre 2005. Manual de Diseño, Construcción y Mantenimiento de Caminos Mineros, Minera Escondida, Antofagasta, Chile.
5. MINERA ESCONDIDA, Noviembre 2005. Manual Operacional Cuidado de los Neumáticos, Minera Escondida, Antofagasta, Chile.
6. SNOWN ADRIAN, Octubre 2000. Information technology applied to real time mining process: Information to manage, New Zealand Minerals & Mining Conference Proceedings 29 – 31 Octubre 2000.
7. BRAVO, PAULO EMILIO, Sexta edición 1998. Diseño de carreteras, Cargraphics, Bogotá, Colombia
8. INTERCOR, 2003. Manual de Estándares y procesos, Intercor, Carbones del Cerrejón LLC, La Mina, Albania, La Guajira, Colombia.

9. www.hitachi-c-m.com/au/pdf/brochure/current/rigid/B_EH5000.pdf

ANEXO A.

SUPERINTENDENCIA DE SOPORTE A LA PRODUCCIÓN

MANUAL DE INSPECCIÓN DE VÍAS CON VIMS Y ASA-RAC

JORGE EDUARDO RODRIGUEZ REY

CARBONES DEL CERREJÓN LLC

LA MINA - LA GUAJIRA

DICIEMBRE

2005

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.	85
1 GENERALIDADES DE LAS VÍAS.	87
1.1 CLASIFICACIÓN DE VÍAS.	87
1.1.1 Según el Servicio.	87
1.1.2 Según su Vida Útil.	88
1.1.3 Según su Ubicación.	88
1.2 DRENAJES.	89
1.3 ANCHOS DE VÍA.	89
1.4 BERMAS DE PROTECCIÓN.	90
2 METODOLOGÍA DE SEGUIMIENTO Y CONTROL.	91
2.1 OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.	91
2.1.1 Implementos Necesarios.	91
2.1.2 Ubicación del Camión y puesto de listo.	94
2.1.3 Recolección de la Información.	95
2.2 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.	104
2.3 APLICACIÓN DEL ANÁLISIS SEVERO (ASA).	108
2.4 REALIZACIÓN DEL INFORME.	113

LISTA DE FIGURAS

Figura 17. Computador portátil.	92
Figura 18. Cable de interfase.	92
Figura 19. Inversor de corriente.	93
Figura 20. Camión Caterpillar de 240 ton.	93
Figura 21. Vista del programa VIMS.	96
Figura 22. Vista de Real Time Machine Status y Data Logger.	97
Figura 23. Activación del Data Logger.	98
Figura 24. Formato de inspecciones.	101
Figura 25. Apagado del Data Logger.	102
Figura 26 (a y b). Proceso de almacenamiento de datos	103
Figura 27. Merge Download File.	105
Figura 28. Descarga de información.	106
Figura 29. Submenú Data Logger.	107
Figura 30. Presentación del software Fleet Productivity Optimisation.	109
Figura 31. Selección el modelo e ID del camión.	109
Figura 32. Gráfica de velocidad y consumo de combustible / distancia	110
Figura 33. Gráfica de velocidad, Rack, Bias, Pitch / tiempo	111
Figura 34. Gráfica de velocidad, Rack, Bias, Pitch / distancia.	112
Figura 35. Índice de condición de vía	112

INTRODUCCIÓN.

La dinámica en general que presenta la mina, sumada a las grandes cantidades de dinero invertido en el consumo de llantas y combustibles, reparación y cambio de suspensiones y chasises dañados por el desgaste de las vías, han llevado a la Superintendencia de Soporte a la Producción, a estudiar nuevos softwares para poder cuantificar e identificar los defectos que presentan las estructuras de las vías y de ésta manera tomar los correctivos apropiados.

Los defectos más comunes en las vías son aquellos referentes a la pérdida de bombeo y peraltado, formación de baches, y contaminación de la capa de rodadura (Tipo E), todos relacionados con los daños ocasionados en la integridad estructural de las vías, por los equipos mineros que transitan sobre ellas tales como, Camiones de 240 y 320 toneladas, Motoniveladoras, tanqueros, tractores, retroexcavadoras, traíllas, palas eléctricas e hidráulicas y un sin número de equipos que requiere la mina para su operación.

Caterpillar ha desarrollado un software llamado VIMS, el cual se encarga a través de una serie de sensores instalados en los equipos, de identificar los puntos específicos de las vías que afectan negativa y directamente las partes de los camiones que transitan por ellas. Esta herramienta solo ha sido implementada en el área de mantenimiento, permitiendo la lectura de historial de carga de los camiones para tener una idea de cuando se comenzaron a formar las grietas. La Superintendencia de Soporte a la Producción ha tomado éste software y ha creado un programa de monitoreo y mantenimiento de vías con el ánimo de mejorar la producción y la productividad de la mina, en la medida en que se disminuyen los gastos por

el mantenimiento de los equipos, se incrementan las velocidades de los mismos y se optimizan los recursos que administra para la construcción y el mantenimiento de las vías.

1 GENERALIDADES DE LAS VÍAS.

El presente capítulo tiene como objeto mencionar, los conceptos básicos relacionados con el diseño y la construcción de vías para minas a cielo abierto y de esta manera ubicar y enfocar al usuario en lo que debe tener en cuenta cuando realice una inspección con el método RAC.

1.1 CLASIFICACIÓN DE VÍAS.

Las vías en la mina de Carbones del Cerrejón LLC. se clasifican de acuerdo con el servicio que presten, su vida útil y su ubicación en el tajo, como se presenta a continuación.

1.1.1 Según el Servicio.

Dependiendo del servicio que prestan pueden ser:

?? Vías de Acarreo: Aquellas vías que permiten el tránsito de los equipos pesados tales como camiones de 240 y 320 toneladas, tanqueros, motoniveladoras y tractores, y van desde el lugar donde se encuentran las palas hasta los botaderos.

??Vías Auxiliares: Son aquellas construidas con un fin determinado, como por ejemplo las vías de los buses, cuyo único fin es hacer transitar los buses que llevan al personal entrante o saliente del turno.

1.1.2 Según su Vida Útil.

Las Vías se clasifican en:

- ?? Vías Clase A: Vías con tiempo de servicio superior a un mes.
- ?? Vías Clase B: Vías con tiempo de servicio inferior a un mes.
- ?? Vías Clase C: Vías con tiempo de servicio determinado por la duración de la labor o trabajo para la cual se construye.

1.1.3 Según su Ubicación.

Es una clasificación de las vías de acarreo:

- ??Vía de Área de Pala: Es la vía que comprende desde la zona de cargue de la pala hasta la pata de la primera rampa.
- ?? Vía de Acarreo: Es la vía que comprende desde la pata de primera rampa hasta la cabeza de la rampa que sube al botadero, comprendiendo rampas y corredores que posea internamente.
- ??Vía de Botadero: Es la vía que va desde la cabeza de la última rampa de la vía de acarreo, hasta el triangulo de botado.

1.2 DRENAJES.

Así como en cualquier carretera, el agua es uno de los elementos que se deben eliminar de manera parcial o completa de las vías, en la minería la presencia de ésta en las vías es un factor determinante para el cumplimiento de las metas de producción planeadas, por esta razón se debe tener buen control de los drenajes, tales como: bombeo, cunetas, alcantarillas y piling.

1.3 ANCHOS DE VÍA.

El ancho de las vías es uno de los factores importantes a controlar debido a que de él depende directamente que no se presente reducción en las velocidades y que los operadores puedan maniobrar el equipo de manera confiable y segura ante cualquier deslizada, producto del exceso de velocidad o de agua en la vía. Para minería se deben manejar anchos mayores o iguales a 3.5 veces el ancho del camión mas grande que se encuentre operando en la mina, de esta manera en Cerrejón LLC. en este momento la flota mas numerosa es la de los camiones CAT de la serie 793 de 240 Toneladas, pero la flota mas grande es la de los camiones EULID HITACHI EH5000 de 320 Toneladas cuyo ancho es de 8.53 metros (28 Ft) llevando así a hacer construir vías de 30 metros de ancho.

1.4 BERMAS DE PROTECCIÓN.

Toda vía de acarreo debe estar provista de bermas de seguridad para evitar la caída a un nivel inferior de cualquier vehículo que transite sobre ella. En algunos casos las bermas podrán ser reemplazadas por taludes naturales del terreno. Las bermas tendrán una altura mínima de 1.50 metros.

2 METODOLOGÍA DE SEGUIMIENTO Y CONTROL.

A continuación se presentan uno a uno los pasos de la metodología a seguir para desarrollar un eficiente trabajo en el seguimiento y el mantenimiento de las vías a través de este método. Estos pasos deberán ser desarrollados por el personal encargado de esta labor en el siguiente orden:

2.1 OBTENCIÓN Y ANALISIS DE LA INFORMACIÓN.

Es el primer paso, y de su efectiva realización dependerá la totalidad del trabajo. A continuación se presentan las condiciones y actividades que se deberán tener en cuenta:

2.1.1 Implementos Necesarios.

Para la verificación del estado de la vía con RAC "Road analysis Control", método desarrollado por Caterpillar, el cual se basa en lecturas en tiempo real que realiza un software llamado VIMS y la graficación de los resultados hecha por un software llamado ASA "Application Severity Analysis", requerimos de los elementos mencionados a continuación:

Un computador Portátil con los softwares mencionados anteriormente disponibles.

Figura 17. Computador portátil.



1. Un Cable de interfase para establecer la conexión entre el computador y el Camión.

Figura 18. Cable de interfase.



2. Un inversor de corriente de 110 Voltios.

Figura 19. Inversor de corriente.



3. Camión Caterpillar CAT 240.

Figura 20. Camión Caterpillar de 240 ton.



4. Una tabla con el correspondiente formato de inspecciones y un lápiz o lapicero.
5. Un radio de comunicaciones.
6. Los elementos de protección personal para la persona encargada del monitoreo, como:
 - ☞☞ Casco
 - ☞☞ Gafas
 - ☞☞ Botas
 - ☞☞ Tapones auditivos
 - ☞☞ Mascarilla
 - ☞☞ Guantes

2.1.2 Ubicación del Camión y puesto de listo.

Para el desarrollo de esta actividad, la mina Carbones del Cerrejón LLC, cuenta con una serie de camiones CAT 240 preseleccionados que tienen las suspensiones debidamente calibradas por cada tajo. Se debe seleccionar uno de estos camiones que se encuentre en la zona donde realizarán las inspecciones, de la siguiente manera:

- ☞☞ Por medio de la base, se localiza el camión seleccionado y se espera en el botadero o línea de cambio en caliente mas cercano para abordarlo e iniciar de la observación.
- ☞☞ El encargado de la inspección, deberá informar previamente al Supervisor de acarreo del tajo y a la base, la actividad a realizarse con este camión

✍✍ En el momento de subir al camión se deben tener presentes los tres puntos de apoyo, manos totalmente libre de objetos o elementos que entorpezcan su función.

2.1.3 Recolección de la Información.

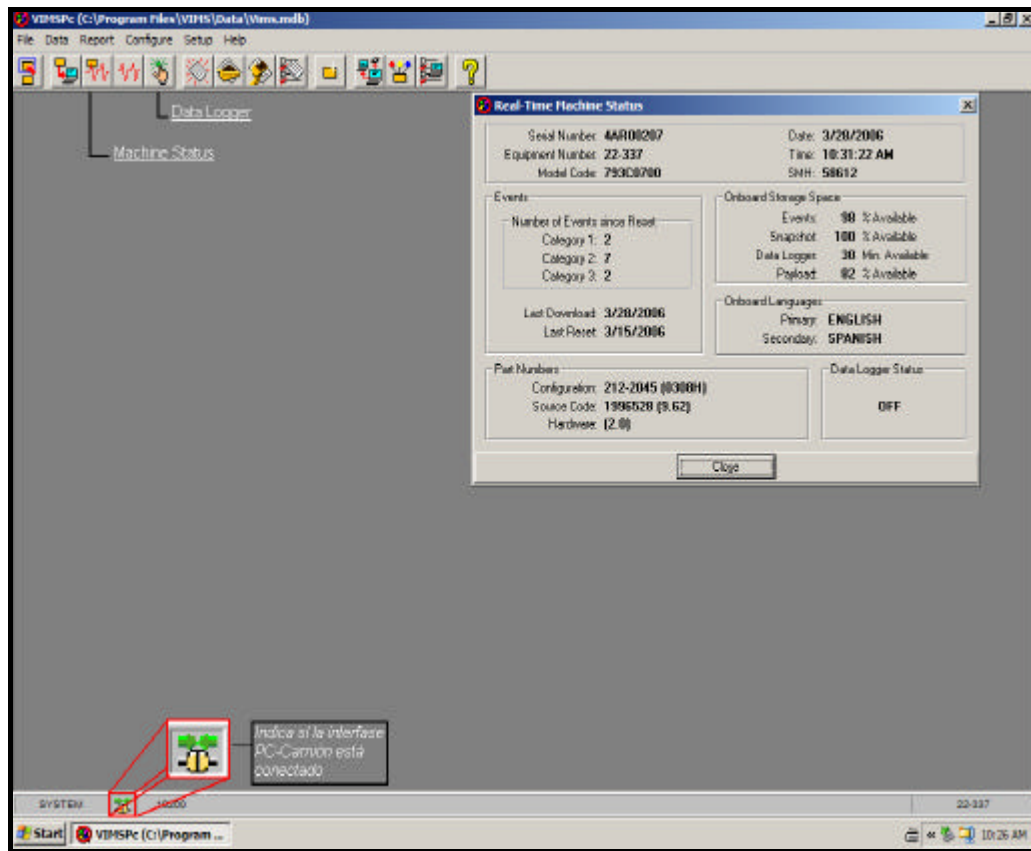
Para la recolección de la información se deben seguir de manera ordenada los siguientes pasos:

1. Conecte la interfase al computador y al Camión.
2. Conecte el inversor de corriente a la fuente de poder del camión (Encendedor de cigarrillos) y luego al computador para que este último siempre tenga energía y no se presente falla en la prueba por falta de ésta, en condiciones normales de operación.

Nota: Los Camiones CAT 240 de la serie 793 C700 o B700, poseen una sola fuente de poder, la cual se encuentra ubicada al lado de la palanca de cambios. Los camiones CAT 240 de la serie 793C poseen dos fuentes de poder, la primera se encuentra ubicada al lado izquierdo del operador del equipo y la segunda está detrás del lado izquierdo de la silla auxiliar (En la que usted como inspector de vías se ubica).

3. Encienda el computador e ingrese al programa VIMS, de manera que se presenta en la pantalla, la imagen que se muestra en la Figura. 21.

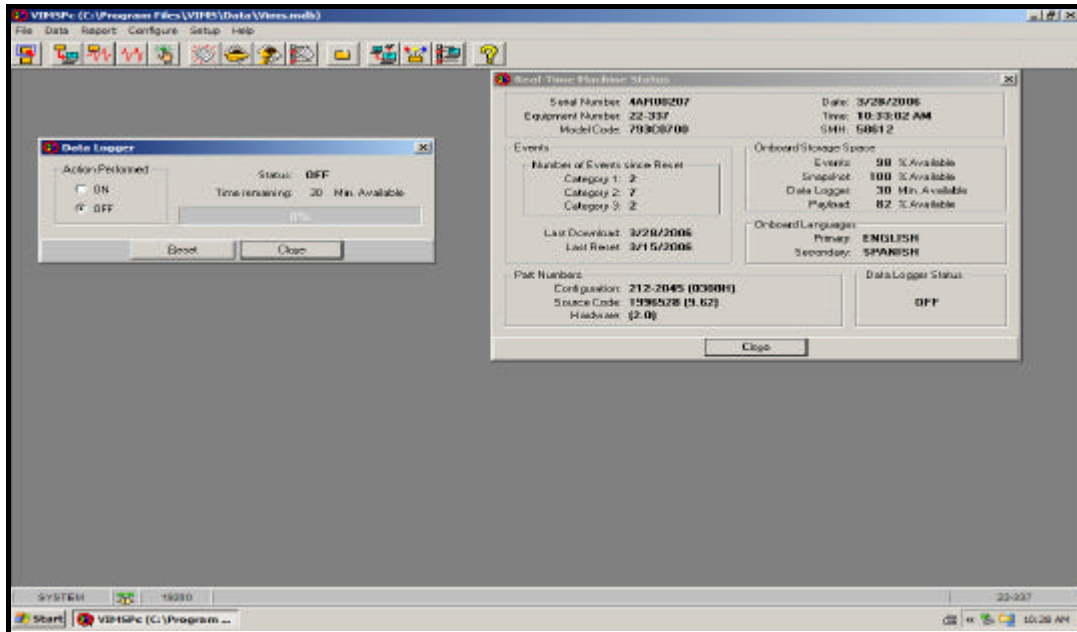
Figura 21. Vista del programa VIMS.



4. Active la opción "Real Time Machine Status" de la barra de herramientas. En esta opción podrá observar la hora, la fecha y el número de identificación del camión, entre otros.
5. Solicite a la base, la asignación del camión a la pala que corresponde a la vía a inspeccionar.
6. Suministre el instructivo al operador para que en el momento que salga de la pala se dirija a través de toda la vía por el carril de cargado sin esquivar los baches y rizados de la vía, ya que de ellos depende el éxito de una buena medición.

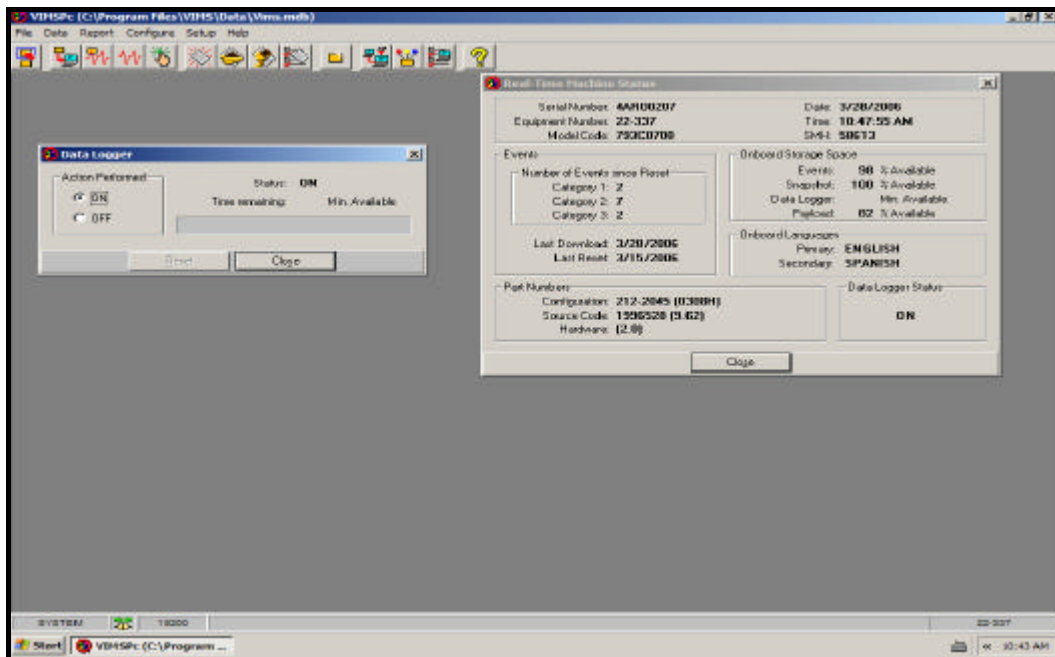
7. Digite la opción "Data logger" de la barra de herramientas del VIMS.

Figura 22. Vista de Real Time Machine Status y Data Logger.



8. Active el VIMS en la función "Data logger", en el momento en que el camión se reporta como cargado.

Figura 23. Activación del Data Logger.



9. Diligencie en el formato de inspecciones la información que se presenta a continuación:

A. Fecha del día en que se realiza la inspección.

B. Número del camión seleccionado y utilizado para la realización de la inspección.

Recuerde que los camiones en los que se pueden hacer las inspecciones son los camiones Caterpillar CAT 240 y que deben contar con las suspensiones previamente calibradas.

C. Nombre del grupo que se encuentra de turno en el momento de la inspección.

Recuerde que en la mina de Carbones del Carrejón LLC. existen cuatro grupos que operan en turnos de doce horas, los cuales son: Caribes, Líderes, Patriotas y Titanes.


- D. Nombre del tajo donde se realiza la inspección.
- E. Marque con una **X** en donde corresponda, si el tiempo en el instante de la inspección es Húmedo o Seco.
- F. Nombre de la pala y número de identificación.
- G. Nombre del Botadero, asignado por la base a la Pala.
- H. Nivel en que se encuentra la pala.
- I. Nivel del botadero al que se dirige.
- J. Todas las anotaciones referentes a las condiciones generales del clima, por ejemplo: Día seco pero en la noche cayo lluvia ó la vía lleva cuatro días de lluvia constante ó primer recorrido en vía después de recuperación por lluvia.
- K. Hora, minutos y segundos que registra la opción "Real Time Machine status", en el momento en que se activa el "Data logger", al mismo instante en que el camión arranca de la pala para el tramo 1 "Área de Pala" y para los otros tramos se registra la hora, minutos y segundos donde inicia el tramo correspondiente.
- L. Nombre del tramo en que se encuentra.

Para darle nombre a estos tramos es necesario identificar puntos que sean fáciles de reconocer, ya que hay que tener en cuenta que la información que procesará mas adelante se tendrá que entregar al supervisor encargado para que sea él quien tome los correctivos necesarios, de este modo, sí el supervisor no puede reconocer fácilmente el sitio o tramo indicado, el problema continuará y la información procesada será desechada. Cuando no se conocen muy bien los sitios comunes es necesario hacer un chequeo del plano de la vía, para identificar las curvas de nivel que pasan por ella y de esta manera dividir la vía por rampas y tramos planos nombrando los diferentes niveles en que se movilice.

- M.** En este espacio escriba las irregularidades que el VIMS no alcance a leer, como la altura de las bermas, agrietamientos en la vía, señalización faltante o sobrante, suciedad de las ventanas y cualquier otro detalle que pueda llegar a afectar la estructura y la seguridad de la vía; a cada irregularidad se le debe agregar el nombre del sitio o un punto de referencia.

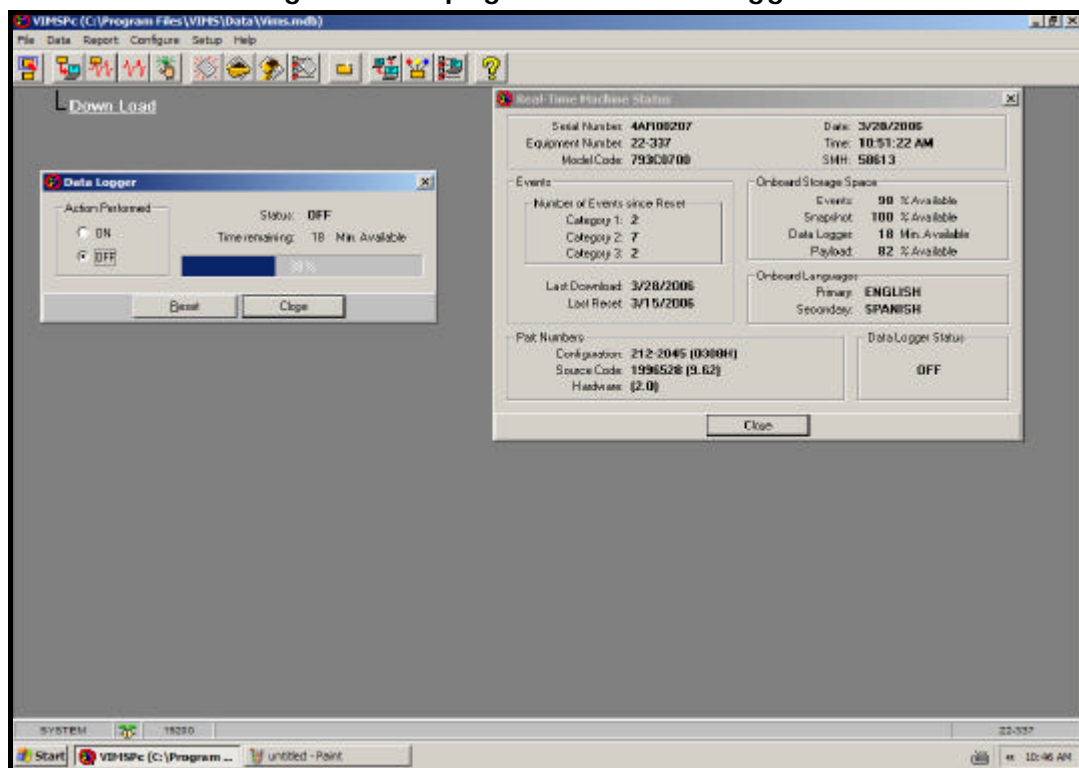
En la Figura 24 se presenta el formato a diligenciar por el observador.

Figura 24. Formato de inspecciones.

		Formato de Inspección de Vías con VIMS y ASA / RAC									
Fecha: <u>A</u>		No de Camión: <u>B</u>				Grupo: <u>C</u>					
Tajo: <u>D</u>		Tiempo: Seco <u>E</u>				Humedo <u></u>					
Pala: <u>F</u>		Bot.: <u>G</u>				Observaciones: <u>J</u>					
Nivel: <u>H</u>		Nivel: <u>I</u>									
Tramo 1											
K		M									
L											
Tramo 2											
Tramo 3											
Tramo 4											
Tramo 5											
Tramo 6											

10. En el momento en que el camión pase el primer jalón que indica el frente de botado, después del triángulo de botado, apague el "Data logger" y cierre su respectiva ventana, junto con la ventana del "Real Time Machine Status" y traspase la información a la memoria del computador en la opción "Download". (Ver Figura 25 y 26 a y b)

Figura 25. Apagado del Data Logger.

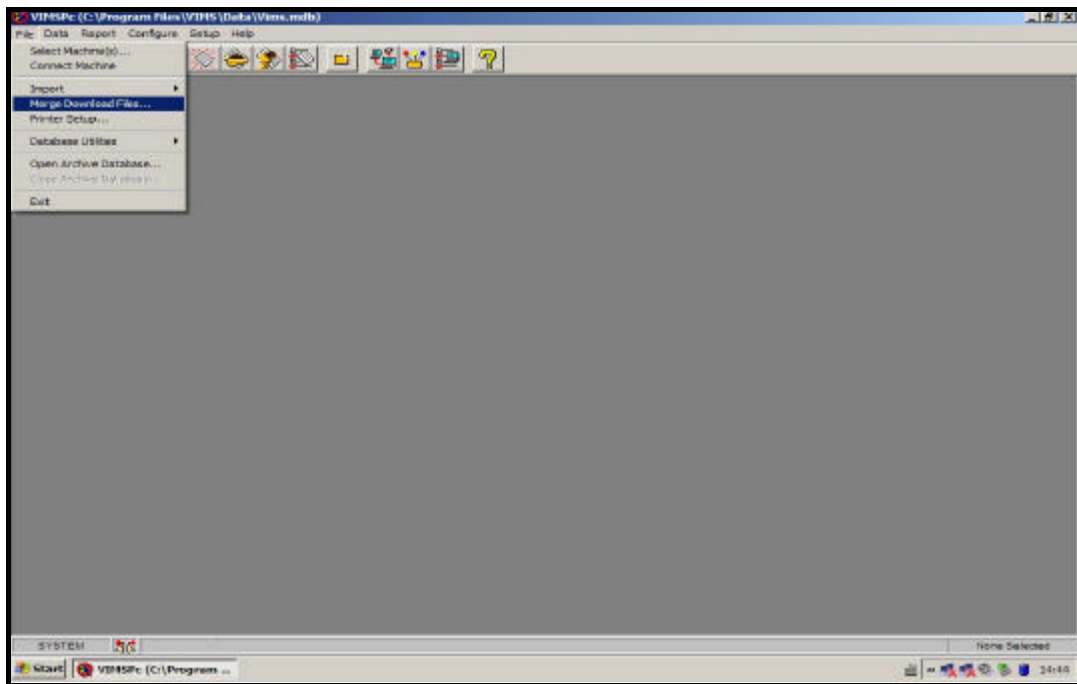


11. Abra nuevamente la opción "Real Time Machine Status" y Data logger"" y resetee el "Data logger", con el fin que no vaya a retomar la información de la inspección anterior.
12. Pida asignación a la base para que el camión vaya a otra pala y el observador toma nota del carril de vacío.
13. Vuelva a repetir el procedimiento para las siguientes inspecciones.

2.2 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.

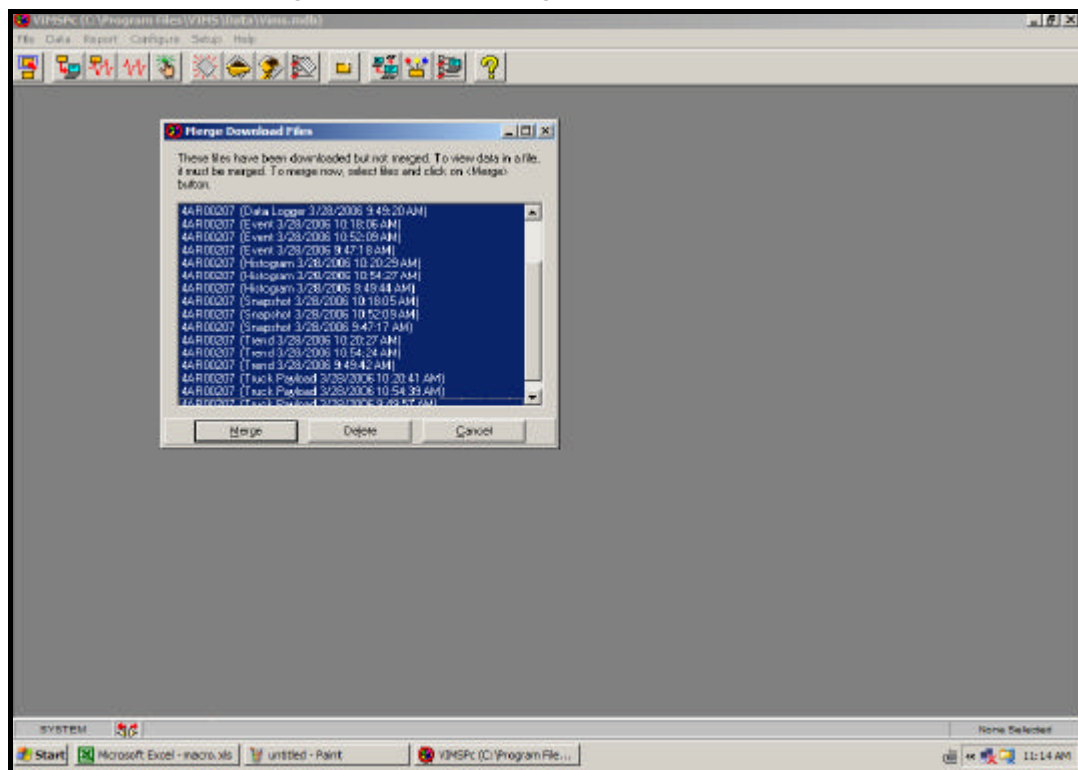
En el momento en que se disponga a bajar la información, abra el programa VIMS y vaya al menú "File", y dentro de éste al submenú llamado "Merge Download File", el cual se encarga de bajar los datos del VIMS y almacenarlos en una base de datos en formato Access.

Figura 27. Merge Download File.



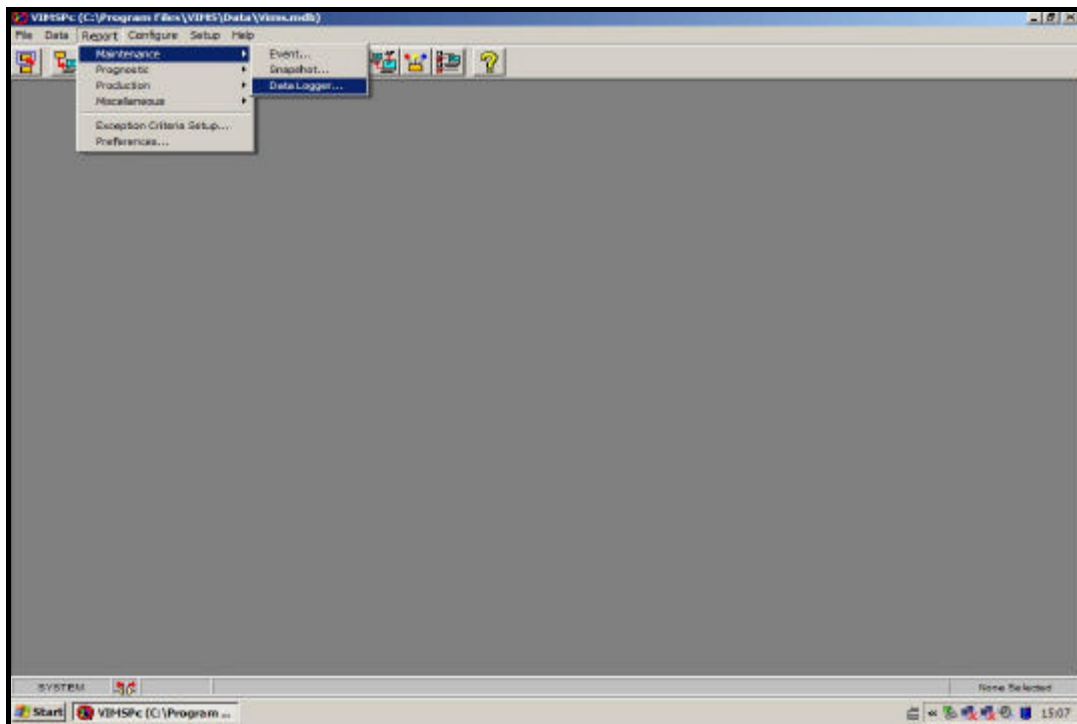
Presionando la opción "Merge", se realizará el traspaso de la información a la base de datos, así: (Ver Figura 28.)

Figura 28. Descarga de información.



Después que la opción "Merge" ha descargado por completo los datos, se debe entrar al menú "Report" en la opción "Maintenance" y allí aparece un submenú en el cual se debe dar clic, llamando "Data Logger". (Ver Figura 29.)

Figura 29. Submenú Data Logger.



Tenga presente que cuando se encuentre listo a la descarga de la información, en View Data Logger, la opción "Type of Report" se debe encontrar en Graphical y Export Data en "Output". Inmediatamente dirijase a "Select Machine", en la opción "Machines In" seleccione "Model", después seleccione el modelo del camión con el cual realizó la inspección, acto seguido presiones en Apply de manera que, inmediatamente saldrán en la caja de "Equipment Number", los números de los equipos correspondiente al modelo seleccionado, seleccione el número del equipo con el cual realizó la inspección y finalmente selecciones OK.

El programa volverá a "View Data Logger", dirijase a "File" y asigne un nombre al archivo que va a crear.

Así mismo en "Graph #1 – Parameter" encontrará una serie de parámetros, seleccione los siguientes manteniendo oprimida la tecla "control":

Actual Gear	Payload
Eng Fuel Rate	Payload Status
Eng Speed	Retarder
Ground Speed	Rt F Susp Cyl
Lt F Susp Cyl	Rt R Susp Cyl
Lt R Susp Cyl	

Una vez seleccionados estos parámetros, salve este grupo en "Parameter Group" con un nombre que lo identifique y después solo tenga que solicitarlo y lo seleccione automáticamente para las futuras inspecciones.

En la casilla de "Data Logger", aparecerán todas las inspecciones realizadas con dicho camión, seleccione la correspondiente y después oprima el botón "Generate".

Para las inspecciones siguientes vuelva a "File" asigne un nuevo nombre, seleccione otra inspección en la casilla "Data Logger" y presione "Generate".

2.3 APLICACIÓN DEL ANÁLISIS SEVERO (ASA).

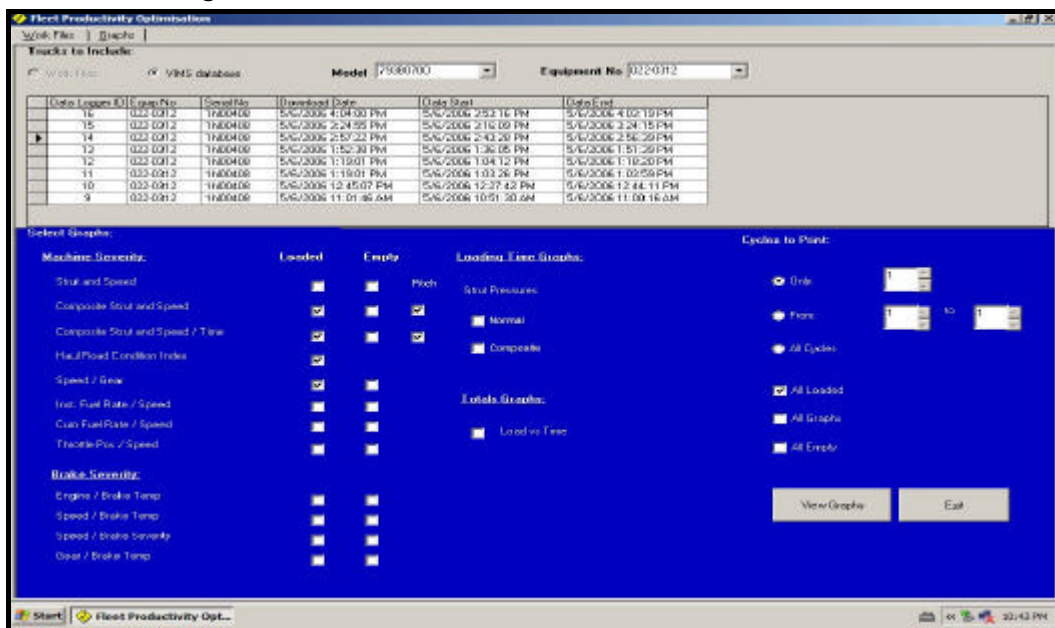
Una vez descargados todos los archivos de las inspecciones, dirijase al software "Fleet Productivity Optimisation" o "ASA". (Ver Figura 30.)

Figura 30. Presentación del software Fleet Productivity Optimisation.



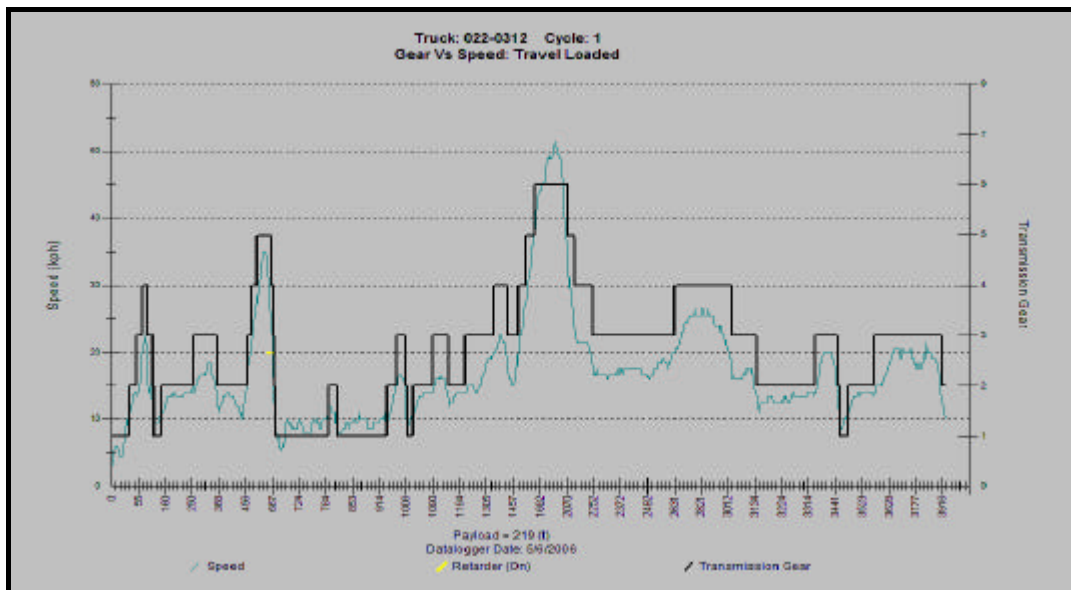
Seleccione el modelo del camión y el número del equipo, y después escoja la inspección a analizar. (Ver Figura 31.)

Figura 31. Selección el modelo e ID del camión.



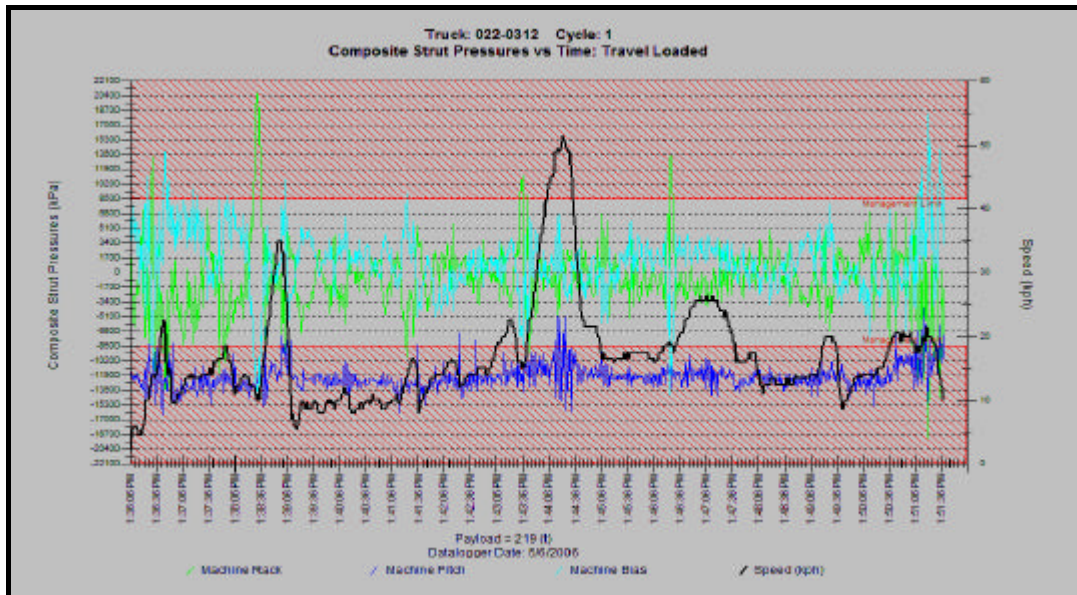
Seguidamente seleccione las gráficas, "Speed / Gear" (Figura 32), "Composite Strut and Speed" (Figura 33.), "Composite Strut and Speed / Time" (Figura 34.), "Haul Road Condition Index" (Figura 35.), y pulse "View Graps".

Figura 32. Gráfica de velocidad y consumo de combustible / distancia



La gráfica anterior muestra el comportamiento de la velocidad y el consumo de combustible durante el recorrido del camión.

Figura 33. Gráfica de velocidad, Rack, Bias, Pitch / tiempo



La gráfica que se presenta en la Figura 33, permite ver: el comportamiento de la estructura del camión ante los esfuerzos torsores o Rack (línea de color Verde), el lado o Bias (línea de color Agua Marina), Cabeceo o respuesta las ondulaciones Pitch (línea de color Azul) y la velocidad (línea de color Negro), todas estas conforme al tiempo.

Una vez generadas estas dos gráficas, cuente los picos de Rack que están pasando los límites por encima y por debajo, clasifíquelos en los rangos de 8500 a 12000kPa, 12000 a 16000kPa y > a 16000kPa y ubíquelos de acuerdo al tramo donde sucedieron. Esta última parte se puede hacer con la ayuda del tiempo de la gráfica y de los tiempos que se anotaron previamente en la inspección.

La siguiente figura (Figura 34.) indica el comportamiento de los mismos parámetros que la anterior, solo que los compara con la distancia recorrida.

Figura 34. Gráfica de velocidad, Rack, Bias, Pitch / distancia.

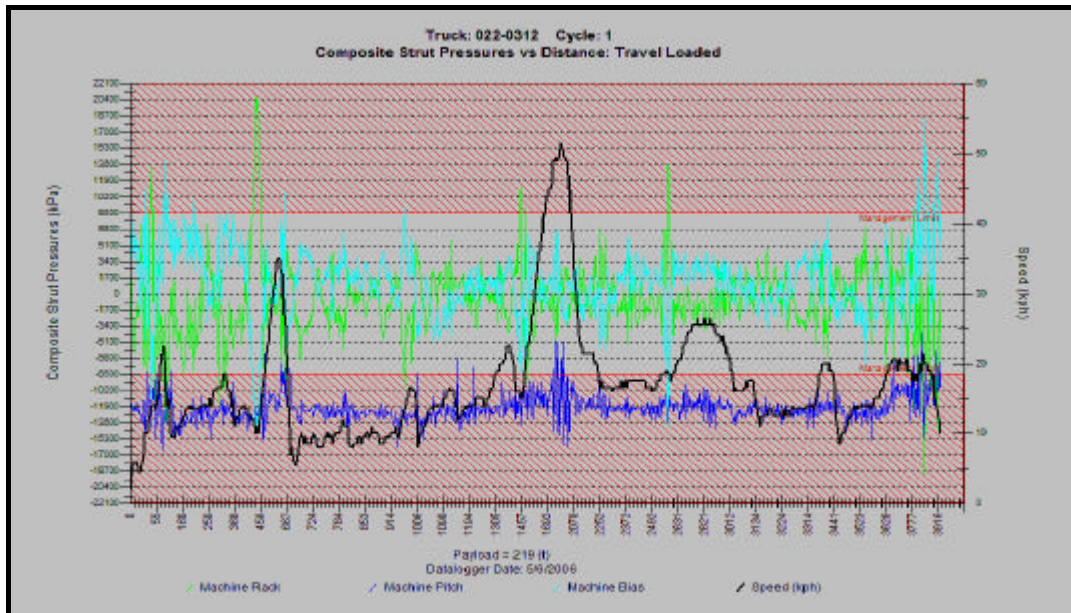
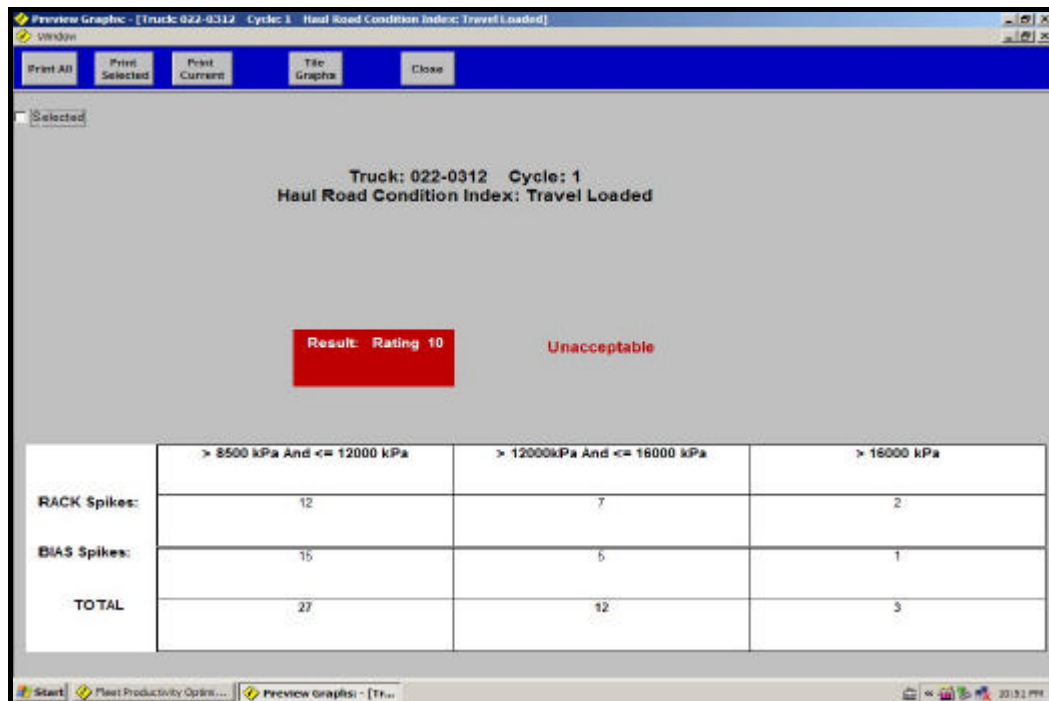


Figura 35. Índice de condición de vía



La Figura 35, permite ver el Índice de Condición de la Vía en que se encuentra la vía inspeccionada, según ASA/RAC Application Guide Assessing Haul Road Condition using Application Severity Analysis (ASA) and Road Analysis Control (RAC).

Tenga en cuenta esta gráfica como un medio de chequeo rápido y general de la vía, compare los resultados, por tramos de vía, con la tabla de la referencia anterior y genere un índice por tramo.

2.4 REALIZACIÓN DEL INFORME.

Una vez haya encontrado cada uno de los índices de los tramos de las vías, hágase llegar al supervisor encargado de vías y botaderos, junto con el número de eventos de Rack, comentarios del estado de bermas, ventanas, cunetas, ubicación de baches, velocidades por tramos, longitudes.

Haga especial énfasis en los tramos mas afectados.