

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

“Mejoramiento de la Productividad en la Compañía Mamut Andino
S.A. en el Área de Explotación de Caliza”

TESIS DE GRADO

Previo a la Obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Freddy Germán Guevara de la Vera

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año - 2005

AGRADECIMIENTO

A todos mis profesores de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, los cuales han contribuido a mi desarrollo profesional, y en especial al Ing. Ignacio Wiesner, por su invaluable apoyo en la realización de esta tesis.

DEDICATORIA

A DIOS

A MIS PADRES

A MIS HIJOS

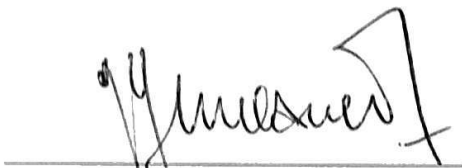
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



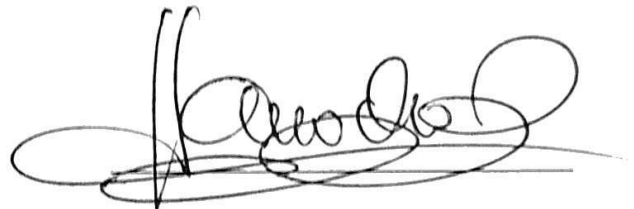
Ing. Mario Patiño A.
DELEGADO POR EL
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Dr. Kleber Barcia V..
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Ignacio Wiesner F.
VOCAL



Ing. Federico Camacho B.
VOCAL



DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta
Tesis de Grado me corresponde
exclusivamente; y el patrimonio intelectual de
la misma a la ESCUELA SUPERIOR
POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Freddy G. Guevara de la Vera



RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo mejorar la productividad de la compañía Mamut Andino S.A., en la explotación minera de cielo abierto, la misma que es contratada por la compañía LA CEMENTO NACIONAL S.A., para que explote y transporte materia prima (caliza) desde sus canteras hasta una trituradora. La caliza, es la materia prima utilizada para la elaboración de cemento Pórtland.

Mamut Andino debe producir entre 1.200.000,00 y 1.500.000,00 toneladas de caliza por año, haciéndolo de la siguiente forma: Primero, trituran el material virgen con voladura usando explosivos, luego cargan y acarrean el material hacia la trituradora, para lo cual utilizan Cargadoras de Ruedas y Camiones de Obra.

A pesar de que siempre cumplían con la producción anual, su productividad era baja dado a sus elevados costos de operación, debido a los siguientes problemas en los equipos de carga y acarreo: Accidentes, daños frecuentes, altos costos de reparación, paralizaciones de las máquinas por largos periodos de tiempo. Por otro lado, cuando los equipos estaban en

condiciones óptimas de operación, era difícil cumplir con la producción diaria debido a los largos tiempos de carga y acarreo de las máquinas.

El objetivo de esta tesis, es mejorar la productividad por medio de la disminución de los costos de operación y la optimización de los tiempos de producción en los equipos de carga y acarreo, objetivo que fue cumplido y se pone a consideración como material para la obtención de mi graduación como Ingeniero Mecánico.

ÍNDICE GENERAL

	PÁG.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	VI
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1
 CAPÍTULO 1	
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Proceso de Explotación de Caliza.....	3
1.2. Material Explotado y Triturado.....	7
1.3. Equipos Existentes y Estadísticas de Fallas	8
1.4. Descripción de los Sitios de Carga y Caminos de Acarreo	14
1.5. Diagnóstico del Personal de Operación de los Equipos.....	17
1.6. Productividad Inicial	27
 CAPÍTULO 2	
2. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MEJORAMIENTO DE LA	
PRODUCTIVIDAD	33
2.1. Evaluación del Material Triturado.....	33
2.2. Implementación de las Reparaciones a los Equipos	34

2.3. Implementación de las Mejoras de los Sitios de Carga y Caminos	
de Acarreo	39
2.4. Programa de Capacitación del Personal.....	44
2.4.1 Instalaciones y Áreas de Prueba para Evaluación,	
Proceso Enseñanza - Aprendizaje.....	45
2.4.2 Evaluación Teórica-Práctica del Personal.....	47
CAPÍTULO 3	
3 EVALUACIÓN DEL PLAN DE MEJORAMIENTO APLICADO	56
3.4 Medición de la Producción y la Productividad.....	56
3.5 Evaluación Económica del Proyecto versus Beneficios	
Conseguidos	60
CAPÍTULO 4	
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	65
APÉNDICES	
BIBLIOGRAFÍA	

ABREVIATURAS

Km	Kilómetros
m	Metros
cm	centímetros
mm	milímetros
m³	Metros cúbicos
m^{3b}	Metros cúbicos en banco
m^{3s}	Metros cúbicos suelto
Kg	Kilogramos
Kg / m³	Kilogramos por metro cúbico
Kg / m^{3b}	Kilogramos por metro cúbico en banco
Kg / m^{3s}	Kilogramos por metro cúbico suelto
Mton	Toneladas métricas
Mtons	Toneladas métricas sueltas
Mtonb	Toneladas métricas en banco
Mton / m³	Toneladas métricas por metro cúbico
Mton / m^{3b}	Toneladas métricas por metro cúbico en banco
Mton / m^{3s}	Toneladas métricas por metro cúbico suelto
Kg / Mton	Kilogramos por tonelada métrica
PBV	Peso bruto del vehículo
Kw	Kilovatios
Km / hr	Kilómetros por hora
hr	horas
min	Minutos
\$	Dólares Americanos

SIMBOLOGÍA

RT	Resistencia total
RR	Resistencia a la rodadura
RP	Resistencia a la pendiente
F_{rl}	Fricción interna
F/N	Flexión del neumático
PN	Penetración del neumático
PR	Peso sobre las ruedas
AP	Ayuda en pendientes

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁG.
Figura 1.1 Fragmentación de la caliza	5
Figura 1.2 Carga y acarreo de la caliza hacia la trituradora.....	5
Figura 1.3 Descarga de la caliza en la trituradora Fábrica de cemento.....	6
Figura 1.4 Almacenamiento y/o transporte de la caliza hacia la fábrica de cemento.....	6
Figura 1.5 Fragmentación de la caliza después de la voladura.....	7
Figura 1.6 Cargadora de ruedas Caterpillar modelo 992D.....	8
Figura 1.7 Camión de obras Caterpillar modelo 775D	9
Figura 1.8 Tractor de cadenas Caterpillar modelo D10.....	10
Figura 1.9 Motoniveladora Caterpillar modelo 140G	10
Figura 1.10 Camión cisterna.....	11
Figura 1.11 Desgaste acelerado en la banda de rodadura de los neumáticos delanteros de las cargadoras.....	12
Figura 1.12 Cortes y pinchazos en los neumáticos de los camiones de obra.....	13
Figura 1.13 Roturas en los extremos de las herramientas de corte de las cargadoras de ruedas.....	13
Figura 1.14 Desgaste acelerado de las planchas inferiores y laterales de los cucharones.....	14
Figura 1.15 Sitios de carga	15
Figura 1.16 Caminos de acarreo	16
Figura 2.1 Taller mecánico para reparación y mantenimiento.....	34
Figura 2.2 Camión lubricador.....	35
Figura 2.3 Acumuladores de nitrógeno	36
Figura 2.4 Contaminación en el taller de reparaciones.....	38
Figura 2.5 Áreas de prácticas y pruebas.....	46

ÍNDICES DE TABLAS

	PÁG.
Tabla 1	Resultado de evaluaciones teóricas iniciales..... 18
Tabla 2	Resultado de evaluaciones teóricas-prácticas iniciales... 18
Tabla 3	Medición de ciclo de trabajo - condiciones iniciales..... 22
Tabla 4	Medición de tiempos de ciclo de trabajo - condiciones iniciales. 23
Tabla 5	Cálculo del ciclo de trabajo promedio de las cargadoras de ruedas - condiciones iniciales..... 28
Tabla 6	Medición y cálculo del factor de llenado del cucharón – condiciones iniciales..... 29
Tabla 7	Cálculos de producción - condiciones iniciales..... 31
Tabla 8	Cálculo de la productividad inicial..... 32
Tabla 9	Cálculo del número de motoniveladoras necesarias para el mantenimiento de las vías..... 43
Tabla 10	Resultado de evaluaciones teóricas finales..... 48
Tabla 11	Resultado de evaluaciones teóricas-prácticas finales..... 49
Tabla 12	Comparación de las calificaciones iniciales versus finales.. 50
Tabla 13	Medición de tiempos de ciclo trabajo - condiciones actuales. 52
Tabla 14	Medición de tiempos de ciclo de trabajo - condiciones actuales..... 53
Tabla 15	Cálculo del ciclo de trabajo promedio de las cargadoras de ruedas - condiciones iniciales..... 54
Tabla 16	Medición y cálculo del factor de llenado del cucharón – condiciones actuales..... 55
Tabla 17	Cálculos de producción - condiciones actuales..... 58
Tabla 18	Cálculo de la productividad actual..... 59
Tabla 19	Comparación de las condiciones iniciales vs. Condiciones después de aplicado el plan..... 60
Tabla 20	Cálculos de producción potencial..... 63
Tabla 21	Cálculo de la productividad potencial..... 64

Tabla 22	Comparación de las condiciones iniciales vs. Condiciones Potenciales.....	65
-----------------	---	----

BIBLIOGRAFÍA

1. Caterpillar Performance Handbook, Edition 24, 1993
2. Caterpillar Earthmoving Fundamentals Manual, 1989
3. Operation & Maintenance Manual 992D, 1995
4. Operation & Maintenance Manual 992C, 1989
5. Operation & Maintenance Manual 992C, 1985
6. Operation & Maintenance Manual 775D, 1995
7. Operation & Maintenance Manual 775B, 1986
8. Operation & Maintenance Manual 773B, 1986
9. Fleet Production & Cost Analysis, Software

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo trata sobre el mejoramiento de la productividad en la explotación de caliza en la compañía Mamut Andino S.A., considerando el proceso de explotación desde que el material ya esta triturado por voladura, hasta cuando es depositado en una trituradora.

La meta fue aumentar la productividad desde 0,709 Mtons/\$ hasta valores que podían llegar a 1,011 Mtons/\$, consiguiéndose un valor aproximado de 0,729 Mtons/\$, es decir se trató de obtener la máxima producción, al costo más bajo posible, mediante la optimización de procedimientos y recursos disponibles por la compañía, sin tener que incurrir en inversiones que representen costos elevados y tiempo.

Para alcanzar este objetivo, se realizaron análisis y evaluaciones de todo el elemento involucrado en la explotación, como son: el material ya triturado por voladura, los equipos de carga y acarreo, equipos de apoyo, sitios de carga, caminos de acarreo, operadores de los equipos, y procesos de mantenimiento y reparación de los equipos.

En el desarrollo del proyecto se pudo comprobar que los factores que afectaban adversamente a la producción y a la productividad, son principalmente las condiciones de los caminos de acarreo, y la operación

deficiente de los equipos por parte de los operadores. Otros factores menos influyentes y que se comprobó que necesitan ser mejorados, fueron los procesos de mantenimiento y reparación de los equipos.

CAPÍTULO 1

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Proceso de explotación de caliza

La compañía Mamut Andino S.A. esta ubicada en el Km. 7 1/2 de la vía a la costa en el sector denominado San Eduardo, está dedicada básicamente al transporte de cargas pesadas y la explotación de minas y canteras dentro y fuera del país, para este trabajo cuenta con máquinas de transporte, máquinas de movimiento de tierra, supervisores de producción, operadores a tiempo completo y talleres para mantenimiento y reparación de los equipos que ellos utilizan.

Uno de sus principales clientes es La Cemento Nacional S.A., la cual la ha contratado para que explote piedra caliza de sus canteras y la transporte hacia una trituradora. La piedra caliza es una de las materias primas utilizadas para la elaboración de cemento Pórtland.

En el proceso de explotación de caliza por Mamut Andino S.A., el primer paso es fragmentar y apilar el material que se encuentra en su estado natural en las canteras (figura 1.1), utilizando voladura, para esto dispone de máquinas perforadoras y explosivos. Un tractor de cadenas se utiliza para apilar el material volado cuando este se segrega y dificulta el proceso de carga, luego se utilizan cargadoras de ruedas y camiones de obras respectivamente para cargar y transportar la caliza hacia la trituradora a través de caminos preparados (figura 1.2 y 1.3). Por último, después de que la caliza pasa por la trituradora es almacenada y/o transportada por bandas hacia la fábrica de cemento (figura 1.4).

Para conseguir óptimos resultados en este proceso, se requiere una muy buena trituración del material “virgen” que se encuentra en las canteras, de tal forma que se facilite el proceso de carga a los camiones de acarreo y que el transporte hacia la trituradora sea rápido y eficiente.

Esta tesis esta orientada en el aumento de la productividad en la explotación de caliza, en base a los procesos de carga y acarreo hacia la trituradora después de la voladura.



FIGURA 1.1 FRAGMENTACIÓN DE LA CALIZA



FIGURA 1.2 CARGA Y ACARREO DE LA CALIZA HACIA LA
TRITURADORA



FIGURA 1.3 DESCARGA DE LA CALIZA EN LA TRITURADORA



FIGURA 1.4 ALMACENAMIENTO Y/O TRANSPORTE DE LA CALIZA HACIA LA FÁBRICA DE CEMENTO.

1.2. Material explotado y triturado

La producción de caliza requerida en la trituradora fluctúa entre 2.000.000,00 y 2.200.00,00 toneladas métricas por año.

La densidad en banco del material virgen es de 2.400 Kg / m³b, luego de ser triturado por medio de voladura alcanza densidad de 1.650 Kg. / m³s, denominado densidad del material suelto. (ver especificaciones en el apéndice A, Fundamentos de movimiento de tierra)

La fragmentación obtenida en la trituración por voladura, consigue un tamaño promedio de la roca entre 30 y 40 mm (ver figura 1.5)



FIGURA 1.5 FRAGMENTACIÓN DE LA CALIZA DESPUÉS DE LA
VOLADURA

1.3. Equipos existentes y estadísticas de fallas

Descripción de los Equipos Existentes

Los equipos utilizados por Mamut Andino S.A. para el proceso de explotación de caliza desde el área de carga hasta la trituradora se dividen tres categorías (ver especificaciones de los equipos en el apéndice B), las cuales son las siguientes:

Equipos de carga.- Son las máquinas utilizadas para cargar los camiones y se las emplea justamente en el sitio donde el material ha sido volado, triturado y apilado (ver figura 1.6). Se dispone de dos cargadoras de ruedas.



FIGURA 1.6 CARGADORA DE RUEDAS CATERPILLAR MODELO
992D

Equipos de acarreo.- Son los equipos que transportan o acarrean el material desde el sitio de carga hasta la trituradora (ver figura 1.7), a

través de caminos previamente preparados. Se dispone de seis camiones de obras.



FIGURA 1.7 CAMIÓN DE OBRAS CATERPILLAR MODELO 775D

Equipos de apoyo.- Son todas las máquinas que hacen posible el buen desempeño de los equipos de carga y acarreo y los caminos de acarreo, aumentan la vida útil de los mismos y ayudan que el proceso de explotación sea rápido y eficiente. Los equipos de apoyo utilizados son:

- **Tractor de cadenas**, el cual apila el material volado cuando este, en el proceso de voladura se segrega y dificulta el proceso de carga (ver figura 1.8), también son utilizados para desgarrar material en banco en lugar de la voladura.



FIGURA 1.8 TRACTOR DE CADENAS CATERPILLAR MODELO D10

- **Motoniveladora**, proveen mantenimiento a los caminos de acarreo, para mejorar el desempeño de los camiones de obras, reduciendo la rugosidad y desalojando las rocas que se derraman (ver figura 1.9).



FIGURA 1.9 MOTONIVELADORA CATERPILLAR MODELO 140G

- **Camión cisterna**, mantiene los caminos de acarreo firmes, aumentando la tracción de los equipos de acarreo y visibilidad de

los operadores. Además ayuda a aumentar los periodos de servicio de los filtros de aire de las máquinas que comúnmente circulan por el sitio (ver figura 1.10).



FIGURA 1.10 CAMIÓN CISTERNA

- **Compactador de suelo de tambor liso vibratorio**, mantiene los caminos de acarreo firmes, disminuyendo los puntos blandos que pudieran existir y así aumentar el desempeño de los camiones de obras.

Los equipos de carga y acarreo están divididos en dos flotas, debido a la existencia de dos frentes de trabajo. La primera flota está compuesta de una cargadora 992D, dos camiones 775B y un camión 775D para el frente de trabajo denominado “A”. La segunda flota está compuesta de una cargadora 992C y tres camiones 773B para el

frente de trabajo denominado “B”. Los equipos de apoyo se utilizan para los dos frentes.

ESTADÍSTICAS DE FALLAS DE LOS EQUIPOS EXISTENTES

- a)** Desgaste acelerado en la banda de rodadura de los neumáticos delanteros de las cargadoras (ver figura 1.11). Se registraron 4 neumáticos cada 3.000 horas de trabajo (cada 18 meses).



FIGURA 1.11 DESGASTE ACCELERADO EN LA BANDA DE RODADURA DE LOS NEUMÁTICOS DELANTEROS DE LAS CARGADORAS

- b)** Cortes y pinchazos en los neumáticos de los camiones de obra (ver figura 1.12), localizados en la banda de rodadura y en los flancos de los mismos. Se registraron 3 averías en la flota cada 160 horas de trabajo (cada mes).



FIGURA 1.12 CORTES Y PINCHAZOS EN LOS NEUMÁTICOS DE LOS CAMIONES DE OBRA

- c) Roturas en los extremos de las herramientas de corte de las cargadoras de ruedas (ver figura 1.13). Se registraron un promedio de dos esquineros rotos cada 2.000 horas (cada 12 meses).



FIGURA 1.13 ROTURAS EN LOS EXTREMOS DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE DE LAS CARGADORAS DE RUEDAS

- d) Desgaste acelerado de las planchas inferiores y laterales del cucharón de las cargadoras de ruedas (ver figura 1.14). Este desgaste se presentaba a las 5.000 horas de trabajo (a los dos años y medio).



FIGURA 1.14 DESGASTE ACELERADO DE LAS PLANCHAS INFERIORES Y LATERALES DE LOS CUCHARONES.

1.4. Descripción de los sitios de carga y caminos de acarreo.

El análisis se lo hizo en dos frentes de trabajo existentes en la fecha, es decir, dos sitios de carga y dos rutas de acarreo. La ubicación de los frentes de trabajo, cambian con el tiempo en ubicación y distancias, debido a que el material explotado se agota, lo que obliga a seleccionar otro sitio dentro de la mina para la explotación.

Sitios de carga.- Es el lugar donde las cargadoras de ruedas cargan a los camiones de obras, se compone del piso donde los camiones maniobran y el área donde las cargadoras realizan el proceso de

llenado del cucharón y carga de los camiones (figura 1.15). Estos sitios se encontraron en las siguientes condiciones:

- El piso donde maniobran los camiones y son cargados está nivelado, con buen drenaje y mínima rugosidad del piso.
- Excelente limpieza del área de carga.
- Buen control de la pendiente.



FIGURA 1.15 SITIOS DE CARGA

Caminos de acarreo.- Son rutas previamente construidas y preparadas por donde transitan los camiones de obra, que van desde el sitio de carga hacia la trituradora y viceversa (figura 1.16). Por la misma ruta que transitan los camiones con carga, retornan vacíos, convirtiéndose en un camino de ida vuelta. Por otro lado como lo habíamos mencionado, los equipos de carga y acarreo se dividen en

dos flotas debido a que hay dos frentes de trabajo, compuestas por una cargadora y tres camiones respectivamente.

Estos caminos se encontraron en las siguientes condiciones:

- Caminos suaves y limpios.
- No hay presencia de huecos.
- Buen drenaje de aguas lluvias.
- Vías entre 3 y 3,5 el ancho del camión.
- Pendientes menores al 10%.
- Excesivo polvo.
- Resistencia a la rodadura del 5%.

El apéndice C, muestra una descripción de los caminos de acarreo y retorno, detallando en cada sección de la ruta, distancias, porcentaje de resistencia a la rodadura y pendiente.



FIGURA 1.16 CAMINOS DE ACARREO

totales de las evaluaciones teóricas y prácticas, calificadas sobre 100 puntos.

TABLA 1
RESULTADO DE EVALUACIONES TEÓRICAS INICIALES

	Evaluaciones					Promedio
	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	
Operador 1	2,5	3,2	2,0	2,0	3,0	2,5
Operador 2	1,7	2,8	1,0	1,0	3,0	1,9
Operador 3	1,7	0,8	3,0	1,0	4,0	2,1
Operador 4	3,3	4,0	3,0	2,0	3,0	3,1
PROMEDIO	2,3	2,7	2,3	1,5	3,3	2,4

TABLA 2
RESULTADO DE EVALUACIONES TEÓRICAS-
PRÁCTICAS INICIALES

	Evaluaciones prácticas			Promedio evaluaciones teóricas	PUNTAJE TOTAL
	# 1	# 2	# 3		
Operador # 1	8,0	9,0	44,0	2,5	63,5
Operador # 2	8,0	9,0	35,0	1,9	53,9
Operador # 3	8,0	8,0	37,0	2,1	55,1
Operador # 4	9,0	9,0	50,0	3,1	71,1
Promedio	8,3	8,8	41,5	2,4	60,9

Análisis de las evaluaciones prácticas

Gran parte de las evaluaciones prácticas consistió en observar el trabajo normal diario, sin que el operador sepa que está siendo evaluado (refiérase a los exámenes prácticos mostrados en los apéndices D1, D2 y D3). Las evaluaciones prácticas consistieron en los siguientes temas:

- Seguridad antes y durante la operación
- Inspecciones diarias de mantenimiento
- Uso apropiado de los controles de las máquinas
- Procedimientos de arranque y parada
- Observación de las técnicas de operación
- Medición de los tiempos de ciclo de trabajo

Seguridad antes y durante la operación.- Los operadores no practicaban normas de seguridad estipuladas en la guía de operación y mantenimiento de los equipos, ni las descritas en las etiquetas de advertencia sobre seguridad adheridas en diferentes partes de las máquinas. Esto conducía a varios incidentes que podían provocar eventuales paralizaciones.

Inspecciones diarias de mantenimiento.- Las inspecciones que realizaban diariamente los operadores no eran completas, no

estaban conscientes de cómo y cuando hacerlas. Además no tenían un formato de inspección diaria, la cual sirve como guía para que a los operadores no olviden ningún punto de inspección, además que también se mantiene un registro del estado diario de los equipos. Esto provocaba los siguientes problemas:

- La seguridad en la operación era afectada, una falla repentina podía ocasionar un accidente.
- Los costos de reparaciones eran más alto de lo común, al no realizar una buena inspección diaria, las fallas pequeñas existentes y no reportadas ni reparadas, se hacían de mayor magnitud.
- Aumento en los tiempos de paralización, al no percatarse de las fallas, los equipos se paraban repentinamente y en lugares incómodos para su reparación.

Todo lo anterior llevaba a una disminución de la productividad, ya que se afectaba la producción y los costos de operación se elevaban.

Uso apropiado de los controles.- Todos eran operadores con experiencia, por lo tanto conocían el uso de los controles de los equipos.

1.5. Diagnóstico del personal de operación de los equipos.

El diagnóstico fue teórico – práctico, se lo realizó a cuatro operadores de cargadoras de ruedas. La evaluación práctica, fue realizada en el sitio de trabajo (canteras) donde operaban las máquinas. La evaluación en grupo fue en un salón de clases y sobre la máquina.

Las evaluaciones fueron calificadas sobre 100 puntos, de los cuales se consideró los siguientes porcentajes de acuerdo a la importancia del tema:

- 60 puntos corresponden a pruebas prácticas de operación sobre la máquina.
- 15 puntos corresponden a inspecciones antes de la operación y procedimientos de arranque y parada seguros.
- 15 puntos corresponde a procedimientos de seguridad antes y durante la operación.
- 10 puntos corresponden a evaluaciones teóricas.

Para que un operador pase la prueba, debe obtener por lo menos 80 de los 100 puntos, con la condición de que en los temas de seguridad obtenga el 100% de la calificación. Los apéndices D1 a D8, muestran las exámenes teóricos y prácticos tomados.

La tabla 1 muestra los detalles de los resultados de las evaluaciones teóricas, calificadas sobre 10 puntos. La tabla 2 muestra los promedios

Procedimientos de arranque y parada.- Si practicaban procedimiento de arranque y paradas correctos, pero a pesar de ello solo dos operadores sabían los motivos de porque se los hacía de ese modo.

Observación de las técnicas de operación.- Ha pesar de la habilidad y destreza de los operadores en la operación de equipos, adquiridas gracias a la práctica constante y el tiempo de trabajo, solo un operador practicaba técnicas apropiadas con las cuales se obtiene la más alta producción de las máquinas, los otros tres no la practicaban o lo hacían parcialmente. Esto provocaba aumento en el tiempo del ciclo de trabajo de las cargadoras de ruedas, afectándose de esta forma la producción, además también provocaban deterioro y desgaste acelerado de ciertos componentes del equipo (mencionados en la sección 1.3), aumentando de esta forma los costos de producción.

Medición de los tiempos de ciclo de trabajo.- Con la ayuda de un cronómetro se midieron los tiempos en que los operadores de cargadoras y camiones tardaban en realizar los ciclos de trabajo. Las tablas 3 y 4, muestran estas mediciones.

TABLA 3
MEDICIÓN DE CICLO DE TRABAJO-CONDICIONES INICIALES

FRENTE "A"

Equipo de carga : Cargadora de ruedas 992D

Equipo de acarreo : 2 camiones 775B + 1 camión 775D

	Entra área de carga	Inicia carga	Pasadas			Finaliza carga	Tiempo carga	Tiempo de intercambio	Ciclo del camión
			1	2	3				
775B1		0,00	0,75	0,68	0,76	2,33	2,33		
775B2	2,78	4,15	0,71	0,69	0,76	6,45	2,30	1,37	
775D	6,85	8,34	0,73	0,74	0,75	10,63	2,29	1,49	
775B1	11,38	12,90	0,60	0,66	0,62	14,77	2,00	1,52	12,90
775B2	14,85	16,53	0,77	0,65	0,72	18,77	2,24	1,68	12,38
775D	20,08	21,11	0,70	0,78	0,77	23,52	2,41	1,03	12,77
775B1	23,93	25,32	0,62	0,63	0,65	27,32	2,00	1,39	12,42
775B2	28,15	29,54	0,70	0,73	0,74	31,84	2,30	1,39	13,01
775D	31,58	33,76	0,62	0,62	0,60	35,70	1,94	2,18	12,65
775B1	36,28	36,98	0,62	0,60	0,75	39,06	2,08	0,70	11,66
775B2	41,51	42,52	0,60	0,59	0,60	44,40	1,88	1,01	12,98
775D	44,46	46,42	0,75	0,68	0,74	48,68	2,26	1,96	12,66
775B1	49,50	50,25	0,79	0,80	0,78	52,76	2,51	0,75	13,27
775B2	53,97	54,86	0,75	0,75	0,77	57,26	2,40	0,89	12,34
775D	57,89	59,28	0,79	0,78	0,78	61,78	2,50	1,39	12,86
PROMEDIO			0,70	0,69	0,72		2,23	1,34	12,66

Promedio tiempo de ciclo 0,70 min.
Promedio tiempo de carga 2,23 min.
Promedio tiempo de intercambio 1,34 min.
Promedio tiempo ciclo camión 12,66 min.

FRENTE "B"

Equipo de acarreo : 3 camiones 773B

Promedio tiempo de ciclo	0,69 min.
--------------------------	-----------

Promedio tiempo de intercambio 1,44 min.

Promedio tiempo ciclo camión 12,43 min.

Estas mediciones se las hace con el fin de verificar si los tiempos del ciclo de las máquinas están de acuerdo con los estándares que recomienda el fabricante de los equipos y también para calcular la producción de la flota. El fabricante recomienda que los tiempos de ciclo de trabajo para estas cargadoras deben estar entre 0,60 y 0,70 min (para más información sobre ciclos de trabajo, refiérase al apéndice A3).

El resultado obtenido fue un tiempo de ciclo promedio de 0,70 min, llegando en muchas ocasiones a tener tiempos de ciclo entre 0,70 a 0,80 min.

Análisis de las evaluaciones en grupo de los operadores

Consistió en exámenes escritos con respuestas alternativas (refiérase a los exámenes de los apéndices D4, D5, D6, D7 y D8). Las evaluaciones consistieron en los siguientes temas:

- Uso de las guías de operación y mantenimiento de los equipos
- Conocimiento de los sistemas y componentes principales de los equipos y sus puntos de mantenimiento.
- Sistemas de monitoreo y medición
- Entendimiento de las técnicas correctas de operación, para aumentar la eficiencia de las máquinas

Uso de las guías de Operación y mantenimiento de los equipos.- Tres de ellos no conocían este libro, el cuarto operador si lo conocía pero no sabía la importancia de este, ni la información contenida en él. Este libro es para uso exclusivo de los operadores. Los fabricantes de estos equipos exigen que un operador no opere el equipo, mientras no haya leído y comprendido esta guía.

Conocimiento de los sistemas y componentes principales de los equipos y sus puntos de mantenimiento.- La localización y función de los sistemas y componentes de las máquinas y puntos de mantenimiento de estas eran conocidos parcialmente, por lo cual no podían comunicar eficientemente donde era la falla cuando esta se presentaba, esto alargaba el tiempo de paralización ya que el personal de mantenimiento gastaba más tiempo en localizar la falla.

Sistemas de monitoreo y medición.- Estos componentes están monitoreando el estado de los diferentes sistemas de las máquinas, y alertan al operador por cualquier anomalía a través del accionamiento combinado de indicadores de fallas. Estos indicadores involucran símbolos con luces indicadoras de fallas (1), luz de advertencia (2) y una alarma sonora (3).

En esta parte se exige que el operador conozca el 100% del significado de los símbolos contenidos en las luces indicadoras de fallas (1), y también que acciones debe tomar cuando estos tres sistemas de advertencia se accionan en combinación. Hacer caso omiso a estas advertencias puede resultar en daños graves del equipo y/o fatalidades al operador

Ninguno de los operadores sabían interpretar la combinación de los tres avisos y apenas conocían el 22,5% del significado de los símbolos en las luces indicadoras de fallas (1).

Entendimiento de las técnicas correctas de operación, para aumentar la eficiencia de las máquinas.- En esta prueba se pudo comprobar que el entendimiento promedio de las técnicas de operación era de un 32,5% solamente. Esta prueba corrobora el motivo de porque los tiempos de ciclo de las cargadoras eran mayor a lo estipulado por el fabricante y los daños anormales que ocasionalmente se presentaban en los equipos.

Con todo el análisis anterior, se pudo comprobar que la falta de preparación de los operadores, era en parte causante directa de la

baja productividad, por lo cual era evidente la necesidad inmediata de capacitarlos.

1.6. Productividad inicial

La productividad se la mide como el costo de producir cierta cantidad de material (Mtons / \$). Para estimarla, debemos tener datos de la producción total en un período de tiempo y el costo total de producción en ese periodo. Mientras más largo sea el período de tiempo que se escoja para calcular la productividad, más exacto es el resultado, pero si no existen registros de datos, esta estimación puede tomar mucho tiempo y puede ser engorrosa.

Lo que comúnmente se hace, es proyectar la producción y los costos a través del tiempo, este método es muy eficaz y rápido, permite tener una muestra de la productividad en un determinado momento. La mejor ventaja de este método, es que se puede realizar con mucha facilidad un análisis de todo el proceso de carga y acarreo, y descubrir en que parte del proceso se está cometiendo errores y como corregirlos o mejorarlos. A continuación se muestra el procedimiento utilizado para calcular la producción y la productividad inicial utilizando este método.

1. Medición de los tiempos de ciclo de trabajo y factor de llenado

La medición del tiempo promedio en los dos frentes, para cargar el camión fue de 3,59 min en 4 pasadas del cucharón, este cálculo se muestra en la tabla 5.

TABLA 5 CÁLCULO DEL CICLO DE TRABAJO PROMEDIO DE LAS CARGADORAS DE RUEDAS - CONDICIONES INICIALES			
	FRENTE A	FRENTE B	PROMEDIO
Promedio tiempo de ciclo de cargadora (min)	0,70	0,69	0,70
Tiempo para llenar el camión			
Promedio tiempo de carga (min)	2,23	2,18	2,20
Promedio tiempo de intercambio (min)	1,34	1,44	1,39
Tiempo total para llenar el camión (min)	3,57	3,62	3,59

Los tiempos de ciclo de trabajo iniciales de los camiones, y que fueron mostrados en las tablas 3 y 4 de la sección 1.5, fueron de 12,66 min y 12,43 min en el frente A y B respectivamente.

Se pesó la carga de los camiones, y se comprobó que en las cuatro pasadas de las cargadoras para llenar el camión, el factor de llenado inicial fue de 85%, la tabla 6 muestra el procedimiento realizado, en la que con el peso de la carga de los camiones, se calculó el factor de llenado del cucharón.

TABLA 6

Densidad del material (Kg / m ³ s)	1.650
Modelo de cargadora	992D
Capacidad del cucharón (m ³)	10,7

	Peso camión cargado (Kg)	Peso camión vacío (Kg)	Peso de la carga (Kg)	Número de pasadas	Carga por pasada (Kg)	Volumen por pasada (m³)	Factor de llenado (%)
Camión 775B1	95.180	42.730	52.450	3,5	14.986	9,08	84,88%
Camión 775B2	95.640	42.810	52.830	3,5	15.094	9,15	85,50%
Camión 775D	96.880	44.370	52.510	3,5	15.003	9,09	84,98%

Modelo de cargadora	992D
Capacidad del cucharón (m ³)	9,94

	Peso camión cargado (Kg)	Peso camión vacío (Kg)	Peso de la carga (Kg)	Número de pasadas	Carga por pasada (Kg)	Volumen por pasada (m³)	Factor de llenado (%)
Camión 773B1	89.360	40.340	49.020	3,5	14.006	8,49	85,40%
Camión 773B2	89.170	40.460	48.710	3,5	13.917	8,43	84,86%
Camión 773B3	88.990	40.410	48.580	3,5	13.880	8,41	84,63%

Factor de llenado promedio **85,04%**

2. Cálculo de los costos por hora de posesión y operación

(Ver apéndices E1 y E2).

Según datos proporcionados y detallados en los apéndices E1 y E2, la suma total de los costos de posesión y operación de los equipos era de 1.680,48 \$ /hr (ver apéndice A5, sobre cálculos de costos de posesión y operación de equipos).

3. Cálculo de la producción por hora, producción anual y productividad

El apéndice A4, muestra detalladamente el método utilizado para calcular la producción y cuales son los factores que la afectan.

La tabla 7 muestra el cálculo de la producción en los dos frentes. Con los tiempos de ciclo y el factor de llenado calculamos una producción de **1.158,54 Mtons /hr.**

Los costos totales de producción anual mostrados en la tabla 8, fueron de **\$ 3.102.988,44.** Dividiendo la producción anual, que es de **2.200.000,00 Mtons,** entre el costo de producción anual tenemos una productividad de **0,709 Mtons/\$.**

TABLA 7
CÁLCULOS DE PRODUCCIÓN - CONDICIONES INICIALES

		FRENTE A	FRENTE B	
DATOS				
a.	Disponibilidad de la flota	89,93%	88,27%	
b.	Eficiencia del trabajo	90,32%	88,50%	
c.	Capacidad colmada del cucharón (m ³ s)	10,70	9,94	
d.	Factor de llenado del cucharón (%)	85,00	85,00	
e.	Densidad del material suelto (Mton / m ³ s)	1,65	1,65	
f.	Número de pasadas para cargar el camión	3,5	3,5	
g.	Tiempo de carga de camiones (min)	3,59	3,59	
h.	Tiempo de ciclo del camión (min)	12,66	12,43	
i.	Número de camiones de la flota	3	3	
CÁLCULOS				
<u>CARGADORA DE RUEDAS</u>		-	-	-
j.	Carga útil del cucharón (Mtons)	15,01	13,94	(c x d x e)
k.	Carga del camión por ciclo (Mtons)	52,52	48,79	(f x j)
l.	Número de camiones cargados por hora	16,71	16,71	(60 / g)
m.	Producción de la cargadora al 100% eficiencia (Mtons/hr)	877,83	815,48	(k x l)
n.	Producción real de la cargadora (Mtons/hr)	713,02	637,05	(m x a x b)
<u>FLOTA DE CAMIONES</u>		-	-	-
o.	Ciclos por hora de un camión	4,74	4,83	(60 / h)
p.	Producción de un camión por hora (Mtons/hr)	248,93	235,53	(k x o)
q.	Producción de tres camiones por hora (Mtons/hr)	746,78	706,58	(p x i)
r.	Producción real de tres camiones (Mtons/hr)	606,57	551,97	(q x a x b)

TABLA 8
CÁLCULO DEL COSTO DE PRODUCCIÓN ANUAL - CONDICIÓN INICIAL

	FRENTE A	FRENTE B	Máquinas de apoyo				TOTAL
			Tractor	Motonivel	Camión cisterna	Rodillo	
Producción por hora (Mtons/hr)	606,57	551,97	0,00	0,00	0,00	0,00	1.158,54
Producción requerida por año (Mtons)	1.200.000	1.000.000	0,00	0,00	0,00	0,00	2.200.000,00
Tiempo de trabajo necesarias de la flota (hrs)	1.978	1.812	2.000	1.000	1.500	1.100	-----
Costo total por hora de la flota (\$ / hr)	658,80	630,66	240,92	62,50	41,00	46,60	1.680,48
Costo de producción total por año (\$)	1.303.325	1.142.563	481.840	62.500	61.500	51.260	3.102.988,44
Productividad (Mtons / \$)	0,921	0,875					0,709

CAPÍTULO 2

2. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD

2.1 Evaluación del material triturado

El material es roca bien triturada, tiene un potencial de conseguir factores de llenado del cucharón de las máquinas de carga entre 80 y 95% (refiérase a la tabla sobre FACTORES DE LLENADO DEL CUCHARÓN del apéndice A1), esto significa que es un material fácil de cargar, por las cargadoras de ruedas del tamaño que utiliza la compañía.

La carga útil que deberían cargar las cargadoras con este tipo de material sería la siguiente:

Cargadora 992D, con capacidad del cucharón de $10,7 \text{ m}^3$:

$$\text{Mínima carga} = 10,7 \text{ m}^3 \times 0,8 = 8,56 \text{ m}^3$$

$$\text{Máxima carga} = 10,7 \text{ m}^3 \times 0,95 = 9,17 \text{ m}^3$$

Cargadora 992C, con capacidad del cucharón de $9,94 \text{ m}^3$:

$$\text{Mínima carga} = 9,94 \text{ m}^3 \times 0,8 = 7,95 \text{ m}^3$$

$$\text{Máxima carga} = 9,94 \text{ m}^3 \times 0,95 = 8,97 \text{ m}^3$$

Cabe indicar que el factor de llenado conseguido en la operación depende también de la combinación de la tracción del suelo, la fuerza de desprendimiento y levantamiento de la máquina, pero la mayor incidencia es la pericia del operador para cargar.

2.2 Implementación de las reparaciones a los equipos

La compañía Mamut Andino esta equipada con talleres para reparación y mantenimiento de sus equipos (ver figura 2.1), además cuentan con un camión lubricador para el mantenimiento en el sitio de trabajo, cuando sea necesario (ver figura 2.2).



**FIGURA 2.1 TALLER MECÁNICO PARA REPARACIÓN Y
MANTENIMIENTO**



FIGURA 2.2 CAMIÓN LUBRICADOR

La mayoría de los daños en las máquinas, eran debidamente reparados por los mecánicos de la compañía como son: cambio y reparación de neumáticos, cambio de herramientas de cortes, fugas por los cilindros hidráulicos, etc. También las reparaciones de los componentes del tren de fuerza como son: motor, convertidor de par, transmisión, diferenciales y mandos finales, eran realizadas por ellos. Pero a pesar de ello, algunas reparaciones o cambios, no las hacían a tiempo por considerarlas innecesarias ó por desconocimiento de las consecuencias.

Se realizaron trabajos de reparaciones y se dieron algunas recomendaciones.

Trabajos de reparación implementados

1. Creación e Implantación de una hoja de inspección diaria para las cargadoras de ruedas (ver hoja de inspección diaria en el

apéndice F), de esta forma los operadores pueden informar con anticipación un daño menor que podría convertirse en otro de mayor magnitud.

2. Reparación inmediata de los acumuladores de nitrógeno con que trabajan los frenos de servicio de una de las cargadoras de ruedas (figura 2.3), esto provocaba que en el proceso de carga de camiones, los operadores retrocedan más distancia de la debida para dar oportunidad a que los acumuladores se carguen y así poder frenar cuando se acercaban al camión. Esta operación era recomendada por el personal de mantenimiento por desconocimiento, esta práctica afectaba adversamente a la producción ya que aumentaba el tiempo del ciclo de trabajo de la cargadora.

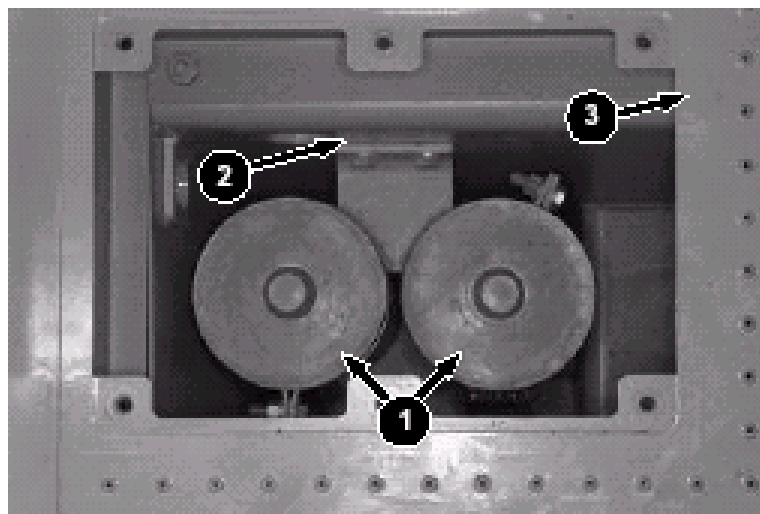


FIGURA 2.3 ACUMULADORES DE NITRÓGENO

3. Cambio de las herramientas de corte excesivamente desgastadas.

Estas provocaban el siguiente problema:

- Disminución de la fuerza de penetración del cucharón, afectando el factor de llenado del cucharón y aumento en el tiempo del ciclo de trabajo.
- Aumento en el consumo de combustible ya que la máquina tenía que forzarse más para penetrar el cucharón en la pila y cargarlo.
- Disminución de la vida útil del tren de fuerza, debido al esfuerzo adicional que estos componentes hacían al penetrar el cucharón en la pila.

4. Soldar planchas de desgaste inferior al cucharón de las cargadoras, esto se lo hace para proteger al cucharón, ya que es más económico colocar planchas de desgaste que cambiarlo.

Recomendaciones dadas

- 1.** Evaluaciones periódicas (tres anuales) de los equipos, para controlar el desgaste de los componentes del tren de fuerza.
- 2.** Implementación de un programa de control de contaminación en el taller de reparaciones, ya que existe una enorme presencia de

polvo en el área debido a la cercanía a la trituradora (ver figuras 2.4).



FIGURA 2.4 CONTAMINACIÓN EN EL TALLER DE REPARACIONES

La contaminación por suciedad en el área de reparación incrementa el riesgo de daños prematuros de los componentes reparados, aumentando los costos de operación de los equipos. Las tolerancias internas en el armado de los componentes son tan pequeñas, que contaminantes entre 2 y 40 micrones, los desgastan rápidamente (el ojo humano no puede ver partículas menores a 40 micrones).

Este control recomendado requiere, además de la limpieza de las instalaciones, la utilización de:

- Tapones, cubiertas, etc., en todos los orificios abiertos.
- Paños en el piso para limpieza de derrames de fluidos.
- Componentes cubiertos con envoltura plástica o de ajuste por contracción.
- Recipientes de basura para papel, madera y metal.
- Bancos de trabajo cubiertos con superficies protectoras.
- Recipientes de lubricantes o grasa, limpios y cerrados.

2.3 Implementación de las mejoras de los sitios de carga y acarreo

Mejoras de los sitios de carga

Este lugar debe brindar al operador de la cargadora un sitio suave y nivelado para la operación, de tal forma que el proceso de carga se lo haga en el menor tiempo posible, además es necesario un drenaje de aguas lluvias eficiente para evitar la presencia de rocas húmedas, ya que estas cortan los neumáticos con más facilidad que las rocas secas.

Otro punto importante es la limpieza, un área de carga con rocas que se caen en el proceso de llenado del camión, hace más difícil el

proceso y alarga los tiempos del ciclo de trabajo, también producen cortes prematuros a los neumáticos.

Los sitios de carga, tal como se lo analizó en la sección 1.4 no tienen ninguna recomendación, ya que los operadores lo mantienen en buen estado.

Mejoras de los caminos de acarreo

Los caminos de acarreo son de vital importancia en este proceso, ya que es el sitio por donde transitan los camiones con la carga.

Un camino de acarreo en mal estado, causa demoras en el ciclo de trabajo de los camiones y por lo tanto una disminución de la producción. La descripción de estos caminos en la sección 1.4 nos lleva al siguiente análisis y recomendaciones:

Condiciones que se encontraron favorables y que no requieren ningún cambio:

- Caminos suaves y limpios, lo cual evita el deterioro de los neumáticos por piedras que estos podrían aplastar.
- No hay presencia de huecos, los cuales podrían afectar las velocidades de operación de los camiones.

- Buen drenaje de aguas lluvias, lo cual disminuye la presencia de rocas húmedas evitando así el corte de los neumáticos.
- Vías entre 3 y 3,5 el ancho del camión, lo cual provee suficiente espacio para el tráfico evitando el congestionamiento.
- Pendientes menores al 10%, permitiendo obtener velocidades de operación seguras y elevadas.

Condiciones que se encontraron desfavorables y que requieren mejoras:

- Resistencia a la rodadura del 5%, lo cual resta tracción y velocidad los camiones, especialmente en pendientes adversas.

La mejora implantada, fue el mejoramiento de las vías de acarreo, para así mejorar el desempeño de los camiones especialmente en pendientes.

En el análisis de este mejoramiento, se utilizó un simulador proporcionado por el fabricante (programa de computadora) para comparar el desempeño de los camiones en condiciones de resistencias a la rodadura del 5% que es la condición inicial y el 3% condición ideal.

El simulador muestra que con una resistencia a la rodadura del 5%, el tiempo total del ciclo de los camiones es 11,96 min y 11,81 min en el frente A y B respectivamente. Por otro lado con una resistencia a la rodadura del 3%, el tiempo total del ciclo de los camiones es 8,92 min y 8,55 min en el frente A y B respectivamente (ver simulación en el apéndice G).

Lo anterior demuestra que mejorando los caminos de acarreo, mejoramos el desempeño de los camiones. El apéndice A2, explica el rendimiento de equipos en diferentes tipos de caminos.

La recomendación fue el uso de dos motoniveladoras marca Caterpillar, modelo 140G, para proveer mantenimiento a las vías de acarreo (ver cálculo de selección de motoniveladoras en tabla 9).

La flota ya contaba con una motoniveladora de esta marca y modelo, pero solamente la utilizaban 1.000 horas por año (medio tiempo), por lo cual se implementó el aumento de horas de uso de este equipo. Quedó pendiente la compra de otra motoniveladora.

TABLA 9
CÁLCULO DEL NÚMERO DE MOTONIVELADORAS NECESARIAS PARA EL
MANTENIMIENTO DE LAS VÍAS

Modelo de motoniveladora	<u>140G</u>	<u>140G</u>
Condiciones	Moderadas	Difíciles
Eficiencia del tiempo	80%	80%
Disponibilidad	85%	85%
Longitud del camino de acarreo (m)	1.000,00	1.000,00
Ancho de la vía (m)	18,00	18,00
Ancho de la hoja (m)	3,70	3,70
Ancho que cubre la primera pasada (m)	2,90	2,90
Ancho que cubre las siguientes pasadas (m)	2,30	2,30
Pasadas requeridas	8	8
Marcha de trabajo	4	3
Velocidad de trabajo (Km / hr)	8,0	5,0
<u>Análisis del tiempo</u>		
Tiempo por pasada (min)	7,50	12,00
Tiempo de maniobras (min)	0,50	0,50
Tiempo total por pasada (min)	8,00	12,50
Tiempo total para nivelar la vía (min)	1,07	1,67
Tiempo real para nivelar 1000 m de vía (min)	1,33	2,08
Tiempo de trabajo por día (hr)	8	9
Distancia de camino nivelada por día (Km)	6,00	4,32
Distancia real de camino nivelada por día (Km)	5,10	3,67
Número de mantenimientos necesarios por día	3	3
Distancia total de los caminos de acarreo existentes (Km)	2,064	2
Distancia total para mantenimiento (Km)	6,192	6
Número de motoniveladoras necesarias	1,21	1,63
RECOMENDACIONES : 2 Motoniveladoras modelo 140G ó similares		

2.4 Programa de capacitación del personal

Debido a que la preparación de los operadores en la operación de máquinas había sido empírica, es decir sin un entrenamiento previo del fabricante o una persona calificada, la capacitación fue teórica y práctica, el objetivo planteado y comunicado a los operadores fue, que al terminar el entrenamiento, estén en la capacidad de:

1. Conocer y practicar normas de seguridad en la operación de Cargadora de Ruedas.
2. Identificar los componentes principales y su función en la máquina.
3. Localizar todos los puntos de mantenimiento en la máquina.
4. Identificar los componentes y controles del compartimiento del operador y la función que desempeñan.
5. Reconocer el significado de los indicadores de advertencia y símbolos en el sistema de monitoreo de la máquina.
6. Utilizar la Guía de Operación y Mantenimiento del equipo como herramienta indispensable para el aprendizaje del uso de controles y accesorios, localización de componentes y prácticas de mantenimiento preventivo.
7. Demostrar como realizar una inspección “pre-operacional” en la Cargadora de Ruedas.
8. Practicar procedimientos de arranque y parada seguros.

9. Reconocer las aplicaciones correctas de la máquina.
10. Conocer técnicas de operación apropiadas para incrementar la productividad de los equipos.
11. Practicar técnicas de operación seguras en el sitio de trabajo.

Requisitos para asistir al curso.- Tener experiencia operando las cargadoras de ruedas, ya que en el curso, los estudiantes tenían que demostrar las técnicas de operación aprendidas.

Duración del curso.- 36 horas dividida en 6 jornadas (6 días).

Material bibliográfico.- Previo al curso se elaboró presentaciones en “Power Point”, luego se imprimió el material en carpetas y se los entregó a los participantes.

Equipos de audio y video.- Se utilizó un proyector de imágenes (marca infocus), para proyectar las presentaciones en “Power Point”; televisor y VHS para proyectar videos sobre operación y seguridad.

2.4.1. Instalaciones y áreas de prueba para evaluación proceso enseñanza – aprendizaje.

Todo el entrenamiento se lo realizó en las instalaciones y con los equipos de carga y acarreo de la compañía Mamut Andino S.A.

Para las clases y evaluaciones teóricas, se utilizó un salón de

clases debidamente equipado y acondicionado para el confort de los participantes.

Para el aprendizaje sobre conocimiento de los componentes, puntos de mantenimiento y controles de las máquinas, se trasladaron las máquinas al taller de reparaciones, donde era más cómodo y confortable (ver figura 2.1).

Las áreas de prácticas y pruebas de operación se las realizó en el sitio de trabajo de las máquinas, es decir en las canteras (ver figura 2.5).



FIGURA 2.5 ÁREAS DE PRÁCTICAS Y PRUEBAS

2.4.2. Evaluación teórica – práctica del personal

Para cumplir con estos objetivos y asegurar el aprendizaje de los participantes, el contenido del curso se dividió en secciones y al término de cada sección se tomó un examen ya sea escrito o práctico.

Las evaluaciones y la calificación de los operadores durante el entrenamiento, fueron las mismas que se utilizaron en la evaluación del diagnóstico inicial (tratadas en el capítulo 1.5), es decir teóricas – prácticas.

Evaluaciones teóricas

Estas evaluaciones consistieron en 5 exámenes escritos con preguntas alternativas (refiérase a los exámenes teóricos de los apéndices D4, D5, D6 y D7). Esta calificación representa el 10% de la calificación global. A continuación detallamos los temas evaluados:

1. Componentes principales de las máquinas.
2. Componentes de los sistemas del motor.
3. identificación de los símbolos de advertencia.
4. Entendimiento de la operación del sistema de monitoreo.

5. Entendimiento de las técnicas de operación correctas para aumentar la productividad de la máquina.

La tabla 10 muestra el resultado de las calificaciones teóricas.

TABLA 10
RESULTADO DE EVALUACIONES TEÓRICAS FINALES

	Evaluaciones					Promedio
	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	
Operador 1	10,0	8,8	10,0	8,0	8,0	9,0
Operador 2	10,0	8,0	7,0	6,0	6,0	7,4
Operador 3	10,0	7,6	8,0	5,0	7,0	7,5
Operador 4	10,0	9,6	1,0	9,0	9,0	9,5
PROMEDIO	10,0	8,5	8,8	7,0	7,5	8,4

Evaluaciones prácticas

Se las realizaron en el área de pruebas, consistía en observar el desempeño de los operadores a medida que avanzaba el curso, es decir que la evaluación era diaria. A continuación detallamos los temas evaluados:

1. Procedimientos de seguridad antes y durante la operación, representa el 15% de la calificación global.
2. Inspecciones antes de la operación y procedimientos de arranque y parada, representa el 15% de la calificación global.

3. Aplicación de las técnicas correctas de operación, representa el 60% de la calificación global. Este alto porcentaje se debe a que para una elevada producción se requiere operadores muy hábiles.

Los puntajes totales promedios obtenidos por los operadores en la evaluación teórica-práctica final, están detalladas en la tabla 11.

TABLA 11
RESULTADO DE EVALUACIONES TEÓRICAS-PRÁCTICAS
FINALES

	Evaluaciones prácticas			Promedio evaluaciones teóricas	PUNTAJE TOTAL
	# 1	# 2	# 3		
Operador # 1	15,0	15,0	54,0	9,0	93,0
Operador # 2	15,0	15,0	42,0	7,4	79,4
Operador # 3	15,0	15,0	46,0	7,5	83,5
Operador # 4	15,0	15,0	57,0	9,5	96,5
Promedio	15,0	15,0	49,8	8,4	88,1

La tabla 12 muestra una comparación de las calificaciones iniciales versus las finales, además muestra el porcentaje de aumento en el desempeño de cada uno de los participantes.

TABLA 12
COMPARACIÓN DE LAS CALIFICACIONES INICIALES
VERSUS FINALES

	EVALUACIONES		AUMENTO EN EL DESEMPEÑO
	INICIAL	FINAL	
OPERADOR 1	63,5	93,0	46,5%
OPERADOR 2	53,9	79,4	47,3%
OPERADOR 3	55,1	83,5	51,5%
OPERADOR 4	71,1	96,5	35,7%
PROMEDIO	60,9	88,1	45,5%

Se puede observar que el aumento del desempeño promedio es del 45,5%, siendo uno de los indicadores de que se cumplieron con los objetivos del entrenamiento. Tres de los operadores cumplieron con el puntaje mínimo necesario para aprobar el curso. El operador # 2 quien obtuvo 79,4 puntos también se lo consideró aprobado debido a que su desempeño aumentó en 47,3%, que es superior al promedio.

Otra condición indispensable para aprobar el curso fue que en el tema de seguridad se obtenga la máxima calificación que es 15 puntos, lo cual fue cumplido por todos los operadores.

La mejora más notoria de los operadores, fue la disminución del tiempo del ciclo a un promedio de 0,65 min y el aumento del factor de llenado en la carga de camiones a 89,9%.

La disminución del tiempo de ciclo de trabajo se dio por dos motivos: primero, se les dio instrucciones para que llenen el camión solamente en 3 pasada, antes lo hacían en 4, con el inconveniente que en la cuarta pasada lo hacían con el cucharón a la mitad de su capacidad para poder completar la carga del camión y así no sobrecargarlo; segundo, aprendieron técnicas de operación para atacar la pila, llenar el cucharón, acarrear el material hacia el camión, descargar y luego retornar a la pila, en el menor tiempo posible.

Esta misma técnica sirvió para el aumento del factor de llenado del cucharón.

La tabla 13, 14 y 15 muestra las mediciones y cálculo del tiempo de ciclo de trabajo de los equipos en condiciones actuales. La tabla 16 muestra la medición y calculo del factor de llenado en condiciones actuales.

TABLA 13
MEDICIÓN DE TIEMPOS DE CICLO TRABAJO - CONDICIONES ACTUALES

FRENTE "A"

Equipo de carga : Cargadora de ruedas 992D

Equipo de acarreo : 2 camiones 775B + 1 camión 775D

	Entra área de carga	Inicia carga	Pasadas			Finaliza carga	Tiempo carga	Tiempo de intercambio	Ciclo del camión
			1	2	3				
775B1		0,00	0,70	0,67		1,47	1,47		
775B2	3,01	3,66	0,61	0,61		4,99	1,33	0,65	
775D	4,93	6,23	0,60	0,58		7,53	1,30	1,30	
775B1	10,00	10,79	0,60	0,70		12,18	1,39	0,79	10,79
775B2	12,35	13,08	0,70	0,73		14,67	1,59	0,73	9,42
775D	16,96	17,85	0,65	0,70		19,34	1,49	0,89	1,62
775B1	20,02	20,87	0,66	0,69		22,32	1,45	0,85	1,08
775B2	23,34	23,99	0,66	0,65		25,41	1,42	0,65	10,91
775D	27,18	28,04	0,59	0,58		29,29	1,25	0,86	10,19
775B1	31,21	32,26	0,67	0,68		33,71	1,45	1,05	11,39
775B2	33,17	33,98	0,67	0,71		35,49	1,51	0,81	9,99
775D	37,29	37,98	0,67	0,72		39,50	1,52	0,69	9,94
775B1	40,90	41,70	0,62	0,63		43,10	1,40	0,80	9,44
775B2	43,73	44,50	0,67	0,64		45,92	1,42	0,77	10,52
775D	48,18	49,02	0,63	0,62		50,40	1,38	0,84	11,04
PROMEDIO			0,65	0,66			1,42	0,83	10,44

Promedio tiempo de ciclo	0,65 Min
Promedio tiempo de carga	1,42 Min
Promedio tiempo de intercambio	0,83 min
Promedio tiempo ciclo camión	10,44 min

TABLA 14
MEDICIÓN DE TIEMPOS DE CICLO DE TRABAJO - CONDICIONES ACTUALES

FRENTE "B"

Equipo de carga : Cargadora de ruedas 992C

Equipo de acarreo : 3 camiones 773B

	Entra área de carga	Inicia carga	Pasadas			Finaliza carga	Tiempo carga	Tiempo de intercambio	Ciclo del camión
			1	2	3				
773B1		0,00	0,62	0,63		1,35	1,35		
773B2	2,27	3,32	0,63	0,63		4,68	1,36	1,05	
773B3	5,56	6,64	0,67	0,59		8,05	1,41	1,08	
773B1	8,71	9,76	0,67	0,65		11,23	1,47	1,05	9,76
773B2	12,15	12,86	0,68	0,69		14,48	1,62	0,71	9,54
773B3	15,01	15,66	0,68	0,63		17,32	1,66	0,65	9,02
773B1	19,27	20,12	0,58	0,60		21,45	1,33	0,85	10,36
773B2	22,15	22,85	0,67	0,66		24,33	1,48	0,70	9,99
773B3	25,71	26,76	0,64	0,66		28,17	1,41	1,05	11,10
PROMEDIO			0,65	0,64			1,45	0,89	9,96

Promedio tiempo de ciclo 0,64 min

Promedio tiempo de carga 1,45 min

Promedio tiempo de intercambio 0,89 min

Promedio tiempo ciclo camión 9,96 min

TABLA 15

**CÁLCULO DEL CICLO DE TRABAJO PROMEDIO DE LAS CARGADORAS DE RUEDAS -
CONDICIONES ACTUALES**

	FRENTE A	FRENTE B	PROMEDIO
Promedio tiempo de ciclo de cargadora (min)	0,65	0,64	0,65
Tiempo para llenar el camión			
Promedio tiempo de carga (min)	1,42	1,45	1,44
Promedio tiempo de intercambio (min)	0,83	0,89	0,86
Tiempo total para llenar el camión (min)	2,26	2,35	2,30

TABLA 16

MEDICIÓN Y CÁLCULO DEL FACTOR DE LLENADO DEL CUCHARÓN - CONDICIONES ACTUALES

Densidad del material (Kg / m³s)	1650
Modelo de cargadora	992D
Capacidad del cucharón (m³)	10,7

	Peso camión cargado (Kg)	Peso camión vacío (Kg)	Peso de la carga (Kg)	Número de pasadas	Carga por pasada (Kg)	Volumen por pasada (m³)	Factor de llenado (%)
Camión 775B1	90.570	42.580	47.990	3	15.997	9,69	90,61%
Camión 775B2	89.960	42.730	47.230	3	15.743	9,54	89,17%
Camión 775D	89.480	42.280	47.200	3	15.733	9,54	89,12%

Modelo de cargadora	992D
Capacidad del cucharón (m ³)	9,94

	Peso camión cargado (Kg)	Peso camión vacío (Kg)	Peso de la carga (Kg)	Número de pasadas	Carga por pasada (Kg)	Volumen por pasada (m³)	Factor de llenado (%)
Camión 773B1	84.180	40.460	43.720	3	14.573	8,83	88,86%
Camión 773B2	85.020	40.210	44.810	3	14.937	9,05	91,07%
Camión 773B3	84.970	40.380	44.590	3	14.863	9.01	90.62%

Factor de llenado promedio **89,91%**

CAPÍTULO 3

3. EVALUACIÓN DEL PLAN DE MEJORAMIENTO

APLICADO

3.1. Medición de la Producción y la Productividad

Para medir la producción y la productividad se utilizó el mismo método que el estipulado en la sección 1.6.

1. Medición de los tiempos de ciclo de trabajo y factor de llenado

Se logró a través del entrenamiento a los operadores de las cargadoras de ruedas, cargar los camiones en tres pasadas y en un tiempo de 2,30 min, esto aumentó el número potencial de camiones a cargar. La tabla 15 de la sección 2.4 muestra el cálculo del tiempo de carga del camión en condiciones actuales.

Mejorando los caminos de acarreo, los tiempos de ciclo de trabajo de los camiones disminuyeron a 10,44 min y 9,96 min en el frente A y B respectivamente, aumentando la producción por hora de los camiones (ver tabla 13 y 14)

En el pesaje de la carga de los camiones, se comprobó que en las tres pasadas de las cargadoras para llenar el camión, el factor de llenado fue de 89,9%, la tabla 16 muestra el procedimiento realizado, en la que con el peso de la carga de los camiones, se calculó el factor de llenado del cucharón en condiciones actuales.

2. Cálculo de los costos por hora de posesión y operación

Según datos proporcionados y detallados en los apéndices E1 y E2, se pudo detectar una pequeña disminución de los costos de operación de los equipos desde 1.680,48 \$/hr, que era el valor inicial **a 1.674,21 \$/hr**, esto se debió principalmente a la mayor duración de los neumáticos de las máquinas de la flota y de las herramientas de corte de las cargadoras de ruedas.

3. Cálculo de la producción por hora, producción anual y productividad

La tabla 17 muestra el cálculo de producción en los dos frentes. Debido a la disminución de los tiempos de ciclo de las flotas y el aumento del factor de llenado, la producción subió de 1.158,54 Mtons/hr a **1.228,29 Mtons /hr**.

Los costos totales de producción mostrados en la tabla 18, disminuyeron desde \$ 3.102.988,44 a **\$ 3.017.175,47**.

Dividiendo la producción anual de **2.200.000,00 Mtons**, entre el costo de producción anual tenemos una productividad de **0,729 Mtons/\$**, la cual es superior a la obtenida inicialmente que fue de 0,709 Mtons/\$.

TABLA 17
CÁLCULOS DE PRODUCCIÓN - CONDICIONES ACTUALES

		FRENTE A	FRENTE B	
DATOS				
a.	Disponibilidad de la flota	89,93%	88,27%	
b.	Eficiencia del trabajo	90,32%	79,57%	
c.	Capacidad colmada del cucharón (m ³ s)	10,70	9,94	
d.	Factor de llenado del cucharón (%)	89,90	89,90	
e.	Densidad del material suelto (Mton / m ³ s)	1,65	1,65	
f.	Número de pasadas para cargar el camión	3,0	3,0	
g.	Tiempo de carga de camiones (min)	2,30	2,30	
h.	Tiempo de ciclo del camión (min)	10,44	9,96	
i.	Número de camiones de la flota	3	3	
CÁLCULOS				
CARGADORA DE RUEDAS				
j.	Carga útil del cucharón (Mtons)	15,87	14,74	(c x d x e)
k.	Carga del camión por ciclo (Mtons)	47,62	44,23	(f x j)
l.	Número de camiones cargados por hora	26,09	26,09	(60 / g)
m.	Producción de la cargadora al 100% eficiencia (Mtons/hr)	1.242,14	1.153,92	(k x l)
n.	Producción real de la cargadora (Mtons/hr)	1.008,93	810,47	(m x a x b)
FLOTA DE CAMIONES				
o.	Ciclos por hora de un camión	5,75	6,02	(60 / h)
p.	Producción de un camión por hora (Mtons/hr)	273,65	266,47	(k x o)
q.	Producción de tres camiones por hora (Mtons/hr)	820,96	799,40	(p x i)
r.	Producción real de tres camiones (Mtons/hr)	666,82	561,47	(q x a x b)

TABLA 18
CÁLCULO DEL COSTO DE PRODUCCIÓN ANUAL - CONDICIÓN ACTUAL

	FRENTE A	FRENTE B	Máquinas de apoyo				TOTAL
			Tractor	Motonivel	Camión cisterna	Rodillo	
Producción por hora (Mtons/hr)	666,82	561,47	0,00	0,00	0,00	0,00	1.228,29
Producción requerida por año (Mtons)	1.200.000	1.000.000	0,00	0,00	0,00	0,00	2.200.000,00
Tiempo de trabajo necesarias de la flota (hrs)	1.800	1.781	2.000	2.000	1.500	1.100	-----
Costo total por hora de la flota (\$ / hr)	655,98	627,21	240,92	62,50	41,00	46,60	1.674,21
Costo de producción total por año (\$)	1.180.959	1.115.980	481.840	125.000	61.500	51.260	3.017.175,47
Productividad (Mtons / \$)	1,016	0,896					0,729

3.2. Evaluación económica del proyecto versus beneficios conseguidos

Los beneficios alcanzados en este proyecto, se lograron solamente optimizando el uso de los equipos ya existentes y a la preparación del personal que los operaba, es decir, la compañía Mamut Andino S.A. solo incurrió en el gasto de la capacitación, el cual fue de \$ 3.000,00 que es una cantidad sumamente pequeña en relación al ahorro anual conseguido.

Se podría asumir, que también se invirtió en la utilización por 1.000 horas más de trabajo al año de la motoniveladora, pero en el balance global incluyendo este costo, se consiguió un aumento del 2,9% en la productividad, lo cual representa un ahorro anual aproximado de \$ 86.000,00. La tabla 19, muestra una comparación entre las condiciones iniciales y las condiciones después de aplicado el plan.

TABLA 19
COMPARACIÓN DE LAS CONDICIONES INICIALES VS.
CONDICIONES DESPUÉS DE APLICADO EL PLAN

	Condición Inicial	Condición después del plan	AHORRO
Producción por hora (Mtons/hr)	1.158,54	1.228,29	69,75
Producción requerida por año (Mtons)	2.200.000	2.200.000	-----
Costo total por hora de la flota (\$ / hr)	1.680,48	1.674,21	-6,27
Costo de producción total por año (\$)	3.102.988	3.017.175	-85.813
Productividad (Mtons / \$)	0,709	0,729	0,020

Actualmente hay beneficios que se pueden medir como son el aumento en la vida útil de los neumáticos y herramientas de cortes. En el futuro se registrarán ahorros en la disminución de otros costos de operación, en lo que se refiere a la disminución del consumo de combustible y costos de reparación.

Esto se debe al uso adecuado y menos maltrato de los equipos por los operadores y además por los caminos de acarreo con buen mantenimiento.

Los beneficios alcanzados, los cuales están reflejados en el costo producción conseguido son los siguientes:

- Disminución de los tiempos de ciclo de trabajo de las cargadoras de ruedas, lo cual disminuyó el tiempo de carga de los camiones y por ende aumentó la capacidad para llenar más camiones en menos tiempo.
- Aumento en el factor de llenado de los cucharones, esto disminuyó el número de pasadas para llenar los camiones, lo cual disminuyó el tiempo de carga de estos y por ende aumentó la capacidad para llenar más camiones en menos tiempo.

- Disminución de los ciclos de trabajo de los camiones, esto incrementó la capacidad de acarrear más carga y por lo tanto se registró aumento de la producción.
- Disminución de los costos de operación, con lo cual disminuyó el costo por tonelada métrica producida ó aumento de la productividad.
- Disminución del tiempo de trabajo de las flotas de máquinas en los frentes de trabajo A y B, esto aumenta la disponibilidad de los equipos ya que las horas programadas de trabajo también disminuirán.

La tablas 20 y 21, muestran un cálculo de la producción y la productividad en condiciones ideales, que es una idea de lo que potencialmente se podría alcanzar, si se siguen todas las recomendaciones.

La tabla 22 muestra una comparación de la condición de producción potencial versus la inicial, en donde se puede ver que el aumento de la productividad podría llegar a 1,011 Mtons/\$ ó 43% mayor, representando un ahorro aproximado anual de \$ 928.000,00. Siendo esta una condición muy ideal, nos muestra, que el ahorro fácilmente puede ser mayor al 2,9% conseguido.

TABLA 20
CÁLCULOS DE PRODUCCIÓN POTENCIAL

		FRENTE A	FRENTE B	
DATOS				
a.	Disponibilidad de la flota	89,93%	88,27%	
b.	Eficiencia del trabajo	90,32%	79,57%	
c.	Capacidad colmada del cucharón (m ³ s)	10,70	9,94	
d.	Factor de llenado del cucharón (%)	95,00	95,00	
e.	Densidad del material suelto (Mton / m ³ s)	1,65	1,65	
f.	Número de pasadas para cargar el camión	3,0	3,0	
g.	Tiempo de carga de camiones (min)	2,10	2,10	
h.	Tiempo de ciclo del camión (min)	8,93	8,54	
i.	Número de camiones de la flota	3	3	
CÁLCULOS				
<u>CARGADORA DE RUEDAS</u>				
j.	Carga útil del cucharón (Mtons)	16,77	15,58	(c x d x e)
k.	Carga del camión por ciclo (Mtons)	50,32	46,74	(f x j)
l.	Número de camiones cargados por hora	28,57	28,57	(60 / g)
m.	Producción de la cargadora al 100% eficiencia (Mtons/hr)	1.437,62	1.335,51	(k x l)
n.	Producción real de la cargadora (Mtons/hr)	1.167,70	938,01	(m x a x b)
<u>FLOTA DE CAMIONES</u>				
o.	Ciclos por hora de un camión	6,72	7,03	(60 / h)
p.	Producción de un camión por hora (Mtons/hr)	338,07	328,40	(k x o)
q.	Producción de tres camiones por hora (Mtons/hr)	1.014,22	985,21	(p x i)
r.	Producción real de tres camiones (Mtons/hr)	823,80	691,98	(q x a x b)

TABLA 21
CÁLCULO DEL COSTO DE PRODUCCIÓN ANUAL - CONDICIÓN POTENCIAL

	FRENTE A	FRENTE B	Máquinas de apoyo				TOTAL
			Tractor	Motonivel	Camión cisterna	Rodillo	
Producción por hora (Mtons/hr)	823,80	691,98	0,00	0,00	0,00	0,00	1.515,78
Producción requerida por año (Mtons)	1.200.000	1.000.000	0,00	0,00	0,00	0,00	2.200.000,00
Tiempo de trabajo necesarias de la flota (hrs)	1.457	1.445	2.000	2.000	1.500	1.100	-----
Costo total por hora de la flota (\$ / hr)	651,30	616,41	240,92	62,50	41,00	46,60	1.658,73
Costo de producción total por año (\$)	948.725	890.794	481.840	125.000	61.500	51.260	2.175.250,98
Productividad (Mtons / \$)	1,265	1,123					1,011

TABLA 22
COMPARACIÓN DE LAS CONDICIONES INICIALES VS. CONDICIONES
POTENCIALES

	Condición Inicial	Condición potencial	AHORRO POTENCIAL
Producción por hora (Mtons/hr)	1.158,54	1.515,78	357,24
Producción requerida por año (Mtons)	2.200.000	2.200.000	-----
Costo total por hora de la flota (\$ / hr)	1.680,48	1.658,73	-21,75
Costo de producción total por año (\$)	3.102.988	2.175.251	-927.737
Productividad (Mtons / \$)	0,709	1,011	0,302

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. El mantenimiento de las vías de acarreo y el entrenamiento a los operadores aumentó la productividad desde 0,709 a 0,729 Mtons/\$.
2. El entrenamiento a los operadores de las cargadoras de ruedas disminuyó el tiempo de llenado de los camiones de 3,59 a 2,30 min.
3. El mantenimiento de las vías de acarreo disminuyó el tiempo del ciclo de trabajo de los camiones en los frentes A y B desde 12,66 min. y 12,43 min. a 10,44 min. y 9,96 min. respectivamente.
4. La disminución de los ciclos de trabajo aumentó la producción desde 1.158,54 a 1.228,29 Mtons/hr.
5. Las inspecciones diarias antes y durante la operación de los equipos y el entrenamiento a los operadores disminuyó los costos por hora de la flota de 1.680,48 a 1.674,21 \$/hr.
6. Se consigue más ahorro disminuyendo los tiempos de ciclo de los camiones que los de las cargadoras de ruedas.

Recomendaciones

1. Agregar a la flota una motoniveladora más para el mantenimiento de los caminos de acarreo.
2. Supervisar y monitorear constantemente los ciclos de trabajo de las cargadoras de ruedas y camiones.
3. Refrescar periódicamente el entrenamiento a los operadores de equipos.
4. Implementar control de contaminación en el taller de reparaciones.
5. Trasladar el taller de reparaciones a otro sitio con menos contaminación o polvo.

APENDICES

APENDICE A: FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

**APENDICE A1:FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA
MATERIALES**

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

MATERIALES

Los materiales se dividen en tres amplias categorías: ROCA, TIERRA y MEZCLAS.

- **ROCA**

Tiene poca o nada de tierra, y a menudo debe ser desgarrada o dinamitada antes de cargarse. Ejemplos de roca son: Granitos, piedras calizas, esquistos, etc.

- **TIERRA**

Consiste en piedra disociada o desintegrada y material orgánico degradado. El cascajo por ejemplo, esta compuesta por partículas grandes y gruesas, mientras que la arcilla tiene partículas pequeñas y finas. La arena y el cieno están compuestas de partículas de tamaño entre las de cascajo y las de arcilla.

- **MEZCLAS**

Las mezclas de roca y tierra se encuentran en todas partes del mundo. A menudo, se les da nombres regionales a las diferentes combinaciones de roca y tierra. Por ejemplo, en muchas regiones áridas, es común encontrar mezclas de granito y tierra arenosa, o piedra caliche.

El material tiene tres propiedades de interés para el contratista: DENSIDAD, ABULTAMIENTO Y COMPACTIBILIDAD.

- **DENSIDAD**

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

MATERIALES

Es el peso del material por unidad de volumen. El movimiento de tierras se expresa en kilogramos por metro cúbico.

Metro Cúbico en Banco (m^3b) – un metro cúbico de material en su estado natural.

Metro Cúbico Suelto (m^3s) – un metro cúbico de material fuera de su estado natural.

- **ABULTAMIENTO**

Es el aumento en volumen después que el material se ha perturbado de su estado natural y se expresa como porcentaje del volumen del banco. Por ejemplo, el abultamiento de la capa superior es de aproximadamente un 43%. Un metro cúbico de material del banco es igual a 1,43 m^3 de material suelto. Es importante tomar en cuenta el abultamiento, ya que los contratos se pagan, por lo general, en metros cúbicos en el banco (m^3b) y lo que se transporta es metros cúbicos sueltos (m^3s). Pero la manera más acertada de tomar en cuenta el cambio entre el material en el banco y material suelto, es el FACTOR VOLUMETRICO DE CONVERSION o FACTOR DE CARGA, o la reducción en la densidad del material, Kg/m^3 del Banco a Suelto.

$$\text{Factor volumétrico de conversión} = \frac{Kg/m^3s}{Kg/m^3b}$$

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

MATERIALES

La Tabla mostrada a continuación, presenta una lista de la densidad aproximada y del factor de carga de algunos materiales comunes.

DENSIDAD APROXIMADA Y FACTOR DE CARGA DE MATERIALES

PESO* DE LOS MATERIALES	SUELTO		EN BANCO		FACTORES DE CARGA
	kg/m ³	lb/yd ³	kg/m ³	lb/yd ³	
Basalto	1960	3300	2970	5000	0,67
Bauxita, Caolín	1420	2400	1900	3200	0,75
Caliche	1250	2100	2260	3800	0,55
Carnotita, mineral de uranio	1630	2750	2200	3700	0,74
Ceniza	560	950	860	1450	0,66
Arcilla — en su lecho natural	1660	2800	2020	3400	0,82
seca	1480	2500	1840	3100	0,81
mojada	1660	2800	2080	3500	0,80
Arcilla y grava — secas	1420	2400	1660	2800	0,85
mojadas	1540	2600	1840	3100	0,85
Carbón — antracita en bruto	1190	2000	1600	2700	0,74
lavada	1100	1850			0,74
ceniza, carbón bituminoso	530-650	900-1100	590-890	1000-1500	0,93
bituminoso en bruto	950	1600	1280	2150	0,74
lavado	830	1400			0,74
Roca descompuesta —					
75% roca, 25% tierra	1960	3300	2790	4700	0,70
50% roca, 50% tierra	1720	2900	2280	3850	0,75
25% roca, 75% tierra	1570	2650	1960	3300	0,80
Tierra — Apisonada y seca	1510	2550	1900	3200	0,80
Excavada y mojada	1600	2700	2020	3400	0,79
Marga	1250	2100	1540	2600	0,81
Granito fragmentado	1660	2800	2730	4600	0,61
Grava — Como sale de cantera	1930	3250	2170	3650	0,89
Seca	1510	2550	1690	2850	0,89
Seca, de 6 a 50 mm	1690	2850	1900	3200	0,89
Mojada de 6 a 50 mm	2020	3400	2260	3800	0,89
Yeso — Fragmentado	1810	3050	3170	5350	0,57
Triturado	1600	2700	2790	4700	0,57
Hematita, mineral de hierro	1810-2450	4000-5400	2130-2900	4700-6400	0,85
Piedra caliza — fragmentada	1540	2600	2610	4400	0,59
triturada	1540	2600			
Magnetita, mineral de hierro	2790	4700	3260	5500	0,85
Pirita, mineral de hierro	2580	4350	3030	5100	0,85
Arena — Seca y suelta	1420	2400	1600	2700	0,89
Húmeda	1690	2850	1900	3200	0,89
Mojada	1840	3100	2080	3500	0,89
Arena y Arcilla — suelta	1600	2700	2020	3400	0,79
compactada	2400	4050			
Arena y grava — seca	1720	2900	1930	3250	0,89
mojada	2020	3400	2230	3750	0,91
Arenisca	1510	2550	2520	4250	0,60
Pizarra bituminosa	1250	2100	1660	2800	0,75
Escorias fragmentadas	1750	2950	2940	4950	0,60
Nieve — seca	130	220			
mojada	520	860			
Piedra triturada	1600	2700	2670	4500	0,60
Taonita	1630-1900	3600-4200	2360-2700	5200-6100	0,58
Tierra vegetal	950	1600	1370	2300	0,70
Roca fragmentada	1750	2950	2610	4400	0,67
Virutas de madera**	—	—	—	—	—

• COMPACTABILIDAD

Si se va a edificar algo en un material suelto o de relleno, debe cambiarse la densidad del material a su estado en el banco o más compactado. Cuando

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

MATERIALES

se COMPACTA un material, se reduce su volumen. Aunque varios materiales se compactan a diferentes promedios según el tamaño de las partículas, contenido de humedad, presión ejercida, etc., la contracción, o Factor de Contracción, se puede calcular dividiendo la densidad en el banco por la densidad por metro cúbico compactado.

$$\text{Contracción} = \frac{\text{Densidad en banco}}{\text{Densidad compactado}}$$

$$\text{Contracción} = \frac{\text{Kg/m}^3\text{b}}{\text{Kg/m}^3\text{c}}$$

Otros conceptos importantes que debe conocer el contratista son: CARGA UTIL, CAPACIDADES DE LAS UNIDADES DE CARGA y ACARREO y el FACTOR DE LLENADO.

- **CARGA UTIL**

La carga útil se denomina también carga indicada, es la capacidad máxima de carga de una unidad de carga o acarreo que puede llevar sin imponer esfuerzos excesivos sobre los neumáticos o sobre la propia máquina, por este motivo los fabricantes de equipos señalan una capacidad indicada en los camiones para evitar la sobrecarga especialmente cuando se trabaja con materiales de mucha densidad.

- **CAPACIDADES DE LAS UNIDADES DE CARGA Y ACARREO**

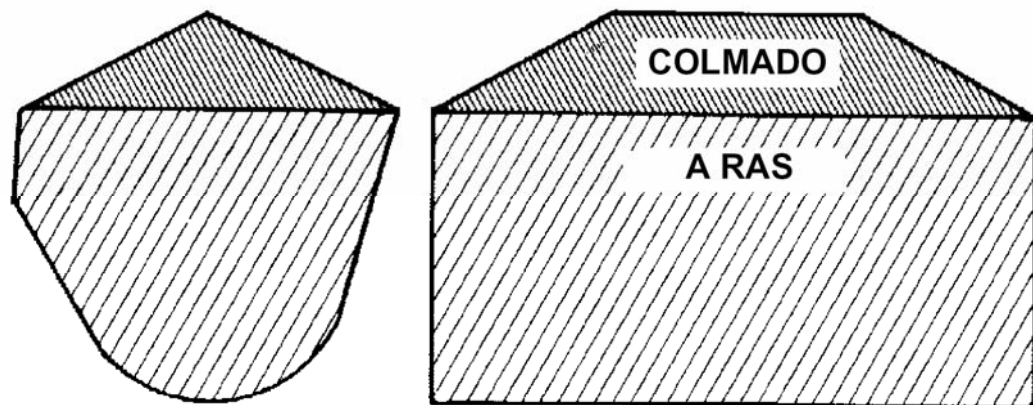
FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

MATERIALES

Capacidad a ras, es el volumen contenido (m^3) en el cucharón después de nivelar la carga pasando un rasero que se apoye sobre la cuchilla y la parte trasera del cucharón.

Capacidad Colmada, es la capacidad a ras, más la cantidad adicional que se acumule sobre la carga a ras a un ángulo de reposo de 2:1 con el nivel a ras paralelo al suelo.

La capacidad colmada es la que normalmente se usa para medir la producción de las máquinas de carga y acarreo. Cuando se refiere a las unidades de acarreo también se aplica este concepto de capacidad a ras y colmado.



Capacidades de cucharones según SAE

- **FACTOR DE LLENADO**

Es el porcentaje del volumen disponible de un cuerpo, cucharón o caja que realmente se usa. Un factor de llenado del 87% de una unidad de acarreo

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

MATERIALES

significa que un 13% de su capacidad nominal no se usa para acarrear material. La siguiente tabla indica las cantidades aproximadas de una materia como porcentaje de la capacidad nominal del cucharón.

FACTORES DE LLENADO DEL CUCHARON

	Factor de llenado
Material suelto	
Aridos húmedos mezclados	95-100%
Aridos uniformes hasta de 3 mm (1/8")	95-100
3 mm-9 mm (1/8"-3/8")	90-95
12 mm-20 mm (1/2"-3/4")	85-90
24 mm (1") y más	85-90
Roca de voladura	
Buena	80-95%
Media	75-90
Mala	60-75
Otros	
Mezclas de roca y tierra	100-120%
Marga húmeda	100-110
Tierra vegetal, piedras, raíces	80-100
Materiales cementados	85-95

Para ilustrar el factor de llenado, asumamos que un contratista tiene una cargadora con un cucharón de 10 m³ y esta cargando roca de voladura con una fragmentación del material media, esto significa que la carga máxima por cada ciclo de trabajo será de 9 m³ (10 m³ x 90%).

**APENDICE A2: FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA
POTENCIA**

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

POTENCIA

Para saber cuales son las máquinas adecuadas para realizar un trabajo debemos saber cuanto trabajo estas pueden hacer. El objetivo primordial en el cálculo de producción es el costo por metro cúbico de material movido. Antes de calcular la producción tenemos que considerar un factor que tendrá gran influencia en esta, LA POTENCIA.

El conocimiento de las diferentes clases de potencia y los factores que afectan a cada una, nos ayudan a saber que tamaño o modelo de máquina puede subir ciertas pendientes en el lugar de la obra llevando cargas nominales, ó a que velocidad puede avanzar una máquina en un camino de acarreo bajo condiciones diversas. Sin considerar la potencia no se puede calcular la producción a menos que se visite la obra y se estudie las máquinas cuando están trabajando.

Consideremos un camión con carga pesada que sube por un camino de acarreo mojado y fangoso, las preguntas que debemos hacernos son las siguientes:

- a) ¿Cuanta potencia hará falta para que este camión suba la pendiente?
(POTENCIA NECESARIA).
- b) ¿Tiene el camión suficiente potencia disponible para hacer este trabajo
(POTENCIA DISPONIBLE), si no lo tiene, tendremos que aligerar la carga ó debemos utilizar un equipo con más potencia?

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

POTENCIA

- c) Luego debemos averiguar si podemos o no utilizar toda la potencia y cual será el efecto en las condiciones del terreno (POTENCIA UTIL).

POTENCIA NECESARIA

Es una de las primeras consideraciones al seleccionar una máquina, es la potencia que necesitamos para mover una máquina a través de una superficie, ó a lo largo de un camino de acarreo, es decir, es la potencia necesaria para vencer la resistencia total que ofrece un camino.

La resistencia total (RT) ó Potencia necesaria es la suma de: 1) Resistencia a la Rodadura (RR) y 2) Resistencia a la Pendiente (RP).

$$RT = RR + RP$$

La Resistencia a la Rodadura (RR) es la fuerza que se debe vencer para mover la máquina en suelo horizontal, es la fuerza que opone el terreno al giro de las ruedas. Varias fuerzas afectan la Resistencia a la Rodadura, las más importantes son: Fricción Interna (FrI), Flexión del Neumático (F/N), Penetración del Neumático (PN) y Peso sobre las Ruedas (PR)

$$RR = FrI + F/N + PN + PR$$

La Resistencia a la Rodadura se puede expresar en Kilogramos por Tonelada Métrica (Kg/Mton) ó como porcentaje (%) de la pendiente.

$$PBV = \text{El peso de la máquina vacía} + \text{el peso de la carga útil}$$

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

POTENCIA

La Fricción Interna, es la fricción dentro de la rueda en sí, esto lo causan componentes mecánicos tales como cojinetes que ejercen cierta cantidad de resistencia al movimiento. La Flexión de los neumáticos aumenta la resistencia al movimiento por que las paredes de los neumáticos y las bandas de rodamiento se tuercen a medida que el neumático gira, la magnitud de esta distorsión depende del diseño del neumático, la presión de aire y la superficie sobre la cual gira el neumático. En una máquina de movimiento de tierra adecuadamente conservada, el efecto de la fricción interna y la flexión de los neumáticos se pueden considerar como un factor constante del 2% del Peso Bruto del Vehículo (PBV) ó 20 Kilogramos por cada tonelada métrica (20 Kg/Mton). Así que sin tomar en cuenta otro factor, son necesarios 20 kilogramos de empuje o tiro por cada tonelada métrica de Peso Bruto del Vehículo.

La Penetración de los Neumáticos en el suelo es un factor significativo en la resistencia a la rodadura, cuando un neumático se hunde en una superficie se hace necesario una fuerza grandemente aumentada para mantenerlo girando, ya que tiene continuar girando cuesta arriba. Las condiciones del camino de acarreo tienen un efecto importante en la resistencia a la rodadura, si los caminos de acarreo están bien conservados, las unidades de acarreo pueden emplear una mayor parte de su capacidad de velocidad

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

POTENCIA

y mover material con mayor rapidez y eficiencia de un lugar a otro, esto significa una reducción en el tiempo de viaje y mayor producción, en cambio en un camino de acarreo que no este bien conservado, los vehículos de acarreo andarán más lentos y con frecuencia las ruedas se hundirán en la superficie. La penetración de los neumáticos causa un aumento en la resistencia a la rodadura que está en relación directa con la profundidad de la penetración, la experiencia ha demostrado que por cada 2,5 cm de penetración del neumático la máquina de ruedas tiene vencer una resistencia a la rodado adicional de 15 kg/Mton o 1,5 % del PBV.

El Peso sobre las Ruedas es el total del peso del vehículo vacío y el peso de la carga que acarrea, esto crea flexión del camino y por lo tanto aumento de la resistencia a la rodadura. Aunque no hay penetración mensurable del neumático, la máquina todavía puede experimentar una alta resistencia a la rodadura debido a la flexión del suelo bajo la carga, la superficie se deprime a medida que el neumático pasa sobre ella y luego vuelve a recobrar su contorno original, cuando el camino sede bajo el neumático este tiene que salirse continuamente de la depresión que ha creado, esto naturalmente resulta en un aumento de la resistencia a la rodadura.

Puesto que las condiciones del terreno son muy variables el número de resistencias es casi ilimitado, sin embargo con fines prácticos se han

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

POTENCIA

establecido nueve factores generales, los cuales están estipulados en la siguiente tabla.

FACTORES TIPICOS DE RESISTENCIA A LA RODADURA

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

Los valores de la tabla toman en cuenta tanto el factor de resistencia constante a la rodadura, como también el efecto de consideraciones tales como la penetración del neumático. Para calcular la Resistencia a la Rodadura (RR) debemos seleccionar en la tabla, el porcentaje de resistencia a la rodadura (RR_f) de acuerdo a las condiciones del terreno y multiplicarla por el PBV.

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

POTENCIA

$$\text{Resistencia a la Rodadura} = RR_f \times PBV$$

EJEMPLO 1

Un camión transporta 30.000 Kg de material por una camino firme y liso de tierra, que cede un poco bajo carga y es conservado con regularidad. El peso vacío del camión es 70.000 Kg Calcular:

- a) Peso bruto de la máquina (PBV)
- b) Resistencia a la Rodadura en porcentaje de pendiente
- c) Resistencia a la Rodadura en Kg / Mton

SOLUCION

- a) $PBV = \text{El peso de la máquina vacía} + \text{el peso de la carga útil}$
 $PBV = 70.000 \text{ Kg} + 30.000 \text{ Kg} = 100.000 \text{ Kg}$
- b) $\text{Porcentaje de Resistencia a la Rodadura} = 2,5 \%$
- c) $\text{Resistencia a la Rodadura} = RR_f \times PBV = 2,5 \% \times 100.000 \text{ Kg}$
 $\text{Resistencia a la Rodadura} = 2,500 \text{ Kg/Mton}$

La Resistencia a la Pendiente (RP) es la fuerza de gravedad que hay vencer cuando se sube por una pendiente, se calcula dividiendo la elevación o caída vertical para la distancia horizontal.

$$\% \text{ Pendiente} = \text{Elevación o caída Vertical} / \text{Distancia Horizontal}$$

Cada 1 % de desnivel produce una fuerza adversa o favorable de 10 Kg/Mton del peso bruto del vehículo, esta relación se puede expresar como una fórmula.

$$\text{Pendiente 1\%} = 1\% \text{ de PBV}$$

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

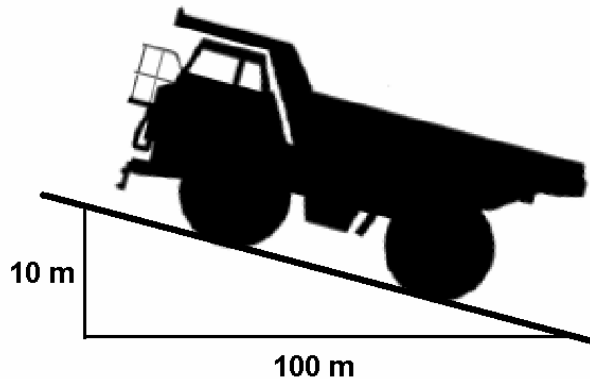
POTENCIA

$$RP = \% \text{ de pendiente} \times PBV$$

EJEMPLO 2

Un camión está subiendo una pendiente que tiene 10 m de elevación vertical y 100 m de distancia horizontal. El peso bruto del vehículo es de 100.000 Kg Calcule:

- a) Porcentaje de Pendiente
- b) Resistencia a la pendiente



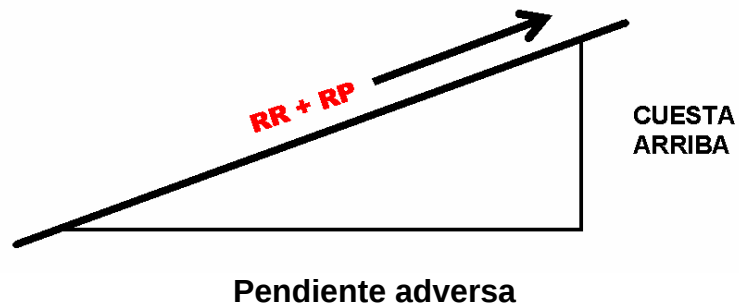
SOLUCION

- a) Porcentaje de Pendiente (%) = $(10 / 100) \times 100 = 10\%$
- b) Resistencia a la Pendiente (RP) = % Pendiente $\times$ PBV
= $10\% \times 100.000 \text{ Kg.}$
= 10.000 Kg / Mton

Sea como sea el terreno, la Resistencia a la Rodadura está siempre presente y debe ser tomada en cuenta. Cuesta arriba un vehículo tiene que vencer la resistencia a la rodadura y la resistencia a la pendiente.

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

POTENCIA



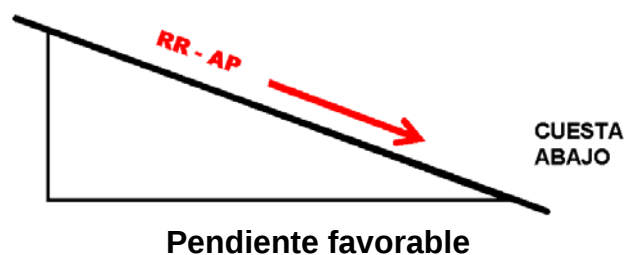
$$\text{Resistencia Total} = \text{Resistencia a la Rodadura} + \text{Resistencia en Pendientes}$$

En una superficie nivelada el vehículo solo tiene que vencer la resistencia a la rodadura.



$$\text{Resistencia Total} = \text{Resistencia a la Rodadura}$$

Cuesta abajo el vehículo tiene que vencer la resistencia a la rodadura menos la ayuda de la pendiente. Cuesta abajo nos preocupan más normalmente los frenos y los neumáticos que las necesidades de potencia.



FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

POTENCIA

$$\text{Resistencia Total} = \text{Resistencia a la Rodadura} - \text{Ayuda en Pendientes}$$

Cuando la pendiente es cuesta arriba se denomina pendiente adversa y el vehículo necesita más potencia para trasladarse. Cuando la pendiente es cuesta abajo se denomina pendiente favorable y se necesita menos potencia para trasladarse.

Otro concepto importante que tenemos que conocer es la Pendiente Efectiva. Sirve para usarla en las curvas de tracción de las ruedas, del funcionamiento del freno y del tiempo de los viajes que están en los manuales sobre rendimientos de equipos de los fabricantes.

$$\text{Pendiente Efectiva} = \text{Resistencia a la Rodadura (\%)} - \text{Resistencia en Pendientes (\%)}$$

Cabe recalcar también que la potencia necesaria se expresa en **Kg**, la pendiente efectiva se expresa en **%**. y la resistencia a la rodadura se expresa en **Kg ó %**.

$$\text{Potencia Necesaria (Resistencia Total)} = \text{Resistencia a la Rodadura (Kg.)} + \text{Resistencia en Pendientes (Kg.)}$$

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

POTENCIA

POTENCIA DISPONIBLE

Una vez que sabemos la potencia que necesitamos, tenemos que determinar la potencia disponible, cuantos kilogramos de tiro nos dará la máquina para hacer el trabajo que tenemos a mano.

Hay 2 factores que determinan la potencia disponible, los caballos de fuerza y la velocidad. Los caballos de fuerza (hp) son valores constantes para un vehículo determinado. La relación entre velocidad, caballos de fuerza y kilogramos de tiro se formula con la siguiente ecuación:

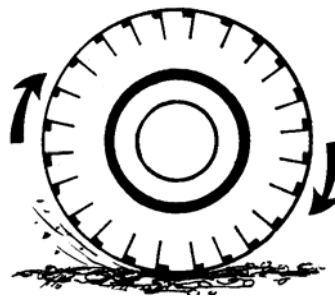
$$\text{hp} = \text{kg de tiro} \times \text{velocidad}$$

Puesto que los caballos de fuerza son un valor constante, los kilogramos de tiro disponibles cambiarán a medida que variamos la velocidad, podemos ir rápido y ejercer un tiro bajo, una trailla vacía que corre cuesta abajo o podemos ejercer mucho tiro pero a baja velocidad, un tractor en un trabajo duro de desgarrar, ambas máquinas podrían disponer de los mismos caballos de fuerza, los kilogramos de tiro aumentarán a medida que la velocidad disminuye y viceversa.

En los vehículos de ruedas, el tiro se mide por la fuerza de tracción o agarre, que es la fuerza disponible entre el neumático y el suelo para mover el vehículo hacia delante.

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

POTENCIA



Fuerza de tracción

Los fabricantes de equipos proporcionan curvas de Fuerza de Tracción versus Velocidad, en la cual con parámetros como el peso bruto del vehículo (PBV) y resistencia total (RT), podemos encontrar la fuerza de tracción en las ruedas, marcha y velocidad del vehículo.

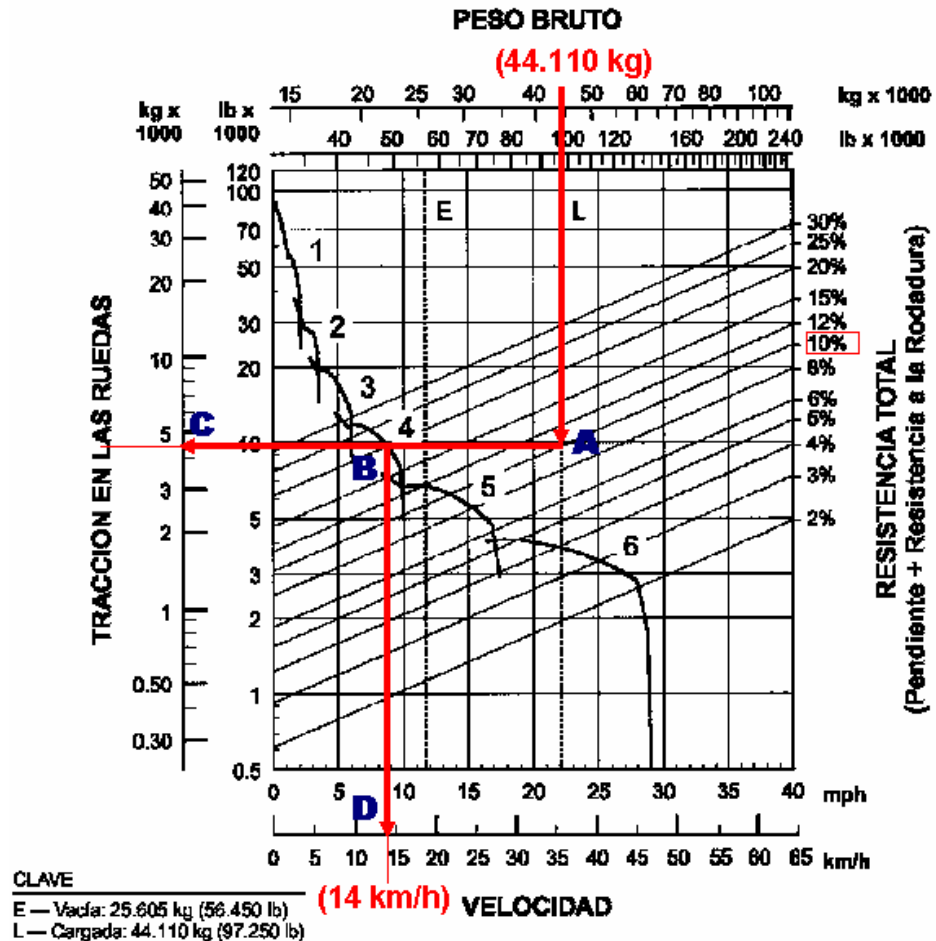
En la curva de tracción vs. Velocidad, se da un ejemplo de cómo buscar la potencia disponible o fuerza de tracción, la marcha y la velocidad con la que subiría un vehículo en una pendiente efectiva del 10% y un peso bruto de 44.110 Kg.

Primero encuentre los 44.110 Kg en la escala del Peso Bruto del Vehículo. Después, continúe hacia abajo hasta el punto donde se une la línea de Peso y la de 10% de Resistencia Total o pendiente Efectiva (A). Continúe horizontalmente hasta el punto de intersección con la curva de marchas (B). Para encontrar la potencia disponible, muévase horizontalmente en dirección al eje vertical (C). Para encontrar la velocidad, siga hacia abajo al

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

POTENCIA

eje de Velocidad (D). En esta figura, la máquina tiene una Potencia Disponible de 4.400 Kg. Y una velocidad de 14 Km/hr.

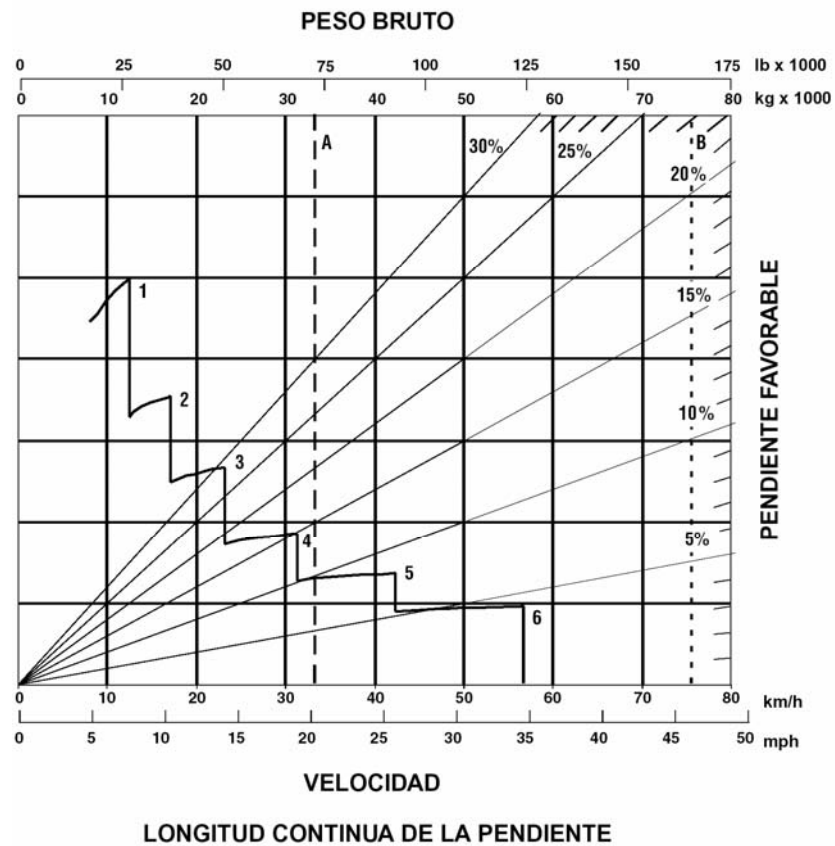


Curva de fuerza de tracción vs. Velocidad

Para vehículos que transitan por una pendiente favorable, la tracción en las ruedas no es lo que nos preocupa. Aquí se utiliza la curva de retardación de los frenos, esta curva se usa de la misma manera que la tabla de Tracción versus Velocidad.

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

POTENCIA



CLAVE

- 1 — 1a.
- 2 — 2a.
- 3 — 3a.
- 4 — 4a.
- 5 — 5a.
- 6 — 6a.

CLAVE

- A — Vacío: 33.454 kg (73.600 lb)
- B — Peso bruto máximo del vehículo:
75.700 kg (166.500 lb)

Curva de Retardación

Un factor que afecta la Potencia Disponible es la ALTITUD. A medida que esta aumenta, el aire se torna menos denso. A una altitud mayor de 1.000 metros, la falta de oxígeno reduce la potencia del motor. A medida que aumenta la altitud disminuye la potencia del motor. La Potencia Necesaria

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

POTENCIA

permanece igual a cualquier altitud, pero a medida que esta aumenta, disminuye la Potencia Disponible.

Los motores de aspiración natural, son los más afectados, en estos casos hay que tomar en cuenta una perdida del 3% por cada 300 metros a partir de los 1.000 metros de altitud. Los motores turboalimentados generalmente mantienen alta su potencia nominal a mayores elevaciones que los motores de aspiración natural, no suele haber pérdida de potencia por debajo de los 2.300 metros de altitud, los factores de pérdida de potencia.

POTENCIA UTIL

Para saber cuales son los límites que imponen las verdaderas condiciones del trabajo, tenemos que determinar si toda la potencia disponible es realmente utilizable.

La potencia utilizable depende de la tracción y la altitud. La tracción es la acción de agarre entre las ruedas o carriles y una superficie, varia de acuerdo con el peso sobre las ruedas propulsadas o los carriles y el tipo de superficie sobre el cual trabaja la máquina, el máximo de potencia disponible está esencialmente limitado por el peso de las ruedas propulsadas o en el caso de los vehículos de carriles por el peso total de la máquina. Una máquina no puede desarrollar más kilogramos de tiro que el peso que está sobre sus ruedas propulsadas o carriles.

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

POTENCIA

Por ejemplo si un camión se ha diseñado de modo que el 55% del peso bruto del vehículo este sobre las ruedas propulsadas, la tracción máxima utilizable no podrá exceder el 55% del peso bruto del vehículo, lamentablemente no es frecuente que toda la potencia disponible de una máquina se pueda utilizar en el trabajo, la tracción o las condiciones del suelo, determinan la parte de los kilogramos de tiro que se puede transferir efectivamente a la superficie sobre la cual trabaja la máquina, el efecto sobre un tipo específico de condiciones del suelo, se puede determinar usando un coeficiente de tracción, el cual es la relación que existe entre el número de kilogramos de tiro que una máquina puede desarrollar, antes que los carriles o las ruedas comiencen a patinar con el peso total sobre los carriles o de las ruedas propulsadas.

$$\text{Coeficiente de Tracción} = \frac{\text{Kg. de tiro antes que las ruedas patinen}}{\text{Peso sobre las ruedas propulsoras}}$$

Por ejemplo, si un camión desarrolla 40.000 Kg de peso sobre sus ruedas propulsadas y las ruedas comienzan a patinar cuando están desarrollando 20.000 Kg de tiro, el coeficiente de tracción para el material de esa superficie sería de 20.000 Kg. / 40.000 Kg. es decir 0,50, si la Potencia Necesaria excede los 20.000 Kg. la máquina no podrá moverse porque las ruedas propulsadas patinarían.

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

POTENCIA

La tabla que se muestra a continuación da los coeficientes de tracción para ruedas propulsadas y carriles sobre varias superficies. Utilizando los coeficientes de tracción y el peso sobre las ruedas propulsadas podemos calcular la potencia utilizable en kilogramos.

Potencia útil = Coeficiente de tracción x Peso sobre las Propulsoras

COEFICIENTES APROXIMADOS DE LOS FACTORES DE TRACCION

MATERIAL	FACTORES DE TRACCION	
	Neumáticos	Cadenas
Hormigón	0,90	0,45
Marga arcillosa, seca	0,55	0,90
Marga arcillosa, mojada	0,45	0,70
Marga arcillosa con surcos	0,40	0,70
Arena seca	0,20	0,30
Arena mojada	0,40	0,50
Canteras	0,65	0,55
Camino de grava suelta	0,36	0,50
Nieve compacta	0,20	0,27
Hielo	0,12	0,12
Zapatillas semicaladas		
Tierra firme	0,55	0,90
Tierra suelta	0,45	0,60
Carbón amontonado	0,45	0,60

EJEMPLO 3

Calcular la potencia útil de un Camión que tiene un Peso bruto de 100.000 Kg que transita en tierra firme.

SOLUCION

Coeficiente de tracción = 0,55

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

POTENCIA

Peso sobre las ruedas = 100.000 Kg.

Potencia útil = Coeficiente de tracción x Peso sobre las Propulsoras

Potencia útil = 0,55 x 100.000 Kg. = 55.000 Kg.

**APENDICE A3:FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA
CICLOS DE TRABAJO**

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

CICLOS DE TRABAJO

En cualquier obra, una máquina repite ciertos movimientos o ciclos: Carga, Acarreo con carga, Descarga y Retorno por otra carga. El tiempo que lleva un viaje un viaje completo es el CICLO DE TRABAJO. Una vez que se organiza el trabajo y se pone en operación, es fácil determinar el ciclo de trabajo de la máquina manteniendo una vigilancia del tiempo que lleva hacer las diferentes operaciones y obtener un promedio. Los ciclos de trabajo generalmente se miden en minutos para facilitar el cálculo.

TIEMPO DE CICLO DE TRABAJO DE LAS CARGADORAS DE RUEDAS

El tiempo básico de un cargador de ruedas es el tiempo mínimo para carga, acarreo, descarga y regreso cuando se está cargando camiones en una pila de material. A continuación detallamos cada parte del ciclo.

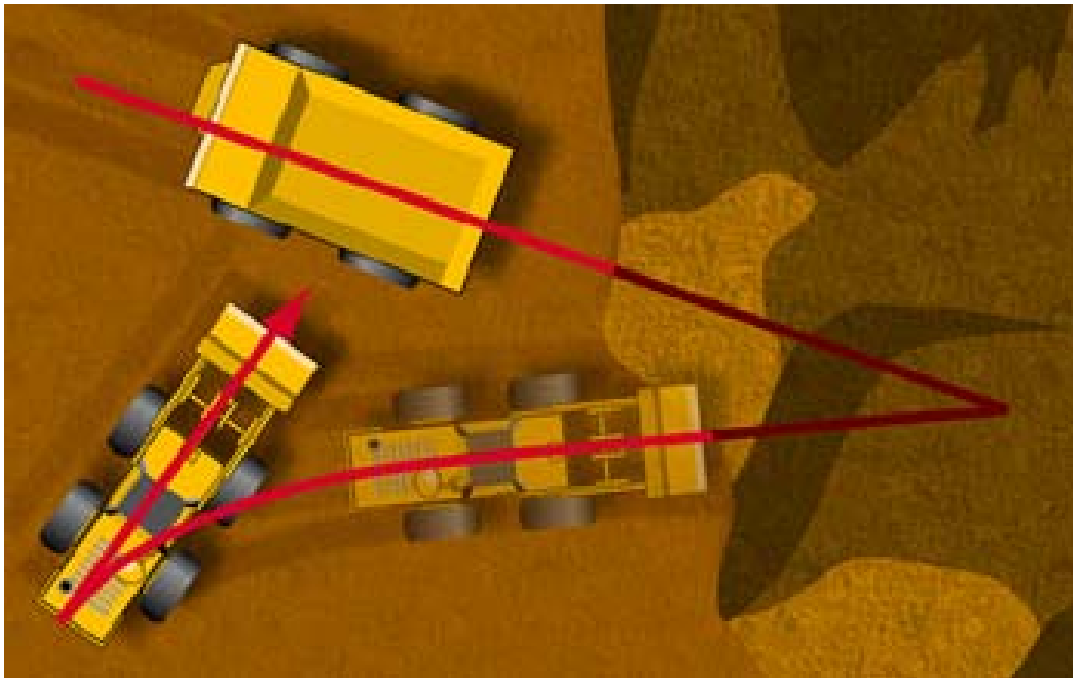
- a) Carga.-** Es el proceso de llenar el cucharón, se inicia cuando el operador empieza a penetrar la pila y termina cuando el cucharón está lleno.
- b) Acarreo con carga.-** Es el proceso de trasladar el material desde la pila hacia la tolva del camión, se inicia cuando una vez llenado el cucharón, la máquina empieza a retroceder para luego cambiar de dirección y dirigirse al camión levantando simultáneamente el cucharón, termina justamente cuando el cucharón esta sobre el riel de la tolva del camión.
- c) Descarga.-** Es el proceso de depositar el material del cucharón en la tolva del camión, se inicia cuando el operador empieza a voltear el cucharón que

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

CICLOS DE TRABAJO

está sobre el riel de la tolva del camión y termina cuando el cucharón esta totalmente vacío.

d) Retorno sin carga.- Es el proceso de regresar a la pila con el cucharón vacío, se inicia cuando una vez descargado el cucharón, el operador retrocede bajando el cucharón y separándose del camión, para luego cambiar de dirección y dirigirse hacia la pila, termina cuando el cucharón empieza a penetrar la pila.



Ciclo de trabajo de la cargadora de ruedas

Cuando se acarrea material granular suelto en un suelo duro y liso, se considera razonable un tiempo básico promedio de 0,45-0,55 minutos por ciclo

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

CICLOS DE TRABAJO

en los cargadores de ruedas con operador competente (el ciclo para cargadores grandes de 6 m³ y más, puede ser más largo). Esto comprende la carga, descarga, cuatro cambios de sentido de marcha, un ciclo completo del sistema hidráulico y un recorrido mínimo. La siguiente tabla muestra los tiempos de ciclos básicos de varios tamaños de cargadores Caterpillar.

TIEMPO DE CICLO BASICO DE CARGADORAS DE RUEDAS

TAMAÑO CUCHARON	MODELO DE CARGADORA CATERPILLAR	TIEMPO BASICO DEL CICLO
1,70 – 3,80 m ³	914 – 962	0,45 – 0,50 min
3,30 – 5,70 m ³	966 – 980	0,50 – 0,55 min
6,40 – 9,90 m ³	988 – 990	0,55 – 0,60 min
11,0 – 18,0 m ³	992 – 994	0,60 – 0,70 min

Puesto que el tipo de material, la altura de la pila y otros factores pueden elevar o reducir la producción, su efecto se debe sumar o restar del tiempo de ciclo básico. Las siguientes tablas, muestran valores de muchos elementos variables que se basan en operaciones normales. Al sumar o restar los tiempos variables se obtendrá el tiempo total del ciclo básico.

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

CICLOS DE TRABAJO

Factores de corrección de tiempos que se deben restar o sumar del ciclo básico, para obtener el tiempo total del ciclo de las cargadoras de ruedas.

*Minutos a sumar (+)
o a restar (-) del ciclo
básico*

Máquina	
– Manipulador de materiales	- 0,05
Materiales	
– Mezclados	+ 0,02
– Hasta 3 mm (1/8 pulg)	+ 0,02
– De 3 mm (1/8) pulg) a 20 mm (3/4 pulg)	- 0,02
– De 20 mm (3/4) pulg) a 150 mm (6 pulg)	0,00
– Más de 150 mm (6 pulg)	+ 0,03 y más
– Banco o fracturado	+ 0,04 y más
Pila	
– Apilado por Transportador o Topadora a más de 3 m (10 pies)	0,00
– Apilado por Transportador o Topadora a menos de 3 m (10 pies) ...	+ 0,01
– Descargado por camión	+ 0,02
Varios	
– Mismo propietario de camiones y cargadores	Hasta - 0,04
– Propietario independiente de camiones	Hasta + 0,04
– Operación constante	Hasta - 0,04
– Operación intermitente	Hasta + 0,04
– Punto de carga pequeño	Hasta + 0,04
– Punto de carga frágil	Hasta + 0,05

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

CICLOS DE TRABAJO

EJEMPLO 4

Calcule el tiempo del ciclo de trabajo de una cargadora 992D, que trabaja cargando camiones de un mismo propietario, el material es roca fracturada y el banco es apilado por una topadora a menos de 3 metros.

SOLUCION

Ciclo Básico	0,65 min.
Banco o fracturado	0,04 min.
Apilado por topadora a menos de 3 metros	0,01 min.
Camiones de un mismo propietario	<u>-0,04 min.</u>
Total ciclo de trabajo	0,66 min.

TIEMPO DE CICLO DE TRABAJO DE LOS CAMIONES DE OBRAS

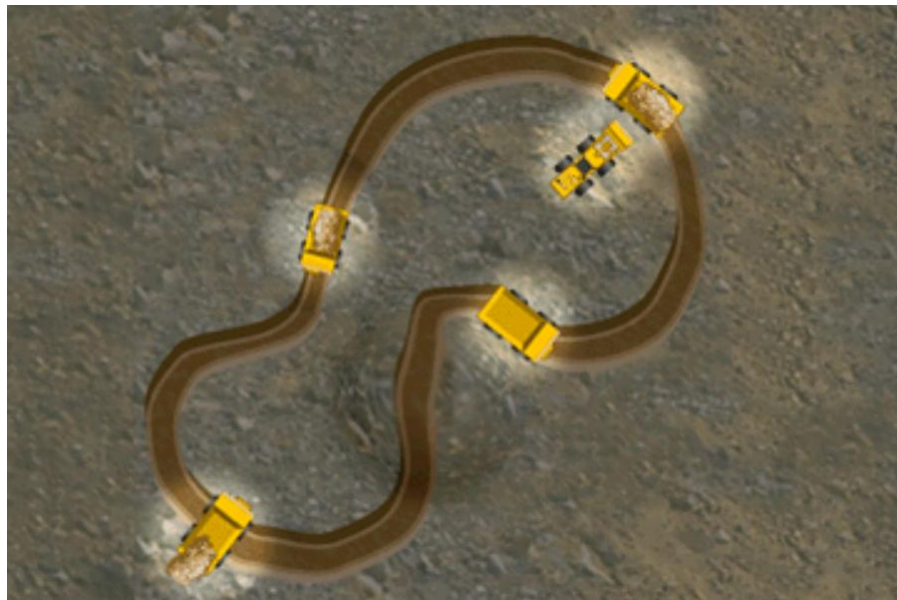
El ciclo de un camión es un viaje completo de ida y regreso para completar un pase de trabajo. A continuación detallamos cada parte del ciclo.

e) Carga.- Es el proceso de llenado o carga de la tolva del camión, se inicia cuando el camión vacío se coloca en la posición indicada por el operador de la cargadora y esta justamente empieza a descargar, termina luego de un determinado número de descargas del cucharón de la cargadora, suficiente como para que la tolva del camión se llene hasta su capacidad nominal, estas pueden ser entre 3 y 5 pasadas.

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

CICLOS DE TRABAJO

- f) **Acarreo con carga.-** Es el proceso de trasladar el material cargado en la tolva hacia un destino determinado, se inicia cuando el operador de la cargadora indica al operador del camión que la tolva está llena, termina cuando el camión entra a la zona de descarga.
- g) **Descarga.-** Es el proceso de depositar el material de la tolva en la zona de descarga, se inicia con maniobras en la zona de descarga para posicionarse y luego levantar la tolva para vaciar el material, termina cuando la tolva está totalmente vacía.
- h) **Retorno.-** Es el proceso de trasladarse desde la zona de descarga a la zona de carga con la tolva vacía, se inicia una vez que la tolva está descargada, termina cuando el camión entra a la zona de carga.



Ciclo de trabajo de los camiones de obra

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

CICLOS DE TRABAJO

Los tiempos de **carga y descarga** de los camiones se consideran “tiempos fijos”, ya que son factores relativamente constantes y que no cambian con la distancia. La mayoría de los fabricantes publican ejemplos típicos de TIEMPO FIJO de su equipo. El tiempo fijo para unidades de acarreo comprende:

1. Tiempo de carga del camión (varía según la máquina que se utilice para cargar).
2. Tiempo para el primer pase normalmente es de 0,10 minutos.
3. Maniobras del camión en la zona de carga (reemplazo o cambio de camión), normalmente está entre 0,60 y 0,80 minutos.
4. Maniobra y tiempo de la descarga, normalmente está entre 1,0 y 1,2 minutos.

Los tiempos de **acarreo y retorno** se consideran “tiempos variables”. Estas partes del ciclo varían con la distancia, las pendientes, y el estado del camino de acarreo, también hay que considerar tiempos de espera y demoras. Para facilitar los análisis de producción, los fabricantes han desarrollado tablas de acarreo y retorno de los camiones, las cuales están explicadas en el apéndice A2 y se refieren a las curvas de Tracción vs. Velocidad y curvas de Retardación de camiones. De estas curvas se obtiene la velocidad del camión y con la ayuda de la fórmula de velocidad y tiempo se obtiene, ya sea el tiempo de acarreo como el de retorno.

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

CICLOS DE TRABAJO

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{Distancia}}{\text{Tiempo}}$$

Para obtener el número de camiones necesarios en una flota, se divide el tiempo del ciclo de trabajo de los camiones (incluyendo tiempo de espera y demoras) para el tiempo de carga del camión.

$$\text{Número de camiones de la flota} = \frac{\text{Tiempo del ciclo de Trabajo de los camiones}}{\text{Tiempo de carga de los camiones}}$$

EJEMPLO 5

Calcule el tiempo total de carga de un camión que es llenado por las condiciones y la cargadora del ejemplo 4. La cargadora llena el camión en 3 pases o paladas.

SOLUCION

Tiempo de intercambio y maniobras	0,70 min
Tiempo del primer pase	0,10 min
Tiempo segundo pase	0,65 min
Tiempo tercer pase	<u>0,65 min</u>
Tiempo total de carga del camión	2,10 min

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

CICLOS DE TRABAJO

EJEMPLO 6

Una flota de camiones marca Caterpillar, modelo 775D carga roca fracturada, desde una pila a una trituradora que está a 800 m de distancia. Desde la pila a la trituradora existe una pendiente adversa del 8% y una resistencia a la rodadura del 2% y los camiones utilizan la misma vía tanto para acarreo como para retorno. Asumiendo las condiciones del ejercicio 4 y 5, calcule:

- a) Tiempo de acarreo
- b) Tiempo de retorno
- c) Tiempo del ciclo de trabajo, asumiendo un tiempo de espera de 0.50 min
- d) Cuanto sería el número de camiones que debería tener la flota

SOLUCION

a) Tiempo de acarreo

Peso bruto máximo del vehículo	106.594 Kg
Resistencia total	10,00 %
Velocidad del camión	14,00 Km / hr
Distancia de acarreo	0,80 Km

$$\text{Tiempo de acarreo} = \frac{\text{Distancia}}{\text{Velocidad}} = \frac{0,80}{14,00} = 0,057 \text{ hrs} = \mathbf{3,43 \text{ min}}$$

b) Tiempo de retorno

Peso vacío del vehículo	43.953 Kg
Resistencia total	6,00 %

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

CICLOS DE TRABAJO

Velocidad del camión	40,00 Km / hr
Distancia de acarreo	0,80 Km

$$\text{Tiempo de acarreo} = \frac{\text{Distancia}}{\text{Velocidad}} = \frac{0,80}{40,00} = 0,020 \text{ hrs} = \mathbf{1,20 \text{ min}}$$

c) Tiempo del ciclo de trabajo

Tiempo de carga	2,10 min
Tiempo de acarreo	3,42 min
Tiempo de descarga	1,10 min
Tiempo de retorno	1,20 min
Tiempo de espera	<u>0,50 min</u>
Tiempo total del ciclo de trabajo	8,32 min

d) Cuanto sería el número de camiones que debería tener la flota

$$\text{Número de camiones de la flota} = \frac{\text{Tiempo del ciclo de Trabajo de los camiones (min)}}{\text{Tiempo de carga de los camiones (min)}}$$

$$\text{Número de camiones de la flota} = \frac{8,32}{2,10} = 3,96$$

$$\text{Número de camiones de la flota} = 4$$

**APENDICE A4: FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA
CALCULOS DE PRODUCCIÓN**

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

CALCULOS DE PRODUCCION

Comúnmente, el rendimiento de una máquina se mide estableciendo una relación entre la producción por hora y los costos de posesión y operación de la máquina. El rendimiento óptimo de una máquina se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Costo más bajo por Tonelada} = \frac{\text{Costo por hora más bajo posible}}{\text{producción por hora más alta posible}}$$

En la mayoría de las aplicaciones de movimiento de tierra y manejo de materiales, la producción se calcula multiplicando la cantidad de material (carga) movido por ciclo por el número de ciclos por hora.

$$\text{Producción} = \text{Carga/ciclo} \times \text{ciclos/hora}$$

La carga se mide de las siguientes formas:

- 1) Pesándola
- 2) Calculándola en función de la capacidad de la máquina
- 3) Dividiendo el volumen por el número de cargas

Comúnmente, el movimiento de tierras y el traslado de material en minas de carbón se calculan por volumen (m³b). Los que trabajan minas de metal y los

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

CALCULOS DE PRODUCCION

productores de áridos trabajan, generalmente, con medidas de peso (toneladas métricas o Mton EE.UU.).

El método más exacto para determinar la carga acarreada es pesándola. En los vehículos de acarreo, esto se hace usualmente midiendo separadamente con básculas portátiles el peso sobre cada rueda eje. Puede utilizarse cualquier báscula de capacidad y exactitud adecuadas. Al pesar, la máquina debe estar relativamente horizontal, a fin de reducir los errores. Se debe efectuar el número suficiente de pesadas, a fin de obtener un término medio correcto. El peso total de la máquina suma de los pesos parciales sobre las ruedas o ejes.

Para determinar el peso de la carga, se resta el peso del vehículo vacío del peso bruto total.

$$\text{Peso de la carga} = \text{Peso bruto del vehículo} - \text{peso del vehículo vacío}$$

Para determinar el volumen en metros cúbicos en banco del material que acarrea una máquina, se divide el peso de carga por la densidad del material en banco.

$$\text{m}^3 \text{ banco} = \frac{\text{Peso de la carga}}{\text{Densidad en banco}}$$

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

CALCULOS DE PRODUCCION

FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCCION

Eficiencia en la Obra — La eficiencia en el trabajo es uno de los elementos más complicados para estimar la producción, pues influyen factores tales como la pericia del operador, las reparaciones pequeñas y los ajustes, las demoras del personal y los retrasos a causa del plan de trabajo. Damos a continuación cifras aproximadas sobre eficiencia, si no hay disponibles datos obtenidos en el trabajo.

FACTORES DE EFICIENCIA DEL TRABAJO

Operación	Minutos por hora	Factor de Eficiencia
Trabajo Diurno	50 min/hora	0,83
Trabajo Nocturno	45 min/hora	0,75

Estos factores no toman en cuenta las demoras a causa del mal tiempo ni las paralizaciones por mantenimiento y reparaciones. Cuando se hagan los cálculos, hay que utilizar dichos factores de acuerdo con la experiencia y las condiciones locales.

Disponibilidad mecánica.- Es la relación entre las horas reales trabajadas por una máquinas y las horas programadas.

$$\text{Disponibilidad (\%)} = \frac{\text{Horas Trabajadas}}{\text{Horas Programadas}} \times 100$$

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

CALCULOS DE PRODUCCION

CALCULOS DE PRODUCCION EN UNA FLOTA DE MAQUINAS

A) CALCULOS DE PRODUCCION DE LA CARGADORA DE RUEDAS

- 1)
$$\text{Carga útil del cucharón} = \text{Capacidad colmada del cucharón} \times \text{factor de llenado del cucharón}$$
- 2)
$$\text{Carga del camión por ciclo} = \text{Carga útil del cucharón} \times \text{Numero de pasadas}$$
- 3)
$$\text{Número de camiones cargados por hora} = 60 / \text{Tiempo de carga de camiones}$$
- 4)
$$\text{Producción de la cargadora al 100\% de eficiencia} = \text{Carga del camión por ciclo} \times \text{Número de camiones cargados por ciclo}$$
- 5)
$$\text{Producción real de la cargadora} = \text{Producción de la cargadora al 100\% de eficiencia} \times \text{Eficiencia de la obra} \times \text{Disponibilidad}$$

B) CALCULOS DE PRODUCCION DE LOS CAMIONES

- 1)
$$\text{Ciclos por hora de un camión} = 60 / \text{Tiempo de ciclo del camión}$$
- 2)
$$\text{Producción por horas de un camión} = \text{Carga del camión por ciclo} \times \text{Ciclos por hora de un camión}$$

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

CALCULOS DE PRODUCCION

$$3) \text{ Producción por hora de la flota} = \text{Producción por horas de un camión} \times \text{Número de camiones de la flota}$$

$$4) \text{ Producción real de la flota} = \text{Producción por hora de la flota} \times \text{Eficiencia de la obra} \times \text{Disponibilidad}$$

**APENDICE A5: FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA
COSTOS DE POSESION Y OPERACION**

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

COSTOS POSESION Y OPERACION

La producción es importante porque el material movido representa ingresos. Pero los costos son importantes también porque ingresos menos costos equivalen a ganancias. Mantener un registro preciso de los costos puede ayudar a determinar el costo de trabajos futuros.

Las máquinas tienen dos tipos de costos: los **COSTOS DE POSESION** que son constantes o “fijos” ya sea que la máquina trabaje o no y los **COSTOS DE OPERACIÓN**, relacionados directamente con la operación de la máquina. Levando un registro preciso de estos costos, se puede tomar mejores decisiones de administración y obtener por esto mejores ganancias.

Los **COSTOS DE OPERACIÓN** dependen de las horas que la máquina trabaja, como se utiliza y el mantenimiento que recibe. Las estimaciones del consumo de combustible, los defectos de la aplicación, los costos de lubricación, etc., los debe obtener fabricante

La siguientes planillas de cálculos de posesión y operación de la máquina, le ayuda a obtener la información necesaria para calcular los costos.

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

COSTOS POSESION Y OPERACION

TIEMPO DE POSESION

Máquina
Período estimado de posesión (años)
Utilización estimada (horas/año)
Tiempo de posesión (total de horas)

COSTOS DE POSESION

1. Valor de la depreciación

a. Precio de entrega (incluyendo accesorios)
a1. Otros Costos
b. Menos el costo de reemplazo de los neumáticos
c. Precio de entrega menos neumáticos
d. Menos valor residual al reemplazo
e. Valor a recobrar mediante el trabajo
f. Costo por hora:

$$\frac{\text{Valor}}{\text{Horas}} = \frac{\text{.....}}{\text{.....}} = \boxed{\text{.....}}$$

2. Costo de Intereses

N = No. de años

$$\frac{N + 1}{2N} \times \frac{\text{Precio de Entrega}}{\text{Horas/Año}} \times \frac{\% \text{ de tasa de Interés Simple}}{\text{.....}}$$

$$\frac{+ 1}{\text{.....}} \times \text{.....} \times \text{.....}\% = \boxed{\text{.....}}$$

3. Seguro

N = No. de años

$$\frac{N + 1}{2N} \times \frac{\text{Precio de Entrega}}{\text{Horas/Año}} \times \frac{\% \text{ de tasa de Seguro}}{\text{.....}}$$

$$\frac{+ 1}{\text{.....}} \times \text{.....} \times \text{.....}\% = \boxed{\text{.....}}$$

4. Impuestos

N = No. de años

$$\frac{N + 1}{2N} \times \frac{\text{Precio de Entrega}}{\text{Horas/Año}} \times \frac{\% \text{ de tasa de Impuesto}}{\text{.....}}$$

$$\frac{+ 1}{\text{.....}} \times \text{.....} \times \text{.....}\% = \boxed{\text{.....}}$$

$$\text{TOTAL COSTOS DE POSESION} = \boxed{\text{.....}}$$

FUNDAMENTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

COSTOS POSESION Y OPERACION

COSTOS DE OPERACIÓN

1. Combustible:

$$\begin{array}{rcccl} \text{Precio Unitario} & \times & \text{Consumo} & & \\ \text{-----} & \times & \text{-----} & = & \end{array}$$

2. Lubricantes, Filtros, Grasas:

$$\begin{array}{rcccl} \text{Costo de} & & \text{Costo de} & & \\ \text{Materiales} & + & \text{Mano/Obra} & & \\ \text{-----} & + & \text{-----} & = & \end{array}$$

3. Neumáticos

$$\frac{\text{Costo}}{\text{Duración}} = \text{-----} =$$

4. Reservas para reparaciones:

$$\begin{array}{rcccl} \text{Mult. De Uso} & & \text{Fac. de Rep.} & & \\ \text{Prolongado} & \times & \text{Básica} & & \\ \text{-----} & \times & \text{-----} & = & \end{array}$$

5. Elementos de Desgaste Especial:

$$\frac{\text{Costo}}{\text{Duración}} = \text{-----} =$$

6. Salario horario del operador

$$=$$

COSTOS TOTALES DE OPERACIÓN

$$=$$

APENDICE B: ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS

ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS

EQUIPOS DE CARGA

CARGADORA DE RUEDAS	1	2
MARCA	Caterpillar	Caterpillar
MODELO	992C	992D
AÑO DE FABRICACION	1991	1996
POTENCIA EN EL VOLANTE (Kw)	690	690
PESO EN ORDEN DE TRABAJO (Kg)	90.724	87.810
DIMENSIONES PRINCIPALES DE LA MAQUINA		
Altura hasta el techo (m)	5,49	5,49
Longitud total (m)	13,57	13,13
Ancho (inclusive neumáticos) (m)	4,50	4,50
CARACTERISTICAS DEL CUCHARON		
Tipo	Rocas/Modulok	Rocas/Modulok
Capacidad colmada (m ³)	9,94	10,7
Carga nominal (Kg)	21.485	23,63
TAMAÑO DE NEUMATICOS	45/65-45 / L-5	45/65-45 / L-5

EQUIPOS DE ACARREO

CAMION DE OBRAS	1, 2 y 3	4 y 5	6
MARCA	Caterpillar	Caterpillar	Caterpillar
MODELO	773B	775B	775D
AÑO DE FABRICACION	1886	1995	1996
POTENCIA EN EL VOLANTE (Kw)	485	485	517
PESO APROXIMADO VEHICULO (Kg)	39.295	42.324	43.953
CAPACIDAD (MTons)	49,6	60,0	60,0
CAPACIDAD (m ³)	34,1	39,3	41,5
DIMENSIONES PRINCIPALES			
Ancho (m)	4,65	4,91	5,08
Longitud total (m)	9,27	9,47	9,78
Altura (m)	4,23	4,40	4,33
Altura de carga (m)	3,69	3,86	3,97
TAMAÑO DE NEUMATICOS	21.00R35	24.00R35	24.00R35

ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS

TRACTOR DE CADENAS

MARCA	Caterpillar
MODELO	D10
AÑO DE FABRICACION	1985
POTENCIA EN EL VOLANTE (Kw)	522
PESO EN ORDEN DE TRABAJO (Kg)	79.619
DIMENSIONES PRINCIPALES	
Ancho (m)	3,61
Longitud total (m)	7,57
Altura (m)	4,52
CARACTERISTICAS DE LA HOJA	
Tipo	SU
Capacidad (m ³)	18,5

MOTONIVELADORA

MARCA	Caterpillar
MODELO	140G
AÑO DE FABRICACION	1996
POTENCIA EN EL VOLANTE (Kw)	112
PESO EN ORDEN DE TRABAJO (Kg)	14.102
DIMENSIONES PRINCIPALES	
Ancho (m)	2,44
Longitud total (m)	8,33
Altura (m)	3,12
ANCHO DE LA HOJA (m)	3,66

ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS

CAMION CISTERNA

MARCA	Mack
MODELO	RD600
AÑO DE FABRICACION	1996
POTENCIA EN EL VOLANTE (Kw)	112
PESO EN ORDEN DE TRABAJO (Kg)	14.102
DIMENSIONES PRINCIPALES	
Ancho (m)	2,44
Longitud total (m)	8,33
Altura (m)	3,12

COMPACTADOR DE SUELO DE TAMBOR LISO VIBRATORIO

MARCA	Ingersol Rand
MODELO	SD-100
AÑO DE FABRICACION	1994
POTENCIA EN EL VOLANTE (Kw)	108
PESO EN ORDEN DE TRABAJO (Kg)	10.206
DIMENSIONES PRINCIPALES	
Ancho (m)	2,44
Longitud total (m)	5,26
Altura (m)	2,67
ANCHO DEL TAMBOR (m)	2,13

APENDICE C: DESCRIPCION DE LOS CAMINOS DE ACARREO

DESCRIPCION DE LOS CAMINOS DE ACARREO

FRENTE DE TRABAJO "A"

Camino de acarreo

Sección del camino	Distancia (mts)	Resistencia a la rodadura (%)	Pendiente (%)
1	200	5	0,0
2	99	5	8,0
3	650	5	-9,4
4	39	5	0,0
5	99	5	-9,4
6	50	5	0,0

Camino de retorno

Sección del camino	Distancia (mts)	Resistencia a la rodadura (%)	Pendiente (%)
1	50	5	0,0
2	99	5	9,4
3	39	5	0,0
4	650	5	9,4
5	99	5	-8,0
6	200	5	0,0

FRENTE DE TRABAJO "B"

Camino de acarreo

Sección del camino	Distancia (mts)	Resistencia a la rodadura (%)	Pendiente (%)
1	230	5	0,0
2	369	5	2,0
3	50	5	10,0
4	99	5	6,0
5	129	5	6,0
6	50	5	0,0

Camino de retorno

Sección del camino	Distancia (mts)	Resistencia a la rodadura (%)	Pendiente (%)
1	50	5	0,0
2	129	5	-6,0
3	99	5	-6,0
4	50	5	-10,0
5	369	5	-2,0
6	230	5	0,0

APENDICE D: EVALUACIONES

APENDICE D1: EVALUACION PRACTICA #1

EVALUACION PRACTICA DE OPERACION # 1- CARGADORAS DE RUEDAS

NOMBRE: _____

FECHA: _____

PROCEDIMIENTOS DE SEGURIDAD ANTES Y DURANTE LA OPERACION (15 Puntos)

	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>TOTAL</u>
1.- Cuando sube y baja de la máquina, lo hace con tres puntos de contacto y de frente utilizando escaleras y pasamanos	☐	☐	☐	_____
2.- Utiliza cinturón de seguridad, ajusta el asiento antes de la operación y revisa la guía de operación	☐	☐	☐	_____
3.- Acciona el freno de parqueo, coloca la palanca dela transmisión en nuetro y baja los implementos al suelo, cuando se baja del equipo	☐	☐	☐	_____
4.- Mira hacia atrás cuando retrocede	☐	☐	☐	_____
5.- Utiliza la bocina para arrancar el motor, iniciar el movimiento de la máquina e indicar a las personas que se alejen	☐	☐	☐	_____
	TOTAL			_____

APENDICE D2:EVALUACION PRACTICA #2

EVALUACION PRACTICA DE OPERACION # 2- CARGADORAS DE RUEDAS

NOMBRE: _____

FECHA: _____

INSPECCIONES ANTES DE LA OPERACIÓN Y PROCEDIMIENTOS DE ARRANQUE Y PARADA (15 Puntos)

- 1.- Realiza inspecciones visuales alrededor del equipo antes de la operación
- 2.- Revisa todos los niveles de fluidos asegurandose de limpiar los medidores y tapas
- 3.- Arranca el equipo y espera 5 minutos a que el motor se caliente, revisando los medidores e indicadores y calentando también el sistema hidráulico
- 4.- Despues de la jornada de trabajo espera 5 minutos a que se enfrie el motor, bajando todos los implementos al suelo
- 5.- Luego de apagar el equipo realiza la última inspección de este

<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>TOTAL</u>
☐	☐	☐	_____
☐	☐	☐	_____
☐	☐	☐	_____
☐	☐	☐	_____
☐	☐	☐	_____
TOTAL			_____

APENDICE D3:EVALUACION PRACTICA #3

EVALUACION PRACTICA DE OPERACION # 3- CARGADORAS DE RUEDAS

NOMBRE: _____

FECHA: _____

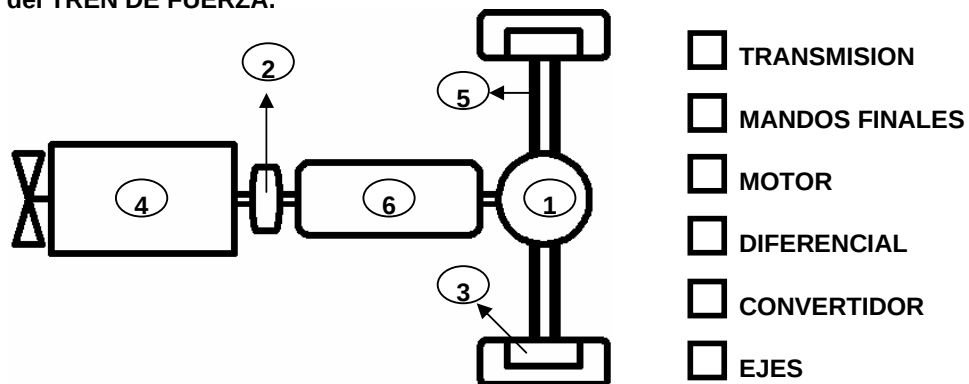
APLICACIÓN DE LAS TECNICAS CORRECTAS DE OPERACION (60 Puntos)

	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>TOTAL</u>
1.- Ataca la pila con el cucharón a ras del suelo sin ejercer excesiva presión	☐	☐	☐	☐	☐	_____
2.- Mantiene recta la cargadora cuando penetra en la pila (sin articular)	☐	☐	☐	☐	☐	_____
3.- La penetración del cucharón en la pila lo hace sin sobrecargar el motor y evita el patinaje o giro en falso de los neumáticos	☐	☐	☐	☐	☐	_____
4.- Los neumáticos no suben en la pila ni el operador pelea con esta	☐	☐	☐	☐	☐	_____
5.- Utiliza primera marcha para penetrar la pila y segunda marcha para salir de esta	☐	☐	☐	☐	☐	_____
6.- Obtiene altos factores de llenado en el proceso de carga del cucharón	☐	☐	☐	☐	☐	_____
7.- Usa entre 1 y 1 1/2 revoluciones del neumáticos cuando retrocede con el cucharón cargado	☐	☐	☐	☐	☐	_____
8.- Obtiene máxima estabilidad y visibilidad en el acarreo	☐	☐	☐	☐	☐	_____
9.- Mantiene óptimas velocidades de acarreo y equilibra la velocidad de desplazamiento y levantamiento hidráulico	☐	☐	☐	☐	☐	_____
10.- Posiciona adecuadamente el camión en ángulo de 45° con respecto al frente, utilizando el patrón en "V", espera con el cucharón lleno de material y listo para cargar y utiliza la bocina para ubicar al camión e indicarle cuando esta lleno.	☐	☐	☐	☐	☐	_____
11.- Deposita la carga en el centro de la tolva del camión y descarga de adelante hacia atrás, manteniendo solo la altura suficiente para depositarlo en la tolva	☐	☐	☐	☐	☐	_____
12.- Posee la habilidad para mantener el área de trabajo limpio y uniforme, sin grandes piedras ni baches, ligeramente en declive para lograr un drenaje adecuado	☐	☐	☐	☐	☐	_____
	TOTAL FINAL					_____

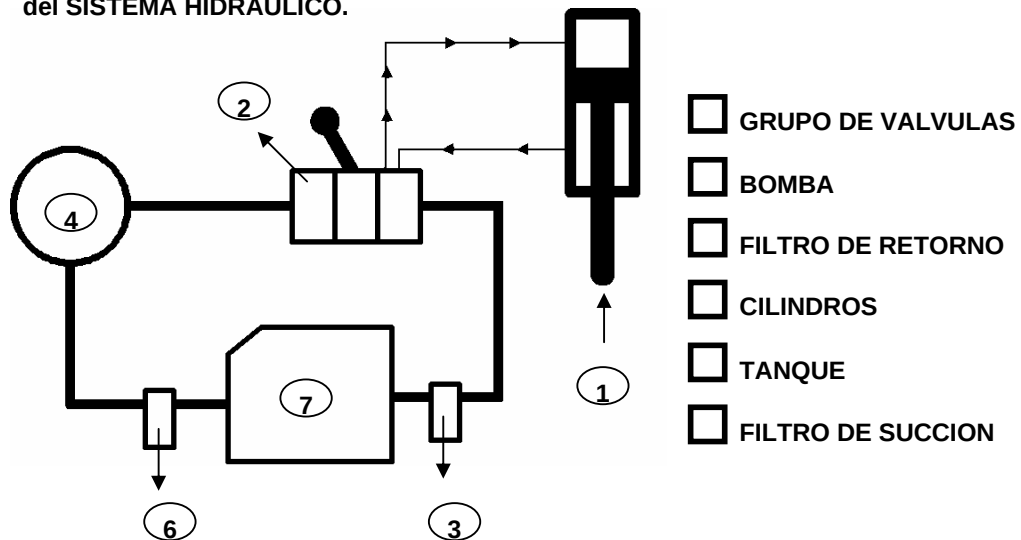
APENDICE D4: EVALUACION TEORICA #1

COMPONENTES PRINCIPALES DE LA MAQUINA

1.- Ponga el número que corresponda en cada uno de los cuadros de los componentes del TREN DE FUERZA.



2.- Ponga el número que corresponda en cada uno de los cuadros de los componentes del SISTEMA HIDRAULICO.



APENDICE D5: EVALUACION TEORICA #2

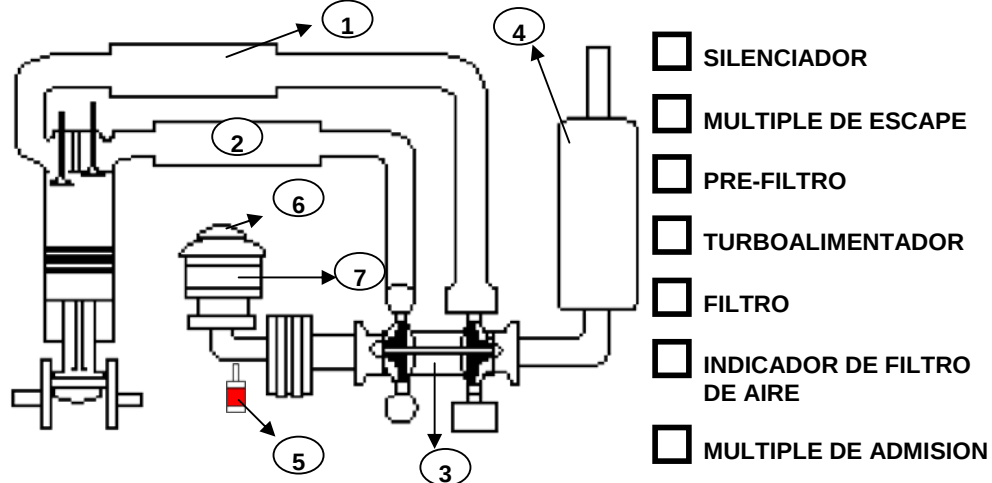
EVALUACION TEORICA # 2

COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DEL MOTOR

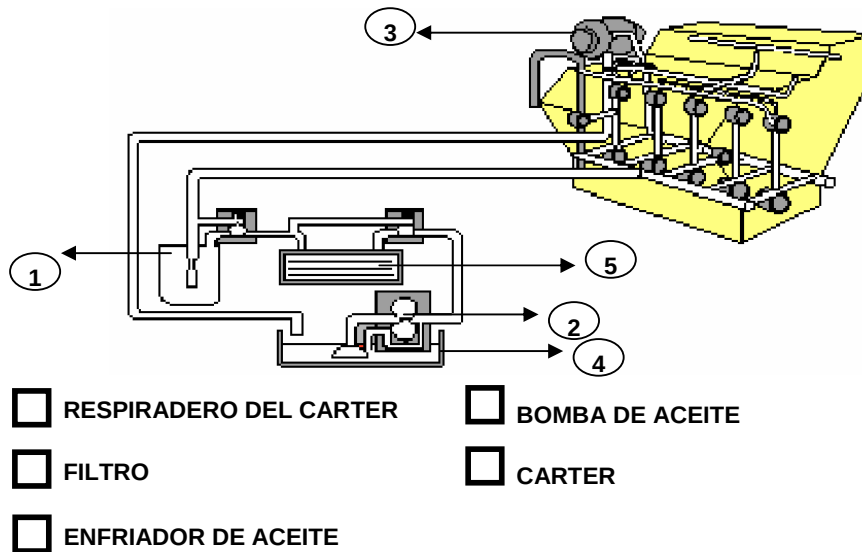
NOMBRE: _____

FECHA : _____

1.- Ponga el número que corresponda en cada uno de los cuadros de los componentes del SISTEMA DE ADMISION Y ESCAPE



2.- Ponga el número que corresponda en cada uno de los cuadros de los componentes del SISTEMA DE LUBRICACION



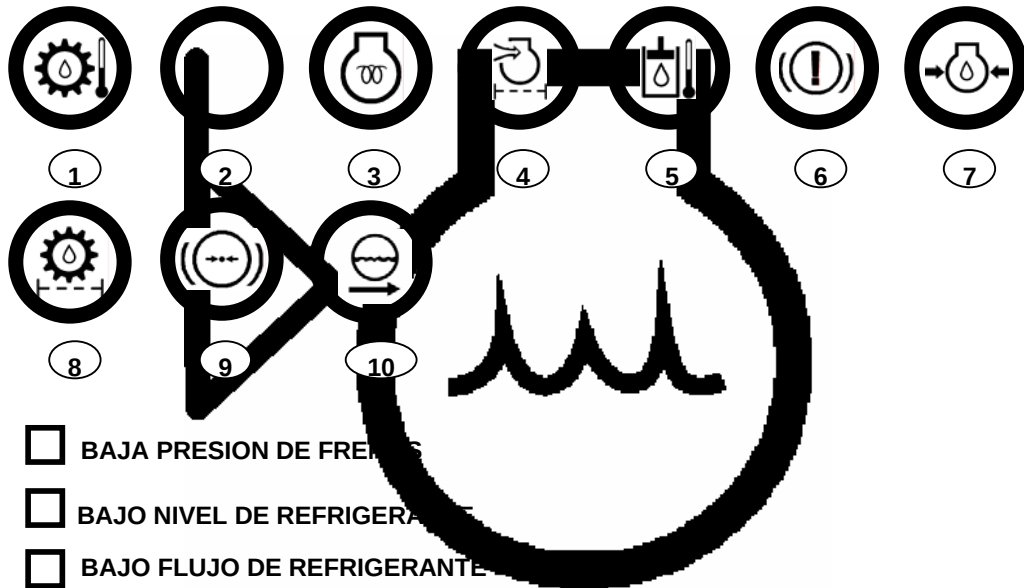
APENDICE D6: EVALUACION TEORICA #3

EVALUACION TEORICA # 3

IDENTIFICACION DE LOS SIMBOLOS DE ADVERTENCIA

NOMBRE: _____
FECHA : _____

Ponga el número que corresponda en cada uno de los cuadros



- ☐ BAJA PRESION DE FRENO
- ☐ BAJO NIVEL DE REFRIGERANTE
- ☐ BAJO FLUJO DE REFRIGERANTE
- ☐ ALTA TEMPERATURA DEL ACEITE DE LA TRANSMISION
- ☐ BAJO NIVEL DE LIQUIDO DE FRENOS
- ☐ FILTRO DE AIRE DEL MOTOR OBSTRUIDO
- ☐ PRECALENTADOR DE AIRE DE ADMISION ACCIONADO
- ☐ FILTRO DE LA TRANSMISION OBSTRUIDO
- ☐ ALTA TEMPERATURA DEL ACEITE HIDRAULICO
- ☐ BAJA PRESION DE ACEITE

APENDICE D7: EVALUACION TEORICA #4

EVALUACION TEORICA # 4

SISTEMA DE MONITOREO

NOMBRE : _____

FECHA : _____

1. El sistema de monitoreo, alerta o advierte al operador por cualquier falla en los sistemas de las máquinas.

Verdadero _____

Falso _____

2. Cuantos niveles de advertencia contiene el sistema de monitoreo de la cargadora de ruedas 992D.

- a. 4
- b. 2
- c. 3
- d. Ninguno

3. Como debe reaccionar el operador si el sistema de monitoreo de la máquina se manifiesta de la siguiente forma: **a) Suena la alarma de acción. b) Se acciona la luz de falla (roja). c) Se acciona una luz indicadora de falla.**

- a. Puede seguir operando el equipo
- b. Debe apagar inmediatamente el equipos en una posición segura
- c. Debe cambiar su forma de operar

EXAMEN TEORICO # 4

4. Como debe reaccionar el operador si el sistema de monitoreo de la máquina se manifiesta de la siguiente forma: **a) Se acciona la luz de falla (roja). b) Se acciona una luz indicadora de falla.**
 - a. Puede seguir operando el equipo
 - b. Debe apagar inmediatamente el equipos en una posición segura
 - c. Debe cambiar su forma de operar

5. Como debe reaccionar el operador si el sistema de monitoreo de la máquina se manifiesta de la siguiente forma: **a) Se acciona una luz indicadora de falla.**
 - a. Puede seguir operando el equipo
 - b. Debe apagar inmediatamente el equipos en una posición segura
 - a) Debe cambiar su forma de operar.

APENDICE D8: EVALUACION TEORICA #5

EVALUACION TEORICA # 5

TECNICAS DE OPERACION

NOMBRE : _____

FECHA : _____

1. En la operación de Cargadoras de Ruedas mantener el suelo limpio y nivelado hace que la carga sea rápida, eficiente y mucho más comfortable.

Verdadero_____

Falso_____

2. Para reducir los giros y la distancia que tiene que moverse la máquina, en carga de camiones, el camión debe:

- a) Colocarse a 90 grados con respecto al material que se va a cargar.
- b) Colocarse a 45 grados con respecto al material que se va a cargar.
- c) Colocarse en cualquier posición.

3. El operador del camión es quién decide el lugar donde se debe posesionar la Cargadora para empezar la carga.

Verdadero_____

Falso_____

4. Es recomendable cargar el camión por el lado opuesto al del chofer de este

Verdadero_____

Falso_____

5. Cuando hay muchos camiones en espera el operador de la cargadora debe depositar cargas cortas en un camión para ayudar a que comiencen a movilizarse.

Verdadero_____

Falso_____

EXAMEN TEORICO # 5

6. Para carga de camiones desde una pila se debe:
 - a. Atacar la pila en segunda marcha y retroceder en segunda marcha
 - b. Atacar la pila en primera marcha y retroceder en primera marcha
 - c. Atacar la pila en primera marcha y retroceder en segunda marcha
7. En la operación de carga de camiones los neumáticos del cargador no deben rotar mas de:
 - a. 2 a 2 ½ veces en ambas direcciones
 - b. 1 ½ a 2 veces en ambas direcciones
 - c. 1 a 1 ½ veces en ambas direcciones
8. Siempre el operador debe atacar la pila de la siguiente forma
 - a. Articulado y en primera marcha
 - b. Recto y en segunda marcha
 - c. Recto y en primera marcha
9. Cuando se carga un camión en tres pasadas el orden de carga debe ser:
 - a. Primer palada al centro, segunda adelante, tercera atrás
 - b. Primer palada adelante, segunda atrás, tercera al centro
 - c. No importa el orden de carga
10. A que altura de la pila se debe penetrar el cucharón:
 - a. 50% de altura del cucharón
 - b. A nivel del suelo
 - c. A 40 cm del nivel del suelo

**APENDICE E: COSTOS POR HORA DE POSESION Y
OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS**

APENDICE E1: COSTOS POR HORA DE LOS EQUIPOS

COSTOS POR HORA DE POSESION Y OPERACIÓN

COSTOS POR HORA DE CADA EQUIPO (Dólares por hora - \$ /hr)

Condiciones iniciales

MAQUINA	CAMION 773B	CAMION 775B / 775D	CARGADORA 992C / 992D	TRACTOR D10	MOTONIVELADORA 140G	RODILLO COMPACTADOR	CAMION CISTERNA
Costos total de Posesión	73,31	73,04	103,88	100,22	25,00	12,42	11,07
Costos de operación							
Combustible	13,58	15,79	34,25	33,73	6,25	4,14	3,69
Lubricantes, filtros y grasas	6,78	7,18	13,70	19,27	3,75	0,92	0,82
Neumáticos	6,52	6,31	15,98		3,13	2,30	2,05
Reparaciones							
Repuestos	19,01	25,40	41,46	72,28	9,37	10,58	9,43
Herramientas de corte (cargadoras)			4,19				
Mano de obra (incluye operador)	14,92	15,78	14,84	15,42	15,00	15,64	13,94
Costo total de Operación	60,81	70,46	124,42	140,70	37,50	33,58	29,93
COSTO TOTAL DE POSESION Y OPERACIÓN	134,12	143,50	228,30	240,92	62,50	46,00	41,00

Condiciones actuales

MAQUINA	CAMION 773B	CAMION 775B / 775D	CARGADORA 992C / 992D	TRACTOR D10	MOTONIVELA 140G	RODILLO COMPACTADOR	CAMION CISTERNA
Costos total de Posesión	73,31	73,04	103,88	100,22	25,00	12,42	11,07
Costos de operación							
Combustible	13,58	15,79	34,25	33,73	6,25	4,14	3,69
Lubricantes, filtros y grasas	6,78	7,18	13,70	19,27	3,75	0,92	0,82
Neumáticos	5,94	5,94	14,53		3,13	2,30	2,05
Reparaciones							
Repuestos	19,01	25,40	41,46	72,28	9,37	10,58	9,43
Herramientas de corte (cargadoras)			3,93				
Mano de obra (incluye operador)	14,92	15,78	14,84	15,42	15,00	15,64	13,94
Costo total de Operación	60,23	70,09	122,71	140,70	37,50	33,58	29,93
COSTO TOTAL DE POSESION Y OPERACIÓN	133,54	143,13	226,59	240,92	62,50	46,00	41,00

Costo potencial

MAQUINA	CAMION 773B	CAMION 775B / 775D	CARGADORA 992C / 992D	TRACTOR D10	MOTONIVELA 140G	RODILLO COMPACTADOR	CAMION CISTERNA
Costos total de Posesión	73,31	73,04	103,88	100,22	25,00	12,42	11,07
Costos de operación							
Combustible	13,58	15,79	34,25	33,73	6,25	4,14	3,69
Lubricantes, filtros y grasas	6,78	7,18	13,70	19,27	3,75	0,92	0,82
Neumáticos	3,45	5,94	9,59		3,13	2,30	2,05
Reparaciones							
Repuestos	19,01	25,40	41,46	72,28	9,37	10,58	9,43
Herramientas de corte (cargadoras)			4,19				
Mano de obra (incluye operador)	14,92	15,78	14,84	15,42	15,00	15,64	13,94
Costo total de Operación	57,74	70,09	118,03	140,70	37,50	33,58	29,93
COSTO TOTAL DE POSESION Y OPERACIÓN	131,05	143,13	221,91	240,92	62,50	46,00	41,00

APENDICE E2: COSTOS POR HORA DE LAS FLOTAS

COSTOS POR HORA DE POSESION Y OPERACIÓN

COSTOS POR HORA DE LAS FLOTAS (Dólares por hora - \$ /hr)

a. Costos por hora "FRENTE A"

	Modelo	Cantidad	Costo por hora inicial	Costo por hora actual	Costo por hora potencial	Disponibilidad Mecánica
Cargadora de ruedas	992D	1	228,3	226,59	221,91	89,93%
Camión de Obras	775D	1	143,5	143,13	143,13	
Camión de Obras	775B	2	287,0	286,26	286,26	
Costo total			658,8	655,98	651,3	

b. Costos por hora "FRENTE B"

	Modelo	Cantidad	Costo por hora inicial	Costo por hora actual	Costo por hora potencial	Disponibilidad Mecánica
Cargadora de ruedas	992C	1	228,30	226,59	221,91	88,27%
Camión de Obras	773B	3	402,36	400,62	394,5	
Costo total			630,66	627,21	616,41	

c. Costo por hora máquinas de apoyo

	Modelo	Cantidad	Costo por hora inicial	Costo por hora actual	Costo por hora potencial	Disponibilidad Mecánica
Tractor de cadenas	D10	1	240,92	240,92	240,92	90,9%
Motoniveladora	140G	1	62,50	62,50	62,50	
Camión cisterna	RD600	1	41,00	41,00	41,00	
Rodillo compactador	SD-100	1	46,60	46,60	46,60	
Costo total			391,02	391,02	391,02	

Costos por hora total de los equipos	1.680,48	1.674,21	1.658,73
--------------------------------------	----------	----------	----------

**APENDICE F: HOJA DE INSPECCION DIARIA PARA
CARGADORAS DE RUEDAS**

Hoja de inspección Diaria para Cargadoras de ruedas

NOMBRE: _____ IDEN. MAQUINA : _____

FECHA : _____ TURNO : _____

COMPARTIMINETO	✓	INSPECCION	✓	OBSERVACIONES
----------------	---	------------	---	---------------

Desde el Suelo

Cuchilla del Cucharón, Vertedera		Daños o Desgaste Excesivo		
Cilindros de Inclinación del Cucharón		Desgaste Excesivo, Daños, Fugas		
Bastidor del Cargador, Brazos		Daños o Desgaste Excesivo		
Cilindros de Levante y del Cucharón		Desgaste, Daños, Fugas		
Neumáticos, Tuercas de Birlo, Frenos		Inflado de Neumáticos, Daños, Tapas		
Debajo de la Máquina		Fugas en los Mandos Finales, Daños		
Peldaños y Pasamanos		Condición General y Limpieza		
Tanque de Combustible		Nivel de Combustible, Daños, Fugas		
Tanque del Aceite Hidráulico		Nivel de Fluido, Daños, Fugas		
Baterías y Sujetadores		Limpieza, Tuercas y Pernos Suelos		
Toda la Máquina		Tuercas y Pernos Suelos o Faltantes, Protectores Suelos, Limpieza		

Compartimiento del Motor

Aceite del Motor		Nivel de Fluido		
Refrigerante del Motor		Nivel de Fluido		
Filtro de Aire		Indicador de Restricción		
Radiador		Obstrucciones, Fugas		
Todas las Mangueras		Fisuras, Desgaste, Fugas		
Todas las Correas		Tensión, Desgaste, Fisuras		
Todo el Compartimento del Motor		Acumulación de Basura o Suciedad, Fugas		

En la Máquina, Fuera de la Cabina

Extintor de Incendios		Carga, Daños		
Luces		Daños		
Retrovisores		Daños		
Limpia/lavaparabrisas		Desgaste, Daños, Nivel de Fluido		

Dentro de la Cabina

ROPS		Daños		
Asiento		Ajuste, Recorrido del Pedal del Freno		
Cinturón de Seguridad y Montaje		Daños, Desgaste, Ajuste		
Bocina, Alarma de Retroceso, Luces		Función Adecuada		
Todo el Interior de la Cabina		Limpieza		

**APENDICE G: COMPARACION DE TIEMPOS DE CICLOS DE
LOS CAMIONES, OPERANDO EN DIFERENTES CONDICIONES
DE CAMINOS DE ACARREO**

COMPARACION DE TIEMPOS DE CICLOS DE LOS CAMIONES, OPERANDO EN DIFERENTES CONDICIONES DE CAMINOS DE ACARREO

CONDICION INICIAL - RESISTENCIA A LA RODADURA 5%

TIEMPOS DEL CICLO DEL CAMION	FRENTE A		FRENTE B
	775B	775D	773B
Carga e intercambio	3,59	3,59	3,59
Acarreo	2,46	2,26	3,15
Descargay maniobras	1,80	1,80	1,80
Retorno	2,86	2,73	1,84
Tiempo potencial del ciclo	10,71	10,38	10,38
Espera por camión lento en la vía	0,00	0,33	0,00
Espera para la carga o amontonamiento	1,25	1,25	1,43
Tiempo total del ciclo	11,96	11,96	11,81

CONDICION POTENCIAL - RESISTENCIA A LA RODADURA 3%

TIEMPOS DEL CICLO DEL CAMION	FRENTE A		FRENTE B
	775B	775D	773B
Carga e intercambio	2,10	2,10	2,10
Acarreo	2,19	2,01	2,61
Descargay maniobras	1,80	1,80	1,80
Retorno	2,68	2,52	1,81
Tiempo potencial del ciclo	8,77	8,43	8,32
Espera por camión lento en la vía	0,00	0,34	0,00
Espera para la carga o amontonamiento	0,15	0,15	0,23
Tiempo total del ciclo	8,92	8,92	8,55