



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO

“Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”

FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

DEPARTAMENTO DE MINERÍA

PROCEDIMIENTO PARA EL REEMPLAZO DE LOS EQUIPOS MINEROS

Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en
Ciencias Técnicas

María Isabel García De la Cruz

MOA

2013



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO

“Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”

FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

DEPARTAMENTO DE MINERÍA

PROCEDIMIENTO PARA EL REEMPLAZO DE LOS EQUIPOS MINEROS

Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en
Ciencias Técnicas

Autora: MSc. Ing. María Isabel García De la Cruz

Tutores: Prof. Tit. Ing. Mayda Ulloa Carcassés, Dra. C.

Prof. Tit. Ing. Orlando Belete Fuentes, Dr. C.

Prof. Tit. Ing. Rajutin Maxím Gregorio, Dr. C.

MOA

2013

PENSAMIENTO

“ES UN HECHO QUE EL HOMBRE TIENE QUE CONTROLAR LA CIENCIA Y CHEQUEAR OCASIONALMENTE EL AVANCE DE LA TECNOLOGÍA”.

Thomas Henry Huxley (1825 - 1895)

AGRADECIMIENTOS

- ✓ Agradezco en primer lugar **a Dios** porque me proporciona la fe, la salud, la fuerza física y espiritual para lograr las metas propuestas. Además, pongo de manifiesto mi agradecimiento:
- ✓ Al querido **Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz y a La Revolución Cubana** que me han dado la posibilidad de ser un profesional, de visitar infraestructuras relacionadas con las tecnologías mineras en Cuba y en el extranjero que me permitieron tener herramientas para el desarrollo de la investigación.
- ✓ Al personal de la **Dirección de Capacitación de la empresa Comandante Ernesto Guevara**, por la confianza depositada en mi persona para realizar este proyecto.
- ✓ Al **Dr. C. Orlando Belete Fuentes y a la Dra. C. Mayda Ulloa Carcasés**, por la ayuda y apoyo brindado para la realización de este trabajo.
- ✓ Al **Dr. C. Rajutin Maxcin Gregoriebich**, por la dedicación en Rusia a incrementar mi preparación profesional.
- ✓ Al **Dr. C. Cantobich Leonid Ybanobich**, por su atención y preocupación por mi desempeño durante mi estancia en Rusia.
- ✓ Al **Dr. C. José Otaño Noguel**, por su preocupación en el cumplimiento de este proyecto.
- ✓ Al **clastro de profesores del curso curricular**, por la enseñanza transmitida y por su colaboración en las diferentes etapas del trabajo.
- ✓ Al **MSc. Ramón Peña Abreu**, por trasmitirme los conocimientos para la utilización de métodos estadísticos en el desarrollo de la investigación.

- ✓ A mi esposo **Ing. Carlos Charchabal Zúñiga**, por la paciencia que ha tenido durante la realización del trabajo y las experiencias transmitidas en la especialidad de Ingeniería Mecánica Automotriz.
- ✓ A mi **madre, hermanas y hermanos**, por la ayuda incondicional y apoyo en el cumplimiento de este proyecto.
- ✓ A los **hermanos espirituales**, por sus oraciones incondicionales.
- ✓ A los **colegas de trabajo** y otros de la rama de la **Geología y Minería**, que me dieron sus criterios de la Tesis, por el tiempo que dedicaron a la revisión del trabajo y por las recomendaciones realizadas, las cuales sirvieron para enriquecer el informe.
- ✓ A los **colegas del Departamento de Minas del ISMM**, por sus criterios constructivo del proyecto de investigación.
- ✓ A los **Ingenieros Jorge Calderón Mercado y Diego Calderón Mercado**, por su ayuda con la bibliografía y otras informaciones relacionadas con explotación de equipos mineros en el continente Americano.
- ✓ A mis **colegas del Departamento de Minas, Ingeniería y Archivo del Centro de Proyectos del Níquel** por su colaboración en la impresión de la tesis.
- ✓ Al **Licenciado Osmany Leyva Despaigne** por su colaboración en la estética del documento.

A todas las personas nombradas en estas páginas y a quienes involuntariamente no he recordado, a todas, muchas gracias y mi eterno agradecimiento.

La autora

DEDICATORIA

Dedico esta investigación en primer lugar **a Dios** como bendición a su pueblo.

Además, la dedico:

A La Revolución Cubana por hacer posible nuestros sueños.

A todos los que forman parte de **mi vida social, profesional y espiritual** por creer en mí.

A mi hijo **Carlos Charchabal García**, para que le sirva como ejemplo a seguir en su vida de estudiante y futuro profesional.

A mi padre fallecido **Güelfo García Fuentes**.

Al **Grupo Empresarial Cubaníquel** para su aplicación.

Al **ISMM**, como medio de enseñanza y bibliografía para proyectos similares.

La autora

SÍNTESIS

Esta investigación tuvo como objetivo general perfeccionar el procedimiento para reemplazo de los equipos mineros, a partir del modelo de rendimiento, en función del cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación por períodos de explotación.

Con la utilización de la base de datos histórica se seleccionaron los indicadores que miden el rendimiento y los factores que inciden el reemplazo de los equipos mineros en las condiciones de explotación de los yacimientos ferroníquelíferos. Se evaluó la influencia del cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación en el rendimiento, para ello se aplicó la matriz de Kepner - Tregoe. Se validó y se comprobó la viabilidad del modelo con su aplicación en el caso de estudio de la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

El modelo de rendimiento de los equipos mineros elaborado permite: determinar los niveles máximos y mínimos del rendimiento en función del cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación; perfeccionar el reemplazo a partir del comportamiento del rendimiento.

El procedimiento para el reemplazo de los equipos mineros, sobre la base del modelo del rendimiento constituye una herramienta importante de gestión para lograr una explotación eficiente de los equipos mineros desde su planificación hasta su reemplazo y puede ser aplicable en empresa o entidad que tenga en explotación equipos para movimiento de tierra.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. ANÁLISIS DE LOS PROCEDIMIENTOS ACTUALES PARA EL REEMPLAZO DEL EQUIPAMIENTO MINERO	6
1.1 INTRODUCCIÓN	6
1.2 ANTECEDENTES	6
1.3 ANÁLISIS DE LOS TRABAJOS PRECEDENTES RELACIONADOS CON LA TEMÁTICA EN EL MUNDO	9
1.4 ANÁLISIS DE LOS TRABAJOS PRECEDENTES RELACIONADOS CON LA TEMÁTICA EN CUBA	24
1.5 CONCLUSIONES PARCIALES	27
CAPÍTULO 2. INDICADORES QUE MIDEN EL RENDIMIENTO Y FACTORES QUE INCIDEN EN EL REEMPLAZO DE LOS EQUIPOS MINEROS EN LA EMPRESA COMANDANTE ERNESTO CHE GUEVARA	28
2.1 INTRODUCCIÓN	28
2.2 GENERALIDADES DEL EQUIPAMIENTO MINERO DE LA EMPRESA COMANDANTE ERNESTO CHE GUEVARA	28
2.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS MINEROS EN EXPLOTACIÓN	30
2.4 SELECCIÓN DE LOS INDICADORES QUE MIDEN EL COMPORTAMIENTO DEL RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS MINEROS	31
2.5 EVALUACIÓN DE LOS INDICADORES QUE MIDEN EL RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS MINEROS POR PERÍODOS DE EXPLOTACIÓN	34
2.6 INCIDENCIAS DE LOS SERVICIOS TÉCNICOS DE LA CONTRATACIÓN EN EL RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS MINEROS	40
2.7 SELECCIÓN DE LOS FACTORES QUE INCIDEN EN EL REEMPLAZO DE LOS EQUIPOS MINEROS	43
2.8 CONCLUSIONES PARCIALES	44

CAPÍTULO 3. ELABORACIÓN DEL MODELO DE RENDIMIENTO PARA PERFECCIONAR EL PROCEDIMIENTO DEL REEMPLAZO DE LOS EQUIPOS MINEROS	45
3.1 INTRODUCCIÓN	45
3.2 ESTRUCTURA DEL PROCEDIMIENTO PARA EL REEMPLAZO DE LOS EQUIPOS MINEROS	46
3.2.1 ETAPA 1. PROYECTO MINERO	46
3.2.2 ETAPA 2. PROCESO DE CONTRATACIÓN DE LOS EQUIPOS MINEROS	47
3.2.3 ETAPA 3. EXPLOTACIÓN Y REEMPLAZO DE LOS EQUIPOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MODELO DE RENDIMIENTO DE LOS MISMOS	52
3.2.4 ETAPA 4. EVALUACIÓN DEL PROVEEDOR CONTRATADO	52
3.3 ESTRUCTURA DEL MODELO DE RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS MINEROS	53
3.3.1 FASE 1. EVALUACIÓN GENERAL DEL RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS MINEROS	54
3.3.2 FASE 2. SELECCIÓN DE LAS VARIABLES Y VALIDACIÓN DE LA BASE DATOS PARA EL MODELO DE RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS MINEROS	55
3.3.3 FASE 3. SELECCIÓN Y MODO DE APLICACIÓN DEL MÉTODO ESTADÍSTICO PARA EL MODELO DE RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS MINEROS	56
3.3.4 FASE 4. TOMA DE DECISIÓN	57
3.3.5 FASE 5. RESULTADOS DEL MODELO DE RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS EN FUNCIÓN DE LOS SERVICIOS DE LA CONTRATACIÓN	57
3.4 CONCLUSIONES PARCIALES	59
CAPÍTULO 4. APLICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA EL REEMPLAZO DE LOS EQUIPOS MINEROS	60
4.1 INTRODUCCIÓN	60
4.2 CARACTERIZACIÓN DE LA UNIDAD BÁSICA MINERA DE LA EMPRESA COMANDANTE ERNESTO CHE GUEVARA	60
4.3 APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO	62
4.3.1 SELECCIÓN Y APROBACIÓN DE EQUIPOS MINEROS (ETAPA 1 DEL PROCEDIMIENTO)	63
4.3.2 APLICACIÓN DE LA MATRIZ AL PROCESO DE EVALUACIÓN DE LAS OFERTAS A LOS EQUIPOS MINEROS (ETAPA 2 DEL PROCEDIMIENTO)	63
4.3.3 EXPLOTACIÓN Y REEMPLAZO DE LOS EQUIPOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MODELO DE RENDIMIENTO DE LOS MISMOS (ETAPA 3 DEL PROCEDIMIENTO)	67
4.3.3.1 SELECCIÓN Y VALIDACIÓN DE LAS VARIABLES PARA EVALUAR EL RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS MINEROS	68
4.3.3.2 MODO DE APLICACIÓN DEL MÉTODO ESTADÍSTICO PARA EL MODELO DE RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS MINEROS	70
4.3.3.3 TOMA DE DECISIÓN DE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO ESTADÍSTICO	91

4.3.3.4	RESULTADOS DEL MODELO DE RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS EN FUNCIÓN DE LOS SERVICIOS TÉCNICOS DE LA CONTRATACIÓN	92
4.4	EVALUACIÓN DE LOS PROVEEDORES CONTRATADOS PARA LA EXPLOTACIÓN MINERA	93
4.5	CONCLUSIONES PARCIALES	96
	CONCLUSIONES	97
	RECOMENDACIONES	98
	ANEXO 1. PRODUCCIÓN CIENTÍFICA DE LA AUTORA SOBRE ELTEMA DE LA TESIS	
	ANEXO 2. RELACIÓN DE AVERÍAS DE LOS EQUIPOS MINEROS	
	ANEXO 3. CLASIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS TÉCNICOS DE LA CONTRATACIÓN	
	ANEXO 4. CONDICIONES DE EXPLOTACIÓN PARA LOS EQUIPOS MINEROS	
	ANEXO 5. METODOLOGÍA DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE EQUIPOS MINEROS	
	ANEXO 6. DIAGRAMAS PARA EL PROCEDIMIENTO	
	ANEXO 7. MODELOS DEL SISTEMA DE GESTIÓN EMPRESARIAL DE LA EMPRESA COMANDANTE ERNESTO CHE GUEVARA	
	ANEXO 8. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE NORMALIDAD DE DATOS	
	ANEXO 9. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE COMPARACIÓN PAREADA DE DATOS	
	ANEXO 10. COMPORTAMIENTO DEL ÍNDICE DE ESTACIONALIDAD	

INTRODUCCIÓN

La minería como actividad humana, no puede estar ajena a la aplicación del conocimiento científico en cada uno de sus procesos. Generalmente los trabajos que en ella se ejecutan se caracterizan por la presencia, en mayor o menor grado, del uso de técnicas y herramientas que surgen como resultado de investigaciones, y le permiten al personal vinculado con la misma resolver problemas cada vez más complejos.

Actualmente los equipos mineros son diseñados con tecnologías de avanzada, pero en la medida que son usados envejecen, fallan por diversas causas, generan pérdidas de grasas, de lubricantes, de gases, y de ruidos, además de paros operacionales imprevistos, razones por las que son sometidos a actividades de reparación no pronosticadas, de modo que a los costos usuales de operación se suman costos adicionales por mantenimiento, lo que ocasiona la disminución de los beneficios y los convierte en obsoletos y en alguna forma candidatos a ser reemplazados antes del tiempo previsto. Los equipos juegan un papel importante en los procesos de producción continua y, debido a las condiciones de explotación a las que están sometidos, pueden causar interrupciones al ciclo productivo y afectar el suministro de materia prima a las fábricas y hay que prestarle especial atención en todo el período de explotación.

Situación problemática

En la empresa Comandante Ernesto Che Guevara la explotación minera se inició en el año 1982 utilizando equipos soviéticos, con todos los servicios técnicos de la contratación garantizados, lo que permitía la explotación con el mínimo de dificultad. Los servicios se suspenden al desaparecer el campo socialista cuando el estado técnico de los equipos no permitía mantener su disponibilidad técnica.

En el año 1997 se inició la reposición del equipamiento mediante contratos de compra y de arrendamiento y se adquieren equipos de tecnología de avanzada para garantizar la estabilidad de los niveles de producción. Después de 15 años de explotación, no se ha logrado sistematicidad en el cumplimiento de los volúmenes de masa minera en los trabajos de excavación - carga y de transporte. Análisis técnicos realizados concluyen que varios aspectos afectan el cumplimiento de los indicadores técnico - productivos de los equipos en el proceso minero, entre los que se citan: afectaciones tecnológicas, organizativas e incumplimientos de los términos técnicos pactados en los contratos de adquisición de equipos (Urgellés, 2004; García et al., 2005; Tornos, 2005; Cuba, 2008; García et al., 2009; Guerra y García, 2009; Mbalongany, 2010; Toirac, 2010; García, 2011; García et al., 2011; Santiago, 2012; Guerra, 2012).

En la actualidad la Unidad Básica Minera tiene un gran reto con el cumplimiento de la producción, que hace necesario investigar y determinar los factores que influyen negativamente en el cumplimiento de los parámetros productivos. En la investigación se deben valorar estos factores por períodos de explotación, además de la vinculación del rendimiento y el cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación con la definición del reemplazo para poder perfeccionar el procedimiento del mismo.

Problema científico: Necesidad de perfeccionar el procedimiento del reemplazo a partir de un modelo del rendimiento de los equipos mineros, en función del cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación por períodos de explotación.

Objetivo general: Perfeccionar el procedimiento para el reemplazo de los equipos mineros, a partir del modelo de rendimiento en función del cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación por períodos de explotación.

Objeto estudio de la investigación: El rendimiento de los equipos mineros de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

Campo de acción: Los equipos mineros de excavación - carga y de transporte de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

Hipótesis

Si se establece un modelo para evaluar el rendimiento a partir de sus tendencias definidas por las series de tiempo y en función del cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación por períodos de explotación, se puede perfeccionar el procedimiento para el reemplazo de los equipos mineros.

Objetivos específicos:

1. Seleccionar los indicadores que miden el comportamiento del rendimiento de los equipos mineros por períodos de explotación.
2. Determinar los factores que inciden en el reemplazo de los equipos mineros.
3. Elaborar el modelo de rendimiento de los equipos mineros en función del cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación por períodos de explotación.
4. Establecer las etapas y las secuencias para aplicar el procedimiento de reemplazo de los equipos mineros.

Para desarrollar los objetivos específicos se planificó el **sistema de tareas** siguientes:

1. Revisión el estado de la temática en Cuba y en el mundo.
2. Evaluación de las incidencias del cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación en el rendimiento de los equipos mineros.
3. Selección y descripción de los elementos que forman el modelo de rendimiento de los equipos mineros.
4. Ejecución de corridas experimentales del modelo de rendimiento de los equipos mineros en función del cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación por períodos de explotación.
5. Obtención de los resultados del modelo de rendimiento de los equipos mineros en función del cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación por períodos de explotación.

Alcance de la investigación: La elaboración de un modelo de rendimiento en función del cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación por períodos de explotación para perfeccionar el procedimiento del reemplazo de los equipos de excavación - carga y de transporte.

Novedad científica: El modelo de rendimiento para el reemplazo de los equipos mineros a partir de sus tendencias definidas por las series de tiempo, en función del cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación por períodos de explotación.

Aportes teóricos de la investigación:

1. El establecimiento de los factores técnicos que definen el reemplazo de los equipos de excavación - carga y de transporte.
2. La aplicación de las series de tiempo en la evaluación del rendimiento de los equipos mineros.

Aportes prácticos de la investigación:

1. La definición de las incidencias de los servicios técnicos de la contratación en el rendimiento de los equipos mineros.
2. La determinación del comportamiento del rendimiento de los equipos mineros por períodos y condiciones de explotación en los yacimientos lateríticos.
3. Un procedimiento para el reemplazo de los equipos mineros que se perfecciona mediante el modelo de rendimiento.

Para el desarrollo de la investigación se aplicaron los métodos siguientes:

Análisis y síntesis: que permitió, establecer la ausencia de un procedimiento para perfeccionar el reemplazo de los equipos mineros validado por un modelo de rendimiento de los mismos en función del cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación por períodos de explotación.

Hipotético – deductivo: para la formulación de la hipótesis y el diseño del modelo de rendimiento de los equipos mineros.

Estadísticos: para el tratamiento de la base de datos y la información obtenida.

Producción científica de la autora sobre el tema de la tesis

Como parte del proceso investigativo la autora desarrolló y defendió exitosamente su Tesis de Maestría la cual estuvo directamente relacionada con la temática investigada en esta Tesis Doctoral; participó en seis eventos científico - técnicos donde presentó nueve ponencias; en revistas científicas realizó tres publicaciones relacionadas con el problema y el tema de investigación. Además dirigió, como tutora, siete Tesis de Ingeniería y dos Tesis de Maestría las cuales se vinculan con el tema de investigación en cuestión.

Los eventos, las publicaciones y tutorías de tesis antes mencionadas se relacionan en el anexo 1.

CAPÍTULO 1. ANÁLISIS DE LOS PROCEDIMIENTOS ACTUALES PARA EL REEMPLAZO DEL EQUIPAMIENTO MINERO

1.1 Introducción

En la actualidad, la minería cubana se está expandiendo, pero ese avance no está al mismo nivel en las actividades de apoyo como las que constituyen los servicios técnicos de la contratación donde debe ponerse mayor atención, pues estos son un factor definitorio en el uso eficiente y el reemplazo de los equipos en la minería (en especial en los yacimientos lateríticos). Las empresas del Grupo Empresarial Cubaníquel, para garantizar la adquisición de los equipos mineros, han incrementado la modalidad de contratos de arrendamiento sin opción de compras. Lo anterior pone de manifiesto que el reemplazo, tanto de los equipos adquiridos por contratos en la modalidad de compras como en el arrendamiento, ha dependido históricamente de la posibilidad de financiamiento, además no se cuenta con una planificación estratégica que defina el tiempo óptimo para ejecutarlo, razón por la que esta industria enfrenta el problema de la renovación y modernización de sus equipos.

1.2 Antecedentes

La industria cubana del níquel surge con la empresa Comandante René Ramos Latour, que hizo su primera corrida el 21 de diciembre del año 1943. El equipamiento minero era de procedencia americana. Después del triunfo de la revolución le sucedieron las empresas Comandante Pedro Sotto Alba (actual Moa

Níquel S.A) en el año 1960 y la empresa Comandante Ernesto Che Guevara en el año 1985, continuándose las labores mineras con equipos de procedencia inglesa (de transporte), japonesa (de excavación - carga y de acarreo) y soviéticos (de excavación - carga, de transporte y de acarreo). Con la ruptura del campo socialista se introdujeron nuevos equipos de alta tecnología de diseño, que se mantienen en explotación hasta la fecha (Unión de Periodista de Cuba, 2009).

El rendimiento de la industria minera depende, en gran medida, de la eficiencia en la explotación de los equipos de excavación - carga y de transporte. El incumplimiento de los servicios técnicos de la contratación acelera el deterioro del estado técnico de estos equipos, convirtiéndose en candidatos a ser reemplazados sin cumplir el tiempo de vida útil (García, 2011 y García et al., 2011).

El reemplazo de los equipos mineros en Cuba está estrechamente vinculado a su depreciación, es decir, a la disminución que experimenta su valor de adquisición durante su explotación. La Circular AE - 358 del año 2008 plantea los porcentajes de depreciación por categorías de equipos. Para los equipos de transporte de masa minera, incluidos en el código número seis “Equipos de transporte terrestres y otros” se establece una tasa de descuento de un 20 % y para los de arranque y carga en el código número cuatro “Máquinas y equipos técnicos productivos” un 6 %, aplicándose el método de línea recta, que consiste en la desvalorización del equipo en porciones o partidas iguales a lo largo de su vida útil. Para todas las líneas de equipos empleados en la industria cubana del níquel la vida útil es menor que la establecida en dicha Circular (MINBAS, 2008).

El Grupo Empresarial Cubaníquel, para garantizar la adquisición de los equipos mineros, ha incrementado la modalidad de contratos de arrendamiento (leasing), con vigencia entre tres y cinco años (CEXNI, 2003, 2004, 2006, 2007). La primera,

sugerida por los proveedores, tiene tanto para el cliente como para el arrendador, las ventajas siguientes:

Los equipos se reponen antes de capitalizarlos, es decir, antes de la reparación capital, y se reemplazan con mejor estado técnico, dándole la oportunidad al propietario (arrendador) de realizar contratos con otras empresas que adquieran equipos de uso.

Garantía de inventario de piezas de rápido desgaste para el período de arriendo.

La supervisión técnica por el período de arriendo del fabricante y del proveedor de servicios técnicos.

Los riesgos por futuras reparaciones del equipamiento, que pueden ser costosas, son asumidos por el arrendador y el gasto se divide entre los 36 meses del arrendamiento.

La cuota a pagar se mantiene invariable, aunque el arrendador incurra en sobregastos.

En caso de que los equipos no garanticen la disponibilidad por tecnología de diseño, es responsabilidad del arrendador el cambio de los mismos (García y Donatien, 2008; Rajutin y García, 2011; Ramírez, 2012).

La opción con vigencia de cinco años fue sugerida por especialistas del grupo empresarial para alargar el tiempo de cambio de los equipos y el ahorro de presupuesto a largo plazo, sin un previo análisis para la implementación de esta opción, por lo que se ratifica que no existe un procedimiento que incluya todos los aspectos necesarios para efectuar el reemplazo, y que éste depende de la posibilidad de financiamiento. Al valorar lo anterior y la experiencia acumulada en más de 60 años de explotación en la industria cubana del níquel, se proyectó esta investigación que pretende establecer un punto de partida que permita perfeccionar el

procedimiento para el reemplazo de los equipos mineros y se sustentó en el reconocimiento de dos realidades:

El comportamiento del rendimiento de los equipos mineros en la explotación de los yacimientos lateríticos de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara por períodos de explotación.

La influencia del cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación en el comportamiento del rendimiento de los equipos por períodos de explotación.

Ambas realidades, relacionadas con el estado técnico en los diferentes períodos y el costo de operación, permiten definir el tiempo en que los equipos mineros son útiles en las condiciones de explotación a que son sometidos.

1.3 Análisis de los trabajos precedentes relacionados con la temática en el mundo

Los modelos que utilizan la comparación antiguo - nuevo, determinan el momento de reemplazo a través de un balance entre el equipo en uso y el equipo nuevo que lo reemplazaría, basado en las ventajas económicas de operar uno u otro. El modelo *Machinery Allied Products Institute* (MAPI), diseñado por Terborgh (1954), es el primero encontrado en éste grupo, y constituye la base de muchos otros. Su objetivo es la correcta valoración de sustituir o no la maquinaria, se compara la suma de los costos totales y el capital para la máquina actual y aquellos correspondientes a una máquina nueva, con mayor o menor inferioridad operativa. Este modelo se basa en el método del mínimo adverso; permite escoger entre las dos disyuntivas: con exceso de cargas de capital y menos "inferioridad de servicio" o con menos cargas de capital y mayor "inferioridad de servicio".

Las principales críticas a este método (Mey, 1956 y Reul, 1957), estiman que la constancia del "mínimo adverso" de los equipos futuros y el crecimiento lineal de la

inferioridad de servicio, no reflejan la realidad. Mey, señala que “el gradiente de inferioridad es difícil de calcular”, además dice: “puede concebirse para un equipo determinado, que la inferioridad de servicio se mida con respecto a los gastos complementarios y a la cantidad o a la calidad de las prestaciones que aporta”.

Terborgh (1958), consciente de todas estas dificultades del método, lo modifica. Las principales modificaciones se refieren a la hipótesis relativa al crecimiento lineal de la inferioridad de servicio. Se mantiene la constancia del envejecimiento económico, pero se admite que el aumento de los gastos complementarios, como consecuencia del envejecimiento técnico no es necesariamente constante. Conserva la hipótesis referente a la constancia de los mínimos adversos de los equipos futuros, pero la formulación es distinta al suponer que la producción total de los equipos a sustituir en el futuro, será la misma. Reconoce que la noción de los mínimos adversos es un criterio de difícil manejo cuando se trata de determinar la prioridad de inversiones.

Por su parte, Peumans (1965), acerca de la teoría del método MAPI escribe: "La experiencia del pasado permite hacer previsiones en cuanto a la influencia del factor interno, el deterioro físico y sobre los gastos complementarios, la cantidad y la calidad de las prestaciones. En cuanto al factor interno, el abandono del material por falta de aplicación práctica, nada puede preverse con certeza. En todo caso, es poco probable que la inferioridad de servicio se acumule linealmente. En efecto, cuando el equipo envejece, el aumento de los gastos complementarios es generalmente progresivo y además, puede suceder que la producción disminuya en cantidad y en valor".

García (1969), plantea que el modelo propuesto por Terborgh tiene como objetivo la correcta valoración de sustituir o no la maquinaria, y confronta la suma de los costos totales de la inferioridad operativa, el capital para la máquina actual y aquellos

correspondientes a una máquina nueva con inferioridad operativa. Hace referencia a la diferencia de prestación de servicio de una máquina respecto a otra, y considera este método como la base para el desarrollo de otros modelos que le sucedieron.

Al analizar el método MAPI, Gutiérrez (2005), señala que “uno de los problemas más vivos de hoy, en materia de inversiones, es el relativo al momento en que debe renovarse una máquina, habida cuenta del deterioro y falta de actualidad que sufre al cabo del tiempo, circunstancias que la colocan en un plano de inferioridad de servicio, con respecto a otra nueva que responda al mismo objeto y perfeccionada con los últimos inventos”, y considera al método MAPI como una herramienta óptima para la definición del reemplazo.

El modelo *Machinery Allied Products Institute* (MAPI), no utiliza variables técnicas que pongan de manifiesto la eficiencia por años de explotación y se evalúa la eficiencia solo por el costo operacional y costo de mantenimiento, esto imposibilita la evaluación del rendimiento de los equipos mineros como una herramienta para su reemplazo.

Churchman et al. (1971), exponen un modelo donde, en el cálculo del período que representa la vida útil óptima de un equipo nuevo, se minimiza el valor actual neto (VAN) de sus costos de mantenimiento. Éste VAN sirve como parámetro para determinar el momento de reemplazo del equipo en uso, lo cual sucede cuando sus costos de operación y mantenimiento superan el VAN calculado.

Raibman et al. (1980), consideran que el plazo óptimo de servicio de las máquinas, es aquel, en el que el costo de la reparación corriente se aproxima al costo de una máquina nueva. Esta hipótesis tiene una demostración lógica que consiste en que es más ventajoso gastar los recursos en la adquisición de una nueva, que en la reparación de una máquina vieja. Esto no se puede considerar puramente científico,

pues no se analiza la eficacia de la utilización de los recursos para la adquisición y el mantenimiento de la capacidad de trabajo de la máquina vieja.

Prawda (1981); Sasieni et al. (1982), formulan un modelo del valor presente del gasto que usa el mismo principio de Churchman diferenciándose básicamente en su formulación matemática y la información usada o dejada de usar.

Walker (1994), da a conocer un software creado en Visual Basic con plataforma Windows, en el cual es posible graficar la vida económica de la maquinaria, y sobre esta base se hace una comparación con una maquinaria nueva y se toma la decisión de reemplazo. La vida económica se grafica en función del tiempo, por el valor de los costos de operación y el valor de liquidación. La novedad del aporte radica en la inclusión del análisis de sensibilidad en la toma de la decisión de reemplazo, con lo que el autor se convierte en el primero que hace explícito este análisis en el estudio de reemplazo.

Al análisis de sensibilidad y su importancia, como el elemento de incertidumbre asociado a cualquier análisis económico proyectado al futuro se referencia por Baca (2000) y afirma que en un proyecto individual el análisis de sensibilidad debe hacerse con respecto al parámetro más incierto. Este autor define dos métodos formulados a través de la ingeniería económica para determinar el momento óptimo de reemplazo: período óptimo de reemplazo; calcular el costo anual uniforme equivalente del equipo (CAUE) y seleccionar el número de años para el cual el costo es mínimo y confrontación antiguo - nuevo, es decir, se calcula el CAUE para el equipo antiguo y para el equipo nuevo y se toma la decisión de reemplazo frente a la confrontación de los datos; escogiendo el de menor CAUE.

Por su parte Gómez (2001), define que el análisis de reemplazo es útil para averiguar si un equipo trabaja de manera económica o si los costos de operación pueden

disminuirse, adquiriendo un nuevo equipo. Este autor sugiere, que un activo físico debe ser reemplazado, cuando padece de insuficiencia, alto costo de mantenimiento y obsolescencia, recomienda que en el análisis es necesario aplicar conceptos de matemáticas financieras, siendo indispensable determinar: el horizonte de la planeación que mientras más pequeño sea, más exacto resulta el análisis y la disponibilidad de capital para realizar la compra de los activos según lo planeado y lo proyectado. El artículo incluye un ejemplo de un modelo de comparación antiguo – nuevo, que tiene en cuenta las estimaciones sobre el valor comercial, valor de salvamento y vida útil del activo.

Preciado (2001), propone un modelo económico para la toma de decisiones en el reemplazo de equipo de acarreo en una mina a cielo abierto, y plantea que una norma común para determinar si es conveniente el reemplazo, es evaluarlo económicamente, selecciona los parámetros técnicos - económicos de comparación de los resultados que se obtengan. El modelo permite integrar y procesar la información necesaria y es la base de comparación, para que los directivos tomen la decisión de reemplazar o continuar con sus equipos de acarreo de material.

En el plan de actuación tecnológica (GETEC, 2003), se plantea que los métodos de comparación antiguo - nuevo presentan ventajas cuando hay escasez de información y la decisión de reemplazo debe tomarse bajo análisis de costos supuestos y datos determinados según la experiencia del que toma la decisión, sin embargo la comparación de la máquina actual con una máquina nueva representa una falencia en este tipo de modelo pues, en primer lugar la selección del equipo nuevo debería estar sometida a un proceso de gestión tecnológico adecuado. Además, que los costos de operación del nuevo equipo deben predecirse en el momento de hacer el análisis de reemplazo, basándose tal vez, en datos ofrecidos por el fabricante, el cual supone

condiciones ideales para el funcionamiento del equipo, o bien, en comportamientos de equipos similares, ignorándose los posibles errores de dichas predicciones.

Por otra parte Viveros et al. (2004), consideran que el artículo publicado por Walter en 1994, es insuficiente en la explicación de la metodología utilizada y que sólo se hace referencia a la posibilidad que brinda el programa de apreciar comportamientos alternativos de la gráfica de vida económica y en base a éstos, observar la variabilidad de la curva y realizar análisis de sensibilidad.

El Ministerio de Planificación y Cooperación de Costa Rica (MIDEPLAN, 2008), propone una metodología para el evaluador de proyectos con algunas herramientas prácticas, que le faciliten la labor de selección entre las diferentes alternativas existentes en el mercado para reemplazar los equipos, que se estima han llegado al término de su vida útil - económica, y demostrar posteriormente la rentabilidad de su reemplazo por otro equipo, el cual brinde los mismos niveles de servicio al cliente, con menores costos.

Xodo (2006) realiza su análisis para equipos relacionados con la electrónica, electricidad y automática y Espinosa (2009), para equipos de producción continua. Ambos sugieren dos grupos de modelos: primero los de reemplazo de elementos que se desgastan, comprendiendo aquellos que pierden eficiencia frente a uno de mejor diseño técnico, es decir, el problema consiste en un balance entre el costo derivado de la adquisición de un nuevo equipo y el costo de mantenimiento de la eficiencia del equipo existente o del costo originado por la pérdida de su eficiencia; segundo los de elementos que están sujetos a falla o muerte y establecen las reglas de reemplazo, en función del interés:

Con interés, se fija como óptima la política que minimice el valor actual de todos los costos futuros que estén en relación con las diversas políticas de reemplazo

proyectadas, designando como valor actual al capital necesario, en el momento en que se realiza la decisión, que aplicado al interés compuesto con una tasa especificada, permita realizar la inversión necesaria para el mantenimiento dentro de un plazo perfectamente fijado. Si no se tiene en cuenta el valor del dinero a lo largo del tiempo, se usa el costo anual promedio, para determinar el período en el cual es conveniente reemplazar.

Sin interés, se plantean dos reglas: la primera, si la disminución del valor de reventa más los costos de operación y mantenimiento en el próximo período es mayor que el costo total promedio en el período actual, es conveniente reemplazar; la segunda, cuando el costo total promedio de un período es mayor que la disminución del valor de reventa, más los gastos de operación y mantenimiento del próximo período, no conviene reemplazar.

Los modelos de Churchman et al.; Ackoff et al.; Prawda; Sasieni et al.; Walter; Baca; Gómez; Preciado; PAT; Viveros et al.; MIDEPLAN; Xodo y Espinosa, continuaron la teoría del modelo MAPI, utilizan la comparación antiguo – nuevo, pero no cumplen con todos los aspectos necesarios para solucionar el problema de la investigación porque la comparación de la máquina actual con una máquina nueva, representa una falencia en este tipo de modelo, debido a que la selección del equipo nuevo debería estar sometida a un proceso de gestión tecnológica adecuado y que la comparación se realiza generalmente sobre datos a priori estimados por el responsable de tomar la decisión. Además existe la incertidumbre, de que los datos para la comparación del equipo nuevo ofrecidos por el fabricante o suministrador, suponen condiciones ideales para la explotación, ignorándose los posibles errores de dichas predicciones.

Los modelos de optimización, tratan de encontrar un valor óptimo para una función predeterminada, ya sea el mínimo para funciones de costos o gastos asociados con la utilización del equipo o el máximo para funciones de rentabilidad o utilidad esperada por la explotación del equipo; y se inician con el modelo de Selivanov (1972), útil para determinar los plazos de servicio de las máquinas, el cual propone una solución analítica general al problema, encuentra un equivalente monetario a los indicios técnicos y tecnológicos con los cuales se pretende agrupar toda inversión de dinero o pérdida de oportunidad que se genera al utilizar un equipo. El autor, a través del modelo, concuerda que el análisis científico de los problemas de renovación, además de contribuir a un mejor conocimiento, previsión de los costos y las necesidades de capital, busca proveer información referente al momento oportuno para llevar a cabo el reemplazo, momento en el cual el equipo deja de prestar un trabajo eficiente y económico sugiere que cada sistema productivo tome decisiones adecuadas en cuanto a la sustitución de sus equipos.

Aduvire (1990), aplica un modelo que permite calcular la evolución de la rentabilidad económica de un equipo basado en el estudio de la variación de las horas de paradas e incrementos de los costos. Él plantea dos aspectos principales en la vida económica de la maquinaria utilizada en explotación a cielo abierto: el mantenimiento y su reemplazo posterior, debido al deterioro físico que experimentan con el tiempo en el desarrollo de la minería. El autor considera que el mantenimiento tiene gran importancia por el volumen de capital invertido en maquinaria y su influencia sobre los costos de explotación, por ello, el interés en desarrollar una teoría general del mantenimiento en la mina, con el propósito de implementar el mantenimiento predicativo como una actividad complementaria de conservación de equipos. Además, plantea que una conveniente formulación del proceso de

reposición de una máquina minera juega un papel económico muy importante en la rentabilidad de la explotación minera a cielo abierto.

Las causas del envejecimiento de los equipos y sus fallas son abordadas por Espinosa (1990), explica que aunque la misión del mantenimiento es la de conservar los equipos en la mejor forma posible, muchas fuerzas se oponen a este empeño, de tal modo, que tarde o temprano el equipo pierde por completo las condiciones técnicas que lo habilitan para prestar determinado servicio. Este autor propone en su modelo, que el reemplazo de un equipo debe surgir del cruce histórico del mantenimiento y la pérdida del valor del equipo, supone factores de ocurrencia propia de la situación específica del equipo, agrupados en: la obsolescencia, la inadecuación y la ineficiencia.

Mira (1994), expone un modelo con un criterio de optimización para determinar a priori la vida de un equipo, basado en el cálculo del número de años de uso, que conduce a un costo anual equivalente mínimo del equipo, buscando tomar decisiones en un horizonte de planeación amplio, para el que se requiere más de una renovación para obtener una política de reposición global u óptima. Razonable cuando se desconocen las opciones futuras, óptima en relación con la información disponible.

Cantillo (1998), reconoce que con el transcurso del tiempo es tal el deterioro de una máquina, que en vez de constituir para el propietario un bien de producción, se convierte en un gravamen. Por otra parte, con el incremento de las averías aumentan los tiempos improductivos llegan incluso a afectar la productividad de otros equipos que trabajan conjuntamente con ellos. El autor crea el modelo de los costos promedios acumulados propuestos que consiste en registrar anualmente los costos fijos, variables, los costos por maquinaria parada y efectuar el reemplazo cuando el

costo medio anual acumulado sea mínimo, equivalente al óptimo, en la toma de decisión de reemplazo.

Ray (1999), crea un método destinado a facilitar el reemplazo óptimo de equipos, cuyo único objetivo aparente es poner en evidencia ciertas consideraciones sin las cuales cualquier decisión tomada carece de validez práctica. Es claro, al poner en evidencia la irrealidad de un modelo planteado sobre un ambiente que no tiene en cuenta la inflación, en el cual probablemente las variables de decisión pueden ilustrar una falsa realidad y por tanto facilitar la toma de decisiones erradas. También anota la inutilidad de una decisión de reemplazo tomada sobre la incertidumbre de los recursos disponibles para la adquisición del nuevo equipo, por lo que recomienda incluir en el análisis de reemplazo un presupuesto de recursos y una conciente prioridad de los mismos.

Autores como Abarca y Alvarado (2000), proponen un método de cálculo de vida útil técnica del equipo (VUT), entendida como el período de tiempo durante el cual un determinado bien o componente presta el servicio para el cual fue diseñado, y mantiene su integridad estructural. El procedimiento, para calcular la VUT del equipo, consiste en efectuar una inspección del bien en estudio, determinar las cargas de servicio que actúan sobre éste, identifica el régimen de trabajo y posteriormente efectuar cálculos y determinaciones sobre el proceso de envejecimiento controlado por algún fenómeno cuya evolución temporal es conocida.

Poveda (2002, 2003), formula un modelo matemático que establece aspectos de la operación del equipo, de tipo cuantitativo, en forma de funciones algebraicas de variables reales, evalúa las condiciones de operación del equipo y busca el período de tiempo en que se obtiene la mayor rentabilidad promedio anual. Divide la

investigación en dos etapas: la primera para determinar el problema y la segunda, para establecer el modelo matemático.

Bottíni (2008), plantea que “prediciendo cuando las fallas probablemente ocurran, se puede determinar el mejor momento para el mantenimiento preventivo (Reemplazo Preventivo) y las políticas de mantenimiento relacionadas con el período óptimo para operar hasta la falla o inspección”. Además, define al modelo matemático, como “una de las principales herramientas en este avance científico hacia la optimización de las decisiones de gestión. En la aplicación de técnicas cuantitativas de optimización del mantenimiento, el tipo de modelo usado es frecuentemente un modelo simbólico donde los componentes del sistema están representados por símbolos y la relación de estos componentes está representada por ecuaciones matemáticas”.

Los modelos de Selivanov, Aduvirre, Espinoza, Mira, Cantillo, Abarca, Alvarado, Ray, Poveda, Bottíni, generalmente, le dan un gran valor al servicio de mantenimiento, incluido sus gastos, pero no suman otros aspectos dentro de los servicios técnicos que son determinantes en la eficiencia de la explotación de un equipo minero.

Los modelos límites, buscan encontrar el instante de tiempo en el cual se alcanza un parámetro previamente establecido, estos son: modelo de renovación de equipos en grupo y modelos de costos acumulados de mantenimiento, los cuales son resueltos a través de programación dinámica, se cita a Figuera y Figuera (1979), que plantean la renovación de equipos en grupo. Estos autores, ilustran que los equipos industriales se deben retirar del servicio debido a razones técnicas: las de destrucción física e imposibilidad de prestar un nivel de servicio adecuado y por razones económicas: las que comprometen la competitividad del equipo y que con el tiempo se produce una

degradación del rendimiento económico, es decir el envejecimiento de los equipos, el cual se evidencia cuando es preciso gastar cada vez más, con una disponibilidad y calidad cada vez menores y la obsolescencia por la evolución del contexto socioeconómico y especialmente el progreso tecnológico en el cual se desarrollan las actividades de la empresa.

Otro modelo límite, es el propuesto por Beichelt (2001), que está soportado sobre los costos acumulados de mantenimiento. Éste permite valorar el tiempo en que los equipos pierden su rentabilidad económica y solo tiene en cuenta los mantenimientos. Al igual que el modelo de Figuera y Figuera, éste es obtenido a través de programación dinámica.

Los modelos de Figuera y Figuera y de Beichelt, son útiles para el análisis de los aspectos técnicos y económicos que afectan la eficiencia de los equipos. Inicialmente se realiza por aspecto y después se unen criterios para definir. Como deficiencia se señala que no evalúan todos los términos de los servicios técnicos de la contratación, que influyen en la eficiencia de la explotación de los equipos.

Botín (1986), diseña un modelo de renovación y reparación preventiva de motores, que permite valorar los efectos económicos de cada política de mantenimiento del motor sobre la economía, el rendimiento y fiabilidad global del sistema de transporte en el cual operan. El modelo además permite resolver: la estimación de planes de inversión a mediano y largo plazo, la disponibilidad global del sistema, el plan de reparación, la flota necesaria para cubrir el plan de producción y otros parámetros del sistema de transporte, incluye la estimación de su precisión y límites de variación. Este autor clasifica los diferentes tipos de averías en grupos de acuerdo con su causa y caracteriza mediante modelos matemáticos la fiabilidad, el mantenimiento y el

costo de reparación asociados a estos grupos, estimándolos con la aplicación de las técnicas de simulación de tiempo.

Alfaro (2002), define que el éxito de los equipos mineros depende, fundamentalmente, de las condiciones que se garanticen en la negociación, las cuales permitan lograr mayores niveles de eficiencia, y destaca que en éstas condiciones las relacionadas con el mantenimiento, son básicas.

López (2005), plantea que inicialmente en la adquisición de equipos para proyectos de explotación minera, junto con la flota, el cliente compraba un motor, una transmisión y otros componentes como repuesto; hoy las empresas que prestan servicios a los equipos adquiridos por contratos de compras tienen los componentes disponibles, pero no asignados a cada cliente, usan las sinergias que le produce atender una cantidad importante de equipos similares. No mantienen personal para cambio de componentes en cada contrato, sólo un equipo de servicios especializado en cambiar componentes que acude a donde sea necesario, esto disminuye el costo del servicio de mantenimiento.

Scott (2005), cita que existen empresas las cuales a través de arrendamiento (Leasing), ofrecen apoyo financiero y otras soluciones a los clientes. Además de equipos, repuestos o servicios de mantenimiento, preparan soluciones para que el cliente logre el menor costo por tonelada. Señala además que no se trata sólo de tener el menor precio, la mayor productividad, o el menor costo de mantenimiento, sino de ofrecer la solución, la cual en conjunto den las mejores condiciones al cliente para explotar la técnica adquirida. Por ello las empresas de servicios, no sólo prevén financiar equipos, sino también diseñar, construir y financiar instalaciones de mantenimiento.

El Leasing en Rusia según Agachanof (2010), es la mejor alternativa después de la crisis para las industrias, incluida la minera, pues garantiza la explotación del bien arrendado sólo con el pago de la renta mensual y los servicios técnicos son ejecutados por las empresas financieras, además de la opción de eliminar gastos por reemplazamiento de equipos.

Rajutin (2010), muestra que los métodos existentes de análisis matemáticos y técnicos, para calcular el número necesario de piezas de repuesto, no toman en cuenta los efectos de cambio de los parámetros de los elementos del funcionamiento hidráulico de las máquinas de la minería en diferentes condiciones.

Las publicaciones de Botin, Alfaro, López, Scot, Agachanof, Rajutin, solo tienen en cuenta en los servicios técnicos los aspectos relacionados con el mantenimiento y la reparación de los equipos, sin poner de manifiesto, hasta qué punto puede extenderse la vida útil con aplicación de las tecnologías de avanzadas referidas en el servicio. Además no relacionan los servicios técnicos de la contratación como aspecto de gran influencia en el rendimiento de los equipos.

Los modelos estudiados no responden adecuadamente a las condiciones y aspectos relacionados con el uso de los equipos mineros hasta su reemplazo, sin embargo Arellano (2001), considera que la técnica más importante para hacer deducciones sobre el futuro en base a lo ocurrido en el pasado, es el análisis de series de tiempo, basado en las innumerables aplicaciones que permiten realizar en distintas áreas del conocimiento, tales como: la economía, la física, la geofísica, la química, la electricidad, la demografía, el marketing, las telecomunicaciones, y el transporte (tráfico urbano).

Por otra parte, Vásquez et al. (2008), plantean que las series de tiempo, son utilizadas por diversas organizaciones que necesitan conocer el comportamiento futuro de

ciertos fenómenos con el fin de planificar y prevenir lo que ocurrirá con la variable analizada, a partir del comportamiento que haya tenido la misma. Éstos destacan que son muy útiles en predicciones a corto y mediano plazo, con mayor aplicación en proyectos y están relacionadas con la demanda de un producto, las ventas, las decisiones sobre inventario y los insumos, además, especifican que no son útiles para el diseño de un proceso productivo, porque son proyectos a largo plazo y no se disponen de datos históricos.

Lazarte y Naidicz (2009), aplican la serie de tiempo como series temporales en el análisis del comportamiento de la velocidades máximas del viento y las precipitaciones pluviales en períodos mensuales y la definen como un conjunto de observaciones de una variable en un cierto período, en donde cada dato tiene su ubicación exacta en el tiempo. Recomiendan en el análisis extraer primero la componente estacional, luego las componentes tendencia y ciclos, aunque en muchos casos se estiman las componentes de tendencia y ciclos juntas, es decir, como una sola componente.

Ruiz et al. (2011), usan las series de tiempo en el pronóstico de la producción de caña de azúcar, porque permiten examinar los rendimientos esperados y de este modo determinar las demandas futuras sobre sus insumos e inventarios teniendo en cuenta las producciones de años anteriores. Se utiliza el modelo de Box-Jenkins con el modelo auto regresivo integrado de medias. Concluyen que el modelo auto regresivo integrado de medias móviles (ARIMA) propuesto, es apropiado en el pronóstico de la producción y que resulta de gran utilidad en la toma de decisiones y destacan la importancia de introducir los métodos de series de tiempo en el análisis de pronósticos productivos de la agroindustria azucarera, con el objetivo de

contribuir a una mejora sustancial en la planeación productiva de los centrales para optimizar los recursos existentes y evitar pérdidas futuras en el mercado.

Terrádez (2011), aplica las series de tiempo para comprender qué sucede con los datos (patrón de comportamiento) y predecir valores futuros en dos ejemplos: en la fluctuación de los empleados en las empresas y la evaluación de la temperatura de un río, a través de la aplicación de un software. El autor plantea que normalmente, la mejor forma de comenzar a analizar los datos de una serie temporal es representar las observaciones versus el tiempo a fin de detectar tendencias, patrones estacionarios. Si la variabilidad de la serie cambia con el tiempo, es conveniente aplicar una transformación a los datos que estabilice la varianza y se utiliza una transformación logarítmica o considerar el cambio porcentual de cada observación a la siguiente (en lugar de las propias observaciones). El estudio de la variabilidad, se realiza con la aplicación del software estadístico (MINITAB).

De las publicaciones de Arellano, Vásquez et al., Lazarte, Naidicz, Ruiz et al., y Terrádez, es útil para el problema de la investigación que las series de tiempo son útiles para pronosticar la tendencia del comportamiento del objeto de estudio y se destaca la importancia de los datos históricos de las variables analizadas en el proceso de análisis y predicción. Aunque en estas bibliografías los estudios relacionados con el comportamiento de equipos se corresponden a los de tráfico urbano, se justifica la aplicación de este método estadístico en el análisis del rendimiento de los equipos mineros.

1.4 Análisis de los trabajos precedentes relacionados con la temática en Cuba

De forma general en Cuba, se han realizado investigaciones relacionadas con el reemplazo de equipos para la agricultura y el transporte de pasajeros y aún son insuficientes los que abordan el estudio del equipamiento minero.

Bruzos et al. (2001), evalúan los factores que influyen en la toma de decisiones para la política de remotorización del parque automotor del país. Considera que la remotorización de vehículos en Cuba, se ha convertido en práctica común, y que existen diferentes talleres y empresas que se dedican a esta actividad. Sin embargo, en las evaluaciones realizadas del esquema establecido de remotorización, se ha observado una deficiencia marcada en los métodos y procesos utilizados para la adaptación de los motores en los vehículos, notándose consecuencias negativas en el proceso de explotación, por lo que proponen una metodología integral, que evalúa toda la cadena cinemática del vehículo, por último, se hace una evaluación beneficio - costo de la inversión realizada; así como las posibilidades de servicio y rendimiento del vehículo con la adaptación. Esta metodología no se refiere a equipos de excavación - carga y de transporte de mineral.

Curbeira (2002), destaca que los modelos matemáticos existentes no tienen en cuenta los ingresos para decidir el momento óptimo de la reposición de los equipos y que la programación lineal puede ser aplicada a problemas relacionados con la reposición y el mantenimiento para determinar el momento óptimo de reemplazo de los equipos. El autor utiliza la programación lineal desde la nueva perspectiva de la modelación matemática, obtiene un modelo matemático - teórico para la reposición y el mantenimiento, que incluye los costos y los ingresos (dándose en función de las utilidades), en funciones continuas, discretas y como caso particular de un problema de programación lineal.

Bruzos et al. (2005), realizan una valoración comparativa de los vehículos que se explotan en Cuba, desde el punto de vista de las características técnicas y tecnológicas necesarias para las condiciones actuales y futuras en cuanto a prestaciones, impacto medioambiental, explotación y reparación. También, dan

valoraciones que desde el punto de vista económico, ayudan a comprender la necesidad de emprender una política de reposición del parque automotor, en la medida en que las condiciones del país lo permitan. Estos autores afirman que el nivel tecnológico del parque automotor de carga y pasaje que se explota en Cuba, fabricado en los países del antiguo campo socialista, es totalmente obsoleto en comparación con otros de reciente incorporación al servicio de transportación y lo demuestran de forma cuantitativa, sin embargo, no abordan el tiempo de reemplazo relacionado con los equipos mineros.

La autora de esta investigación (García, 2008), elaboró un procedimiento para el perfeccionamiento de la adquisición y explotación de los equipos mineros en los yacimientos de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, aplicable a cualquier empresa que use equipos de este tipo. El procedimiento permite evaluar la proyección técnica de los mismos, dependiendo de la modalidad de contratación, clasifica dentro de los términos técnicos a los servicios técnicos de la contratación y su efecto a la disponibilidad técnica de los equipos mineros sin llegar a definir la relación de estos servicios con el reemplazo. Candeaux (2011), clasifica los servicios en técnicos, económicos y comerciales para proyectos de adquisición de los mismos. García et al. (2011 y 2013), evalúan los servicios técnicos de la contratación, en dos variantes: evaluación de datos y en el método de Kepner - Tregoe, utilizan en ambas variantes la data histórica de mantenimiento y operaciones por línea de equipos. Éstos establecen los porcentajes de afectación por cada indicador relacionado en los servicios técnicos de la contratación por modalidad de adquisición de equipos y sugiere la aplicación de estos métodos en la selección del proveedor de los equipos mineros.

1.5 Conclusiones parciales

- ✓ En la bibliografía estudiada, el concepto de servicios técnicos está estrechamente relacionado con la reparación y el mantenimiento tanto de los equipos como de sus elementos, sin incluir otros términos que contemplan los servicios técnicos de la contratación.
- ✓ En los modelos encontrados, no se relacionan el rendimiento de los equipos mineros en función del cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación por períodos de explotación que garantice el perfeccionamiento del reemplazo.
- ✓ En las fuentes bibliográficas encontradas, relacionadas con la aplicación de los métodos estadísticos de las series de tiempo, no se relacionan casos de análisis del comportamiento del rendimiento de los equipos mineros.

CAPÍTULO 2. INDICADORES QUE MIDEN EL RENDIMIENTO Y FACTORES QUE INCIDEN EN EL REEMPLAZO DE LOS EQUIPOS MINEROS EN LA EMPRESA COMANDANTE ERNESTO CHE GUEVARA

2.1 Introducción

Entre los principales objetivos de las empresas productoras se encuentra el lograr una correcta armonía entre la producción y los recursos que se emplean para obtener la misma con un alto grado de eficacia (EMPLENI, 2006).

El rendimiento general del laboreo minero de los frentes de excavación - carga en los yacimientos de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, se encuentra por debajo de las productividades medias de explotación establecidas para cada una de las líneas de equipos de excavación - carga y de transporte. Por lo que es necesario estudiar los criterios sobre el rendimiento y su productividad para incrementar la eficiencia de los equipos mineros (Belete et al., 2010).

2.2 Generalidades del equipamiento minero de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara

Al cierre del año 1997 la situación técnica de los equipos mineros era crítica, a tal punto que el 74 % estaba en malas condiciones, el 21 % en estado regular y solo el 5 % en buenas condiciones, lo que provocó grave afectación al cumplimiento de sus parámetros de eficiencia. Por estas razones la mina inició un proceso inversionista

para el reemplazo de los equipos por otros de mejor calidad y alta tecnología de diseño (García, 2008).

El reemplazo se fundamentó en un estudio de factibilidad, donde la base del cálculo para los equipos nuevos fueron los parámetros de diseño de las marcas VOLVO, LIEBHERR y AVELING BARFORD, los parámetros de explotación se tomaron según proyección del plan de los cinco años de minería. La decisión de reemplazar se realizó por los resultados de los costos de operación de los equipos nuevos versus los equipos soviéticos, y la selección del proveedor por facilidades financieras (Cubaníquel, 1996).

A partir del año 2003, la mina debía incorporar al proceso productivo un volumen de mineral superior o igual a 3,7 millones de toneladas base seca, para eso debía remover entre 2,0 a 2,2 millones de m³ de escombros. La solución para dar cumplimiento a este plan fue el arrendamiento, pues los mecanismos existentes de compra de equipos no permiten que las solicitudes comerciales se ejecuten en el mismo año que se solicitan, además del déficit de financiamiento para ejecutar las mismas (García, 2008; García y Donatien 2008; Rajutin y García 2011).

El primer contrato de arrendamiento se ejecutó en el año 2003. Actualmente el 100 % de los equipos de transporte de masa minera y el 47 % de los equipos de excavación - carga son adquiridos por ésta modalidad de contratos (García et al., 2006; García y Donatien 2008).

La condición del pago por los servicios de arrendamiento es la disponibilidad técnica. Para los contratos de vigencia a tres años en dos variantes: primera variante 90 % todo el período de contrato; segunda variante: primer año 95 %, segundo año 92 % y tercer año 90 %. Para los de vigencia a cinco años 20 horas diarias

disponibles por equipos equivalente a 83,33 % de disponibilidad técnica (García et al., 2008 y Cuza, 2008).

2.3 Especificaciones técnicas de los equipos mineros en explotación

Los equipos mineros actuales en explotación están diseñados con un alto nivel tecnológico que los hace más eficientes en el cumplimiento de la función para la cual son adquiridos. Entre las especificaciones técnicas fundamentales se citan:

En el camión articulado: capacidad de carga entre 37 a 39 t, cabina climatizada dotada de radio, de reproductora de CD, ergonómica y vista panorámica. Todo esto en combinación con el motor, cajas de cambios, sistema de dirección y asistida por frenos refrigerados por líquido, permite mayor maniobrabilidad del equipo. El alto nivel de automatización facilita mayor información al operador y al personal de mantenimiento. Están dotados de un sistema de comunicación inteligente (señaliza cuando está levantando la caja de volteo, si el cinturón de seguridad está sin abrochar o si las puertas están abiertas). Utilización de controles supervisados de nivel de aceites, líquidos y nuevos tipos de cojinetes. Los cojinetes de articulación del bastidor y de dirección del cilindro son libres de mantenimiento al estar engrasados de por vida. Los controles de nivel corren a cargo del sistema de información. Las superficies antideslizantes y las barandillas facilitan y hacen más seguros el acceso para desplazarse por diferentes partes del equipo. Los controles electrónicos contribuyen a reducir las emisiones al medio, los motores cumplen con las normativas de emisiones EU Step 2. El sistema hidráulico puede utilizar aceite biodegradable. Suspensión hidráulica total en todas las ruedas (VOLVO, 1997, 2003 y 2011).

En las retroexcavadoras hidráulicas: capacidad de la cuchara de 3,7 a 6,2 m³, motor con funcionamiento en cuatro tiempos, inyección directa, turboalimentado y

emisiones reducidas al medio ambiente, filtro de aire seco con separador previo. Cabina insonorizada, cristales tintados, asiento del operador vibro amortiguado con ajuste individual en seis posiciones según el peso del operador, reposacabezas amovible, mandos incorporados en las consolas ajustables con relación al asiento del operador, consulta digital del estado de funcionamiento mediante menú, control automático de alerta acústica y óptica, función de memoria de fallos y climatización por aire fresco (VOLVO, 1997, 2003 y 2011; LIEBHERR, 2003 y 2004).

2.4 Selección de los indicadores que miden el comportamiento del rendimiento de los equipos mineros

Para seleccionar los indicadores que miden el rendimiento se evalúan diferentes metodologías, la de Ballester y Capote (1992) y la de Navarro (2008), coinciden que la capacidad de un equipo de movimiento de tierra, de ejecutar determinada magnitud o volumen de trabajo en un plazo de tiempo determinado, se define como su rendimiento, si lo alcanza en excelente estado técnico y condiciones de explotación es teórico o nominal (RN), ver ecuación 2.1, y disminuye sensiblemente con la distancia de transportación y condiciones reales de explotación. Éste es el mismo que proponen los fabricantes en los catálogos para la venta de los equipos.

$$RN = C \frac{60}{T_c} \quad \text{ó} \quad RN = C \frac{3600}{T_c}, \text{ t/h} \quad (2.1)$$

Donde: C - capacidad de carga, m³; T_c - duración ciclo de trabajo, en minutos o segundos.

Además, definen que en la evaluación del rendimiento real (RR), se tienen en cuenta coeficientes relacionados con las condiciones reales de explotación, que afectan el comportamiento del rendimiento, ver la ecuación 2.2.

$$RR = RN \cdot K_{up}, \text{ t/h, es decir, siempre es } RR < RN \quad (2.2)$$

Donde: Kup - coeficiente de utilización horario que generalmente oscila entre 0,65 a 0,75, siempre es $Kup \leq 1$.

Belete (2000) y Belete et al. (2010), crean una metodología que considera el rendimiento del equipamiento minero óptimo, la cual permite tener en cuenta la sincronización de los equipos de excavación – carga y de transporte de cualquier tipo y capacidad, en función del volumen y la distancia de transportación del material; mediante la determinación de la productividad técnica, de explotación y horaria por la metodología de Britaev y Zamishlaev (1984).

Por otra parte Paraszcak (2005), considera que los índices e indicadores en la actividad minera ayudan a medir la efectividad de procesos ya existentes, comparar diseños de explotación, optimizar los procesos mineros, y determinar la flota de equipos. Los clasifica en índices mecánicos: rendimiento de equipos e instalaciones en el tiempo; en índices mineros: proporción de producto final (calidad y tonelaje) a través de los distintos procesos mineros; en índices de insumos: consumos de elementos por unidades de producto, y en índices de resultados: resultados por período de tiempo y propone para determinar el rendimiento general de un equipo la ecuación 2.3.

$$RGE = D.IU.EP \quad (2.3)$$

Donde: D - la disponibilidad técnica ó índice de disponibilidad técnica; IU - índice de utilización; EP - eficiencia productiva.

La autora de la investigación (García, 2008 y 2011) y García y Charchabal (2003); García et al. (2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2011); Guerra y García (2009), evalúan el comportamiento histórico de los indicadores técnico - productivos y económicos de los equipos mineros de forma individual, como conjunto de equipos y por

modalidad de contratos y define los valores de incidencias de los coeficientes planteados por Navarro (2008) en el comportamiento de los indicadores que miden el rendimiento, que se relacionan a continuación:

Coeficiente horario o tiempo para necesidades personales de los operadores (K_h), se comporta en 0,83; el coeficiente de adaptación del equipo a la labor que realiza (K_a), se comporta entre 0,65 a 0,95; el coeficiente de organización para el cumplimiento de la explotación minera (K_o), oscila desde 0,60 a 0,95, (mientras más alto mejor); el coeficiente de eventualidad o pérdidas de tiempo (K_{ev}), por las lluvias del 5 al 10 % de las horas efectivas; por roturas del 5 al 12 %; las movilizaciones militares, los desastres naturales y otras imprevistas hasta un 6 %; el coeficiente de utilización del turno que oscila de 0,50 a 0,83.

También determina la influencia que tienen los indicadores técnico - productivos en los indicadores económicos y la relación de estos últimos con el comportamiento del rendimiento general de los equipos mineros y selecciona los indicadores que miden el mismo, aplicando para su definición la metodología de Paraszcza (2005) y Belete et al. (2010), entre los que cita:

$$1. \text{Horas disponibles: } HD = HH - Ha, h \quad (2.4)$$

Donde: HH - horas hábiles o totales

$$HH = Hd(Cd), h \quad (2.5)$$

Hd - horas días; Cd - cantidad de días; Ha - horas averías

2. Horas efectivas (H_e)

$$3. \text{Horas imprevistas: } HI = HD - H_e, h \quad (2.6)$$

$$4. \text{Índice de disponibilidad: } ID = \frac{HD}{HH} \quad (2.7)$$

$$5. \text{ Índice de utilización: } IU = \frac{He}{(He + HI)} \quad (2.8)$$

6. Producción (P)

$$7. \text{ Productividad horaria o rendimiento efectivo: } RE = \frac{P}{He}, \text{ t/h} \quad (2.9)$$

$$8. \text{ Eficiencia Productiva: } EP = \frac{P.100\%}{HH - (HM + HI).RE}, \% \quad (2.10)$$

Donde: HM, horas de mantenimiento

9. Gastos de operación (Go)

$$10. \text{ Costo horario: } Ch = \frac{Go}{He}, \$/\text{h} \quad (2.11)$$

$$11. \text{ Costo de operación: } Co = \frac{Go}{P}, \$/\text{t} \quad (2.12)$$

2.5 Evaluación de los indicadores que miden el rendimiento de los equipos mineros por períodos de explotación

Toirac (2010), evalúa el rendimiento mediante el comportamiento de los indicadores técnico - económicos de los equipos de transporte de masa minera, para determinar su vida útil en las condiciones de explotación en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Mbalongany (2010), realiza el mismo análisis para equipos de extracción - carga. Ambos no tienen en cuenta el efecto de los servicios técnicos de la contratación. Durante la investigación García (2008, 2011 y 2011*) y García et al. (2013), reevalúan el rendimiento y definen la vida útil para las condiciones de explotación de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara y determinan la factibilidad económica de estos equipos en condiciones de explotación menos severa, al ser comprados o arrendados por otras empresas, al disminuir el valor de los mismos entre 247 000 a 300 000 USD, dependiendo de su valor inicial. También definen que el comportamiento de los indicadores que miden el rendimiento,

se fundamenta a partir de los criterios siguientes: el sistema comercial para la adquisición de partes y piezas, el estado técnico de los equipos durante su vida útil y las incidencias del cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación. La evaluación de estos indicadores se realizó para las diferentes líneas de equipos en las modalidades de compra y arrendamiento, para un período de cinco años de explotación de un equipo como promedio de cada flota.

En los equipos de excavación - carga, las retroexcavadoras adquiridas en la modalidad de compra, han demostrado mayor eficiencia y estabilidad en la explotación, alcanzando el punto crítico a los tres años y medio de vida útil, como se muestra en la figura 2.1.

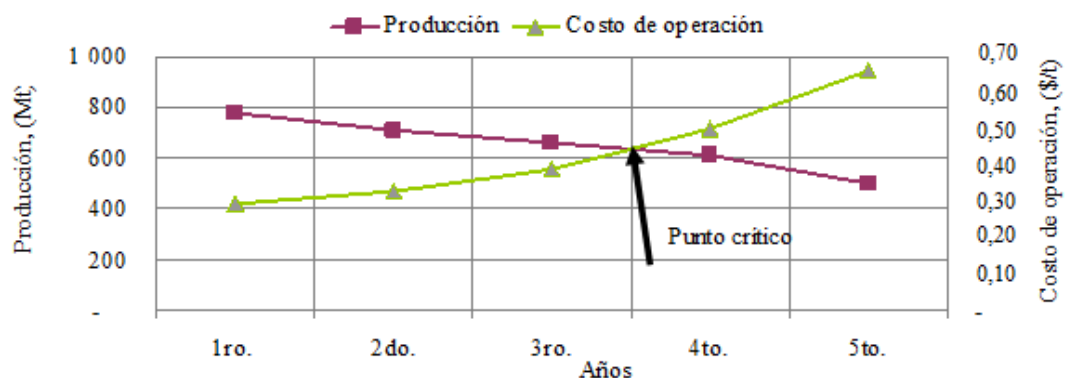


Figura 2.1. Comportamiento de la vida útil de la retroexcavadora en la modalidad de compra.

El índice de disponibilidad técnica comienza a disminuir después del tercer año de vida donde se comporta por debajo de 85 %, por la estadía en el taller de reparación. El incremento de las horas en averías trasciende en el índice de utilización y en la eficiencia productiva que disminuye desde el primer año hasta el quinto año en un 12 %, como aparece en la figura 2.2 y en tabla 1 del anexo 2.

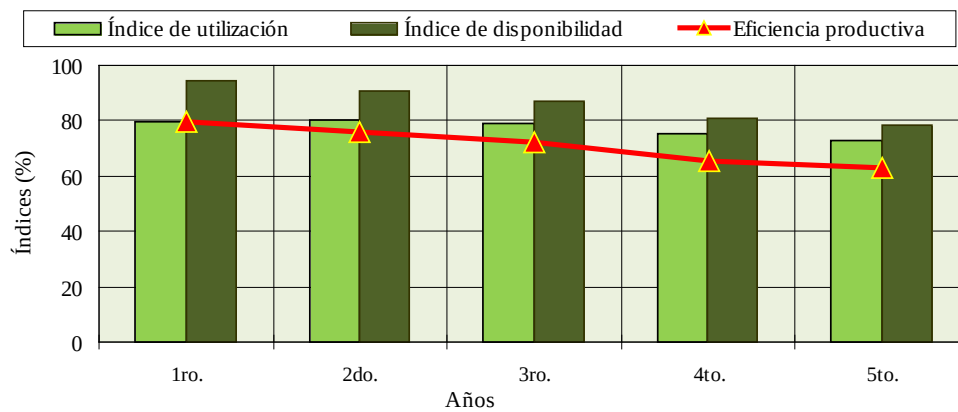


Figura 2.2. Comportamiento de los índices en la retroexcavadora en la modalidad de compra.

Las retroexcavadoras en la opción de arrendamiento, al iniciar las 12 000 horas efectivas comienzan a disminuir su eficiencia, y el punto crítico se presenta al terminar el tercer año de vida útil, aunque tienen mayor garantía en el cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación, como se muestra en la figura 2.3.

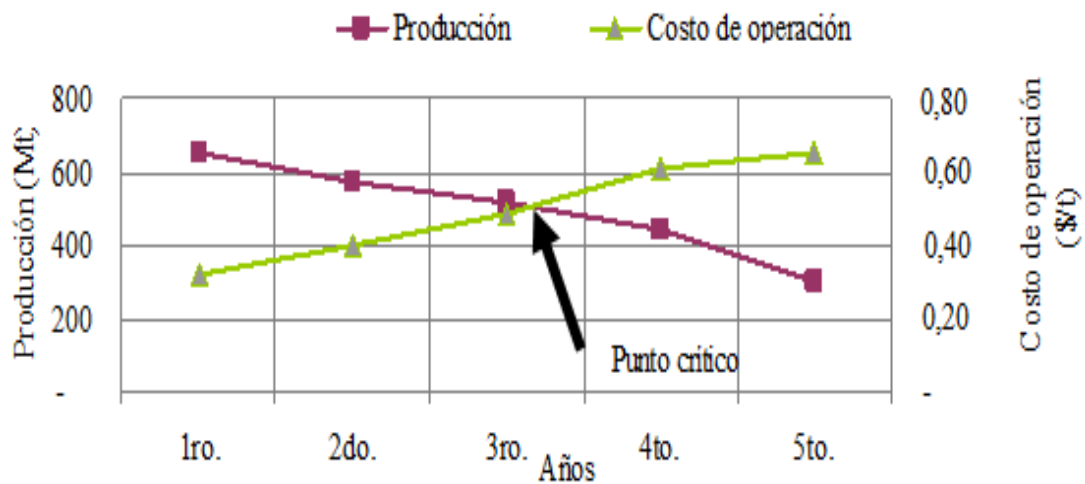


Figura 2.3. Comportamiento de los índices vida útil de la retroexcavadora en la modalidad de arrendamiento.

La falta de piezas de repuesto afectó los índices de disponibilidad técnica y de utilización. Lo anterior ocasionó el decrecimiento de la eficiencia productiva, después del segundo año de vida, además por disminución de la productividad

horaria hasta en 10 t/h por tener el estado técnico regular y malo por derrame de lubricantes en diferentes agregados debido al desgaste de los mismos, como se muestra en la figura 2.4 y en la tabla 2 del anexo 2.

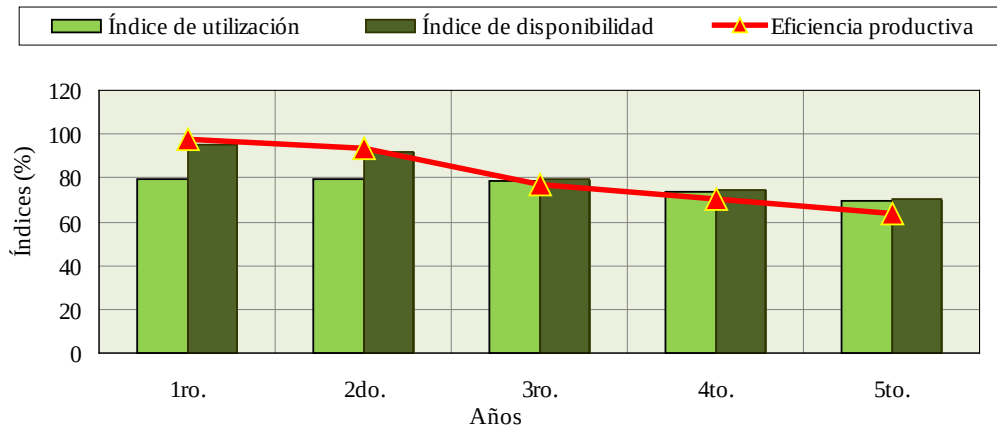


Figura 2.4. Comportamiento de los índices en la retroexcavadora en la modalidad de arrendamiento.

En la figura 2.5 se muestra que los equipos de transporte de masa minera, camiones articulados, el rendimiento en la opción de compra es menor que en la opción de arrendamiento, porque los servicios técnicos de la contratación no se garantizan con el mismo alcance y el costo de operación se incrementa a partir de las 12 000 horas efectivas entre 0,22 a 0,76 \$/t. Su eficiencia comienza a disminuir a partir del tercer año de vida útil siendo su punto crítico en el cuarto año.

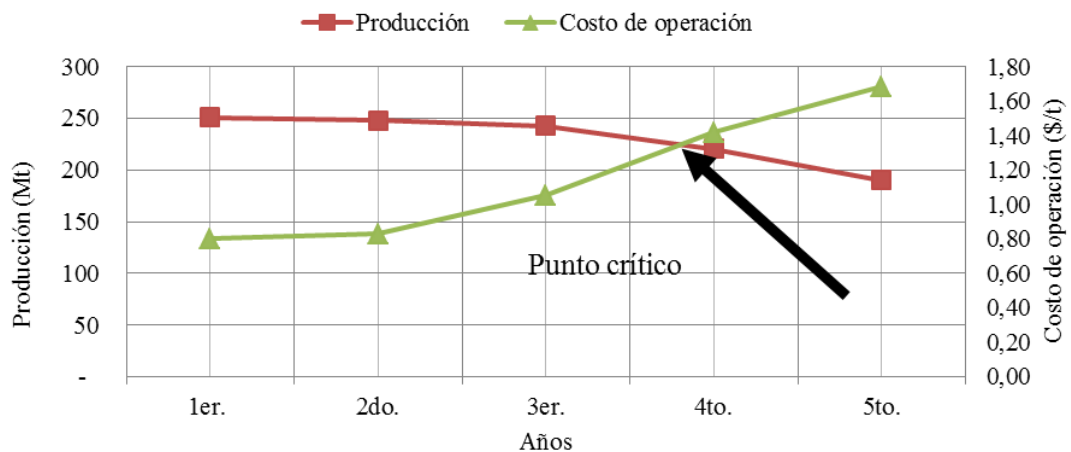


Figura 2.5. Comportamiento de la vida útil de los camiones articulados en la modalidad de compra.

Los índices de disponibilidad y utilización decrecen a partir del tercer año por averías. La disponibilidad técnica solo se utiliza hasta un 90 % por afectaciones imprevistas como: la falta de operador, de combustible y de equipos para el suministro de combustible; por frentes de extracción no disponible, que promedian 992 horas por año, como se muestra en la figura 2.6 y en la tabla 3 del anexo 2.

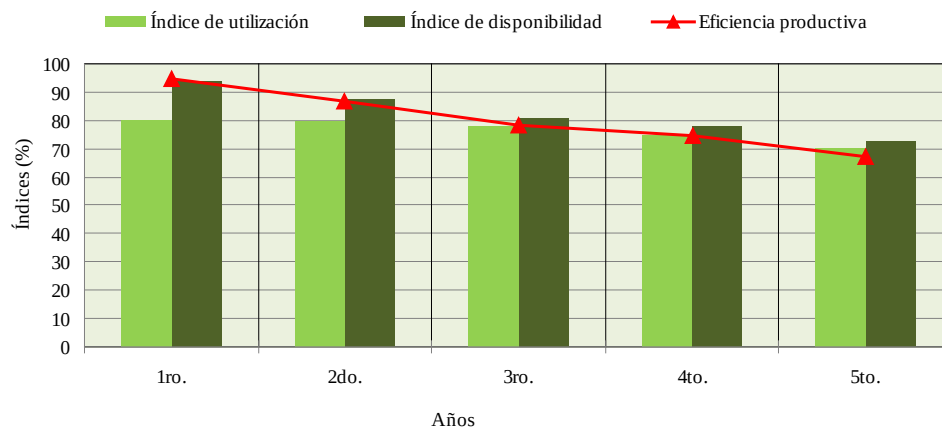


Figura 2.6. Comportamiento de los índices de los camiones articulados en la modalidad de compra.

Como se muestra en la figura 2.7, en la modalidad de arrendamiento el período crítico se presenta al finalizar el cuarto año de vida útil en que el costo de operación se incrementa hasta en 0,12 \$/t con relación al inicial.

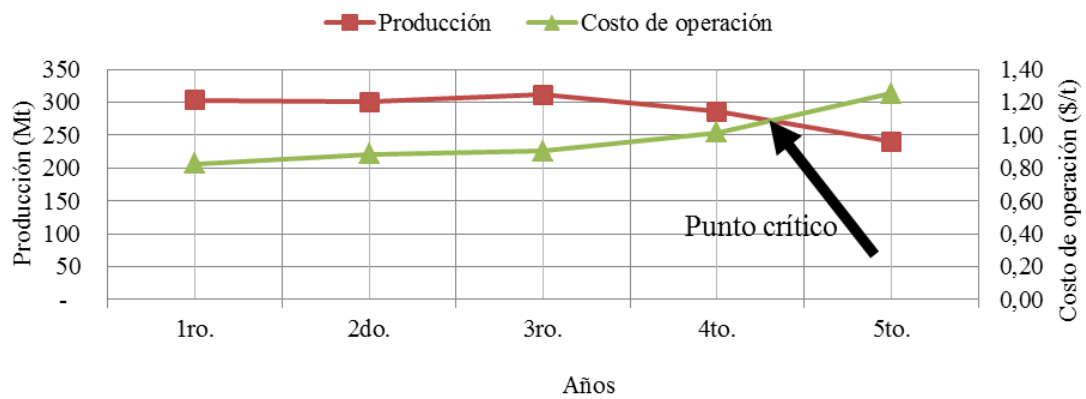


Figura 2.7. Comportamiento de la vida útil de los camiones articulados en la modalidad de arrendamiento.

Los índices de disponibilidad técnica y utilización también disminuyen en mayor porcentaje en el cuarto año. Las afectaciones imprevistas promedian 800 horas por año (figura 2.8 y tabla 4 del anexo 2).

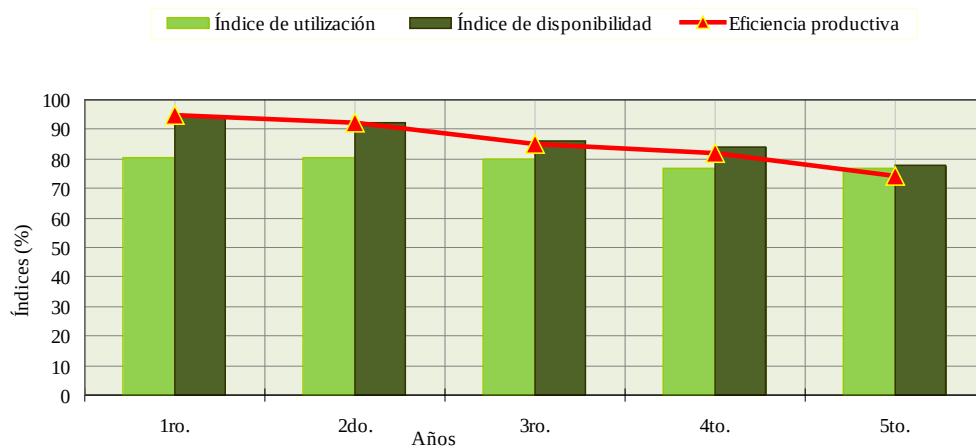


Figura 2.8. Comportamiento de los índices en los camiones articulados en la modalidad de arrendamiento.

2.6 Incidencias de los servicios técnicos de la contratación en el rendimiento de los equipos mineros

Para evaluar la incidencia de los servicios técnicos de la contratación, en la explotación de los equipos mineros, se emplearon dos métodos: la matriz de Kepner - Tregoe y la evaluación de datos. La elección de los métodos se basó en la utilización de la matriz para evaluar la incidencia de los servicios técnicos de la contratación en la explotación de los equipos mineros, y la evaluación de datos como método auxiliar para comprobar los resultados de la misma. Ésta matriz, es un procedimiento que permite seleccionar la mejor opción posible, con las mínimas consecuencias negativas (Pérez, 2008 y Kepner - Tregoe, 2005).

La aplicación de la matriz consiste en valorar cada término con una puntuación del uno al tres en dependencia del nivel de importancia. El valor tres significa alta importancia, el valor dos media y el valor uno baja. Por la influencia que tienen los servicios técnicos de la contratación en el cumplimiento de los indicadores técnico - productivos y económicos de los equipos mineros, se considera que todos los términos tienen alto nivel importancia (se le debe otorgar el valor máximo tres puntos). Esto condiciona la aplicación de la matriz para cada tipo de contrato. Los términos se dividen en técnicos y comerciales y se seleccionan en dependencia de las características del tipo de contrato a evaluar, estos se muestran en las figuras 1 y 2 del anexo 3.

Posteriormente a los componentes de cada término, se le da un valor del uno al cinco en dependencia del nivel de alcance que tenga en el cumplimiento. La puntuación para cada componente se determina multiplicando el nivel de importancia de cada término por la puntuación del mismo, en función del cumplimiento de lo establecido

en los contratos de adquisición de los equipos. Los criterios para asignar la puntuación a cada componente se plantean en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Criterios para la evaluación de los servicios técnicos de la contratación.

Evaluación	Puntos	Observación
Máxima	= 5	Cumplimiento de todos los términos a partir de 95 %
Media	4 - 3	Cumplimiento de todos los términos entre el 75 al 94 %
Baja	< 3	Cumplimiento de todos los términos por debajo de 75 %
Nula	= 0	Cumplimiento de todos los términos al 0 %

La aplicación del método de evaluación de datos se fundamenta sobre la existencia de una base de datos de explotación de los equipos, desde su puesta en marcha, que incluye todos los parámetros técnicos e indicadores que miden el rendimiento, (diarios, mensuales y anuales) y de información técnica mensual, trimestral y anual del comportamiento de los equipos mineros, elaborada por los sistemas de análisis del despacho de producción y de gestión de mantenimiento.

La evaluación de datos consiste en otorgar una cantidad de puntos por flotas de equipos y proveedor, dependiendo del cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación durante el período evaluado. Los criterios para asignar la puntuación a cada término son también los que se plantean en la tabla 2.1.

Los servicios técnicos de la contratación no tienen las mismas características en las diferentes modalidades de contratos, ya que dependen de la vigencia de los mismos, las condiciones de explotación, nivel de exigencia, y los sistemas de penalización. Esto condiciona la aplicación de la metodología para cada tipo de contrato.

Como resultado de los métodos de análisis y como un aporte de la investigación la autora de la misma y otros (García, 2011; García et al., 2011 y 2013), ponen de

manifiesto los porcentajes del cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación en las labores de excavación - carga y de transporte de masa minera y los porcentaje de afectación a la flota y a un equipo. Este se resume en la opción de compra un 2,16 % y a la opción de arrendamiento en 0,12 % para un total de 2,28 %, como se muestra en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Valores relativos de afectación de los servicios técnicos de la contratación

Métodos de análisis	Matriz Kepner - Tregoe			Evaluación de datos		
Términos	Técnicos	Comerciales	Total	Técnicos	Comerciales	Total
En la opción de compra						
% de cumplimiento al total equipos	91,85	52,00	143,85	92,22	56,00	148,22
% afectación al total de equipos	8,15	48,00	56,15	7,78	44,00	51,78
% afectación por equipo (unitario)	0,31	1,85	2,16	0,30	1,69	1,99
En la opción de arrendamiento						
% de cumplimiento al total equipos	96,67	97,00	193,67	96,67	97,00	193,67
% afectación al total de equipos	3,33	3,00	6,33	3,33	3,00	6,33
% afectación por equipo (unitario)	0,07	0,06	0,12	0,07	0,06	0,12

Además definió la representatividad de este porcentaje a los indicadores que miden el rendimiento, es decir: a la utilización 0,85 %, a la productividad 0,41 % y a la disponibilidad 1,02 % (García et al., 2011 y 2013).

2.7 Selección de los factores que inciden en el reemplazo de los equipos mineros

En la actualidad el reemplazo está muy relacionado con el costo de mantenimiento y reparación de los equipos y el incremento del mismo está en función del descenso de su rendimiento, como consecuencia del deterioro o desgaste físico causado por el uso y acción de agentes externos, que ocasiona desventaja económica por la decadencia del servicio.

En general la necesidad de reemplazar un equipo no es la misma que para el resto de la flota, también varía de una empresa minera a otra, de acuerdo a las condiciones en la que se desarrolla la explotación. Las condiciones de explotación se clasifican en favorables, medias y severas (Ballester y Capote, 1992 y Navarro, 2008). Basado en estos criterios García (2008) y García et al. (2011), establecen para el caso de estudio las condiciones de explotación en las que incluyen los servicios técnicos de la contratación, realizándose generalmente en condiciones de categorías de medias. Éstas se muestran en la tabla 5 del anexo 4.

Los factores que inciden en el reemplazo tienen estrecha vinculación con las condiciones generales de explotación de los equipos mineros. La autora de la investigación en el año 2011, además de considerar los factores internos y externos tenidos en cuenta por otros autores (Cantillo, 1998; Bottini, 2008 y Barreto, 2008), denomina los factores técnicos y plantea que son los de mayor influencia en el reemplazo de los equipos mineros:

Factores internos: el capital disponible, la inercia, la ingeniería o cambios tecnológicos y los estados financieros por el cumplimiento de la producción.

Factores externos: la inflación, los estados financieros por el comportamiento de las ventas y la estandarización.

Factores Técnicos:

1. Las condiciones y organización de la explotación minera.
2. Habilidad y experiencia del personal de operaciones.
3. Cumplimiento de las normas de explotación.
4. Preparación del personal de servicios técnicos.
5. Cumplimiento de los ciclos de mantenimiento y de las reparaciones.
6. Cumplimiento de los términos pactados en los contratos de adquisición de equipos relacionados con los servicios técnicos de la contratación.

2.8 Conclusiones parciales

- ✓ Se seleccionaron y evaluaron los indicadores que miden el rendimiento de los equipos mineros, para las condiciones de explotación en los yacimientos de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.
- ✓ Se evaluaron los efectos del cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación en el rendimiento de los equipos mineros por períodos de explotación y por modalidad de contratos.
- ✓ Se determinaron los factores que inciden en el reemplazo de los equipos mineros, resultando ser los factores técnicos los de mayor incidencia en el mismo.

CAPÍTULO 3. ELABORACIÓN DEL MODELO DE RENDIMIENTO PARA PERFECCIONAR EL PROCEDIMIENTO DEL REEMPLAZO DE LOS EQUIPOS MINEROS

3.1 Introducción

La industria minera se enfrenta al problema de renovar y modernizar sus equipos en la medida que los nuevos ofrecen oportunidad de ahorros en los costos operativos, y cuando una empresa tiene establecida una política eficiente de reemplazo de los equipos mineros, significa estar en ventaja competitiva. El rendimiento, es uno de los aspectos que debe ser modelado para obtener sus valores máximos y mínimos durante la vida útil de los equipos y mediante estos resultados definir el reemplazo.

Los métodos estadísticos permiten diseñar modelos sobre situaciones reales con la finalidad de comprender el comportamiento o evaluar nuevas estrategias dentro de los límites impuestos por un criterio o conjunto de ellos, evitar altos costos en el tiempo, disminuir el riesgo de decisiones tempranas y explorar un campo más amplio de posibles soluciones (Maxera, 2005).

Lo anterior justifica el modelo de rendimiento de los equipos mineros para validar el procedimiento para el reemplazo de los equipos mineros de excavación - carga y de transporte de masa minera.

3.2 Estructura del Procedimiento para el reemplazo de los equipos mineros

El procedimiento consta de cuatro etapas:

Etapa 1. Proyecto minero.

Etapa 2. Proceso de contratación de los equipos mineros.

Etapa 3. Explotación y reemplazo de los equipos mineros mediante la aplicación del modelo de rendimiento de los mismos.

Etapa 4. Evaluación del proveedor contratado.

3.2.1 Etapa 1. Proyecto minero

El proyecto minero incluye, la información geológica integral de los yacimientos minerales para su explotación eficiente; el modo y sistema de explotación a emplear y que la determinación de los mismos es parte integrante del proceso de la tecnología para lograr una correcta elección de los equipos mineros (Cisnero, 2003 y Estudios mineros del Perú, 2010); la selección de equipos mineros se realiza por diferentes criterios que se resumen: en básicos, en específicos, de servicios y económicos, en los que se incluyen como variables el método y sistema de explotación, el rendimiento y su productividad, los índices técnico - económico - productivos (Xiribimbi, 1999; Ortiz et al., 2002 y Belete et al., 2003 y Belete et al., 2010) y la cantidad de equipos se determina por la metodología de cálculo aprobada por el Instituto Superior Minero Metalúrgico para la especialidad de Ingeniería de Mina, ver el anexo 5. En este proceso se incluyen los servicios técnicos de la contratación por su influencia en el rendimiento de los equipos mineros, los cuales se muestran en la figura 1 del anexo 6.

La aprobación de la selección y cantidad de tipo de equipo, en las empresas del Grupo Empresarial Cubaníquel para aplicar cualquier variante de solicitud de equipos, se requiere de los niveles de aprobación, como se muestra en la figura 3.1.

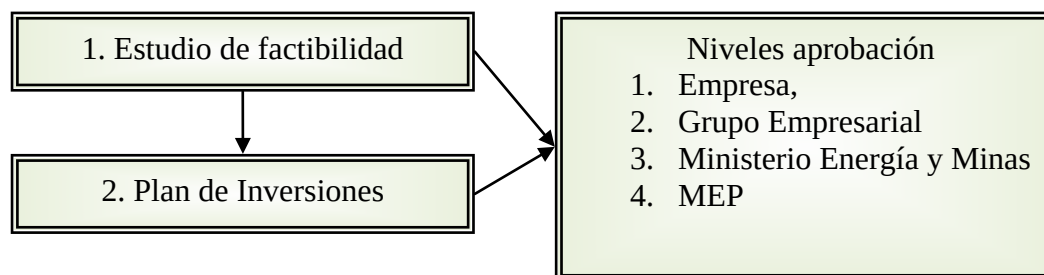


Figura 3.1. Diagrama de los pasos a seguir para la compra de equipos.

En el estudio de factibilidad se establecen los parámetros de la fundamentación técnico - económica para la adquisición de los equipos y se propone que en éste quede definida la modalidad de adquisición de los equipos por compras o arrendamiento.

Desde la selección de los equipos se proyecta el plan de inversiones, para la aprobación de los mismos. Si es por la modalidad de arrendamiento se necesita una solicitud que también incluye la fundamentación técnico - económica para ejecutar los contratos por plazos mayores de seis meses (Rodríguez 2002 y 2002*). Esta solicitud de operación tiene los mismos niveles de aprobación que el plan de inversiones y se ejecuta por el presupuesto de operaciones.

En la evaluación económica del proyecto minero, se pueden utilizar valores reales de los costos incurridos durante un período de tiempo, pudiéndose comparar con los ofertados. Ésta debe relacionar los criterios utilizados para el financiamiento del proyecto y los requisitos que se le exigen a las instituciones que participan en el mismo.

3.2.2 Etapa 2. Proceso de contratación de los equipos mineros

Esta etapa, contiene los pasos y actividades del proceso de contratación de los equipos mineros que comienza desde la solicitud de oferta hasta la adquisición del equipamiento.

El proceso de licitación de los equipos mineros incluye las solicitudes de adquisición con la inclusión de los documentos emitidos por los diferentes niveles de aprobación para la adquisición de los mismos, las especificaciones técnicas y la garantía de los servicios técnicos de la contratación. Por esta solicitud, se realizan las solicitudes de ofertas a los diferentes proveedores por parte de la empresa Importadora del Grupo Empresarial (CEXNI) que actúa como cliente o arrendatario en los contratos.

En la evaluación y reevaluación de ofertas, se hace una valoración de todos los aspectos solicitados, versus los ofertados. Ésta debe estar avalada por una matriz (García 2011; García et al., 2011, 2013), que será parte del procedimiento. La evaluación se hará a dos términos: técnicos y comerciales (se utilizarán los criterios de evaluación relacionados en el acápite 2.5 del Capítulo 2). El valor máximo establecido para la matriz es cinco puntos y todos los aspectos a evaluar se consideran de alta importancia. En este paso, de los equipos ofertados se definen los óptimos para la ejecución del proyecto solicitado. La evaluación económica debe tener en cuenta la aprobación del Ministerio de Economía y Planificación. Los términos económicos (precios, interés financiero y el flete), no se incluyen en la matriz porque son responsabilidad de la empresa importadora. Los términos técnicos son los siguientes:

Calidad y estado técnico: las ofertas deben incluir la notificación de que los equipos ofertados son fabricados conforme a las normas internacionales o especificaciones técnicas y avalados con “Certificados de calidad” emitidos por el fabricante para equipos nuevos. Si son equipos de uso, la certificación deberá reflejar estado técnico, tiempo de uso y si han sido recapitalizados. Este término se clasifica en: bueno, para equipos nuevos la puntuación es de cinco puntos; para equipos sometidos a reparación capital (incluido el tren de fuerza), la puntuación es de cuatro puntos.

Regular, para equipos con más de 12 000 horas efectivas sin accidente de trabajo y la puntuación es de tres puntos. Malo, para equipos con más de 18 000 horas efectivas con afectaciones visibles por accidentes o violación de las normas de explotación y sin reparaciones medias o capitales, la puntuación es de dos a un punto.

Garantía y plazos de la misma: si en las ofertas las horas de garantía representan entre el 95 al 100 % de las horas efectivas planificadas para un año, la puntuación será de cinco puntos, si representan entre el 51 al 90 % se le otorgará de tres a cuatro puntos y si representan el 50 % o menor será de dos a un punto.

Avance tecnológico: las ofertas deben referir los avances tecnológicos incorporados a los equipos por los fabricantes. En la evaluación se otorgará la máxima puntuación, si los modelos de los equipos han sido usados en proyectos nacionales con resultados satisfactorios de los indicadores técnico - productivos. Si los resultados han sido positivos y limitada su participación en proyectos dentro del país, la puntuación será de cuatro puntos, y si no se tiene referencia de explotación de la tecnología ofertada, la puntuación a otorgar es de tres puntos o menos.

Capacitación: el compromiso de realizar la capacitación antes de la puesta en marcha de los equipos, al personal de operaciones y de servicios técnicos debe reflejarse en las ofertas. La puntuación máxima será para el entrenamiento, en la fábrica de los equipos, para el personal de servicios técnicos seleccionados y en el domicilio del operador de equipos para los operadores y el resto del personal de servicios técnicos, además con toda la documentación técnica en idioma español. Cuatro puntos para entrenamiento en el domicilio del operador de equipos, para todo el personal de servicios técnicos y operadores y con toda la documentación técnica en idioma español. De tres puntos a cero, cuando el entrenamiento sea menor de cinco días o ninguno, la documentación en idioma extranjero o sin documentación.

Puesta en marcha: las ofertas deben dejar claro el compromiso del proveedor con la entrega de los equipos funcionando. La puntuación depende de si se ejecuta o no y de la calidad de la misma.

Asistencia técnica: la evaluación dependerá del alcance ofertado relacionado con el período de asistencia técnica, las condiciones de trabajo y preparación técnica del especialista del proveedor.

Oportunidad: este término se evalúa de forma integrada a otros términos, para obtener resultados satisfactorios y evitar impacto negativo en otros que dificulten la correcta explotación de los equipos a corto y mediano plazo. Las ofertas deben poner de manifiesto la actitud del proveedor ante cualquier necesidad de renegociar lo ofertado.

Uniformidad: la puntuación la determina el porcentaje que representa el equipamiento ofertado del total de equipos solicitados.

En los términos comerciales se incluyen los siguientes:

Servicio postventa: para la evaluación, si el proveedor cuenta con las condiciones necesarias para el servicio, se le otorga el máximo de los puntos. Si no cuenta con la infraestructura necesaria y depende de la del cliente, se evalúa de cuatro a tres puntos, y si no puede asumir el servicio de postventa debido a la falta de infraestructura o deficientes relaciones con el fabricante, se le otorga cero puntos.

Infraestructura para el mantenimiento: la evaluación de este término dependerá de las condiciones físicas y propuestas básicas a incluir en las ofertas, el tipo de solicitud, define en los resultados de este término, de acuerdo a las condiciones que tenga el proveedor y el compromiso de crearla.

Plazo de entrega: la mayor puntuación será para el menor plazo, y las restantes dependerán del tiempo ofertado y de la afectación a la planificación minera por la demora de los equipos.

Condición de entrega: la puntuación máxima será para el suministrador que garantice la entrega con todos los requisitos necesarios y en el lugar de destino. Las restantes dependerán del alcance ofertado.

La aprobación de las ofertas puede ser parcial o total, de acuerdo al alcance de las mismas, y debe incluir sugerencias o propuestas de con cual suministrador debe cerrarse la licitación, sobre la base del alcance de los términos técnicos y comerciales, de acuerdo a los resultados de la evaluación en la matriz.

El cierre de la licitación, se realiza luego de recibidas la evaluación y reevaluación de las ofertas y en este paso juega un papel importante el término oportunidad. Se propone tener en cuenta la propuesta de la actividad minera resultante del análisis de la matriz, para el cierre de la licitación. Este paso es responsabilidad de la empresa Importadora.

Aprobación de la modalidad de contrato para equipos mineros: se propone que estos contratos se incluyan en la categoría de sostenimiento. Si la solicitud de aprobación se realizó por el presupuesto de inversiones, los contratos son de compras por incremento o reemplazo de equipos y deben incluir contratos independientes para los servicios técnicos o con personal de la actividad minera y con contrato de compras de las piezas de repuesto.

Si se realiza la aprobación por el presupuesto de operaciones, se denominan contratos de operaciones que se dividen en arrendamiento y de servicios. Los primeros pueden incluir o no la opción de compras al final del contrato y pueden tener los servicios técnicos en el valor del contrato o mediante un contrato adicional con el proveedor

de servicios, pero en ambos casos por el período de arriendo, como se muestra en la figura 2 del anexo 6.

Después que la proforma del contrato incluya las exigencias del operador de los equipos, debe tramitarse su aprobación en los diferentes niveles establecidos: empresa Importadora y la dirección del Grupo Empresarial. Se propone incluir en estos niveles a la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

3.2.3 Etapa 3. Explotación y reemplazo de los equipos mediante la aplicación del modelo de rendimiento de los mismos

Esta etapa, es la historia de los equipos desde su puesta en marcha hasta su reemplazo, en la que intervienen las actividades de control de la explotación minera como son:

Departamento técnico de mantenimiento: se propone incluir la información de los gastos de mantenimiento desglosados por partida por línea de equipos y modalidad de contrato.

Departamento técnico de operaciones: se propone incluir la información de todos los indicadores que miden el rendimiento por líneas de equipos y modalidad de contrato.

Departamento económico: se propone incluir la información del costo de operación y horario por líneas de equipos y modalidad de contrato.

El procesamiento de la información se realiza con la aplicación del modelo de rendimiento de los equipos mineros, el cual determina el momento máximo y mínimo de rendimiento de los mismos en la explotación en los yacimientos lateríticos, como se muestra en la figura 3.2.

3.2.4 Etapa 4. Evaluación del proveedor contratado

En el Grupo Empresarial Cubaníquel, le corresponde a la empresa Importadora evaluar los proveedores de los contratos de importación. Se propone se anexe en la

evaluación el criterio de la actividad minera que es la que planifica, solicita y explota los equipos (Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, 2005*). Esta evaluación se hará por los modelos establecidos por el Sistema de Gestión Empresarial de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, ver los modelos de 1 hasta el 3 del anexo 7, y se incluye la evaluación para el cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación mediante la utilización de la matriz, ver la figura 3 del anexo 6. El resultado de los documentos anteriores definirá la ejecución de un nuevo contrato. Esta es la etapa final del procedimiento propuesto, que se muestra en la figura 3.3.

3.3 Estructura del modelo de rendimiento de los equipos mineros

A partir de los indicadores que miden el rendimiento, de su comportamiento y de los factores que inciden en el reemplazo, determinados en el capítulo anterior, y en las consideraciones de McCullogh y Searle (2001), se estructura el modelo de rendimiento de los equipos mineros en función del cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación por período de explotación, el cual se estructura en cinco fases para cumplir los objetivos siguientes:

1. Determinar los niveles máximos y mínimos del rendimiento de los equipos mineros, en función del cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación.
2. Perfeccionar el reemplazo de los equipos mineros en función del comportamiento del rendimiento.
3. Validar el procedimiento del reemplazo de los equipos mineros.

Fases del modelo de rendimiento de los equipos mineros.

Fase 1. Evaluación general del rendimiento de los equipos mineros.

Fase 2. Selección de las variables y validación de la base datos para el modelo de rendimiento de los equipos mineros.

Fase 3. Selección y modo de aplicación del método estadístico para el modelo de rendimiento de los equipos mineros.

Fase 4. Toma de decisión.

Fase 5. Resultados del modelo de rendimiento de los equipos en función de los servicios técnicos de la contratación.

Descripción de las fases del modelo de rendimiento

3.3.1 Fase 1. Evaluación general del rendimiento de los equipos mineros

Está enmarcada en la evaluación general del rendimiento de los equipos de excavación - carga y de transporte por modalidad de contrato, a partir del comportamiento de los indicadores que lo miden, de su estado técnico y de las condiciones generales de explotación.

Tabla 3.1. Comportamiento del rendimiento histórico de los equipos mineros.

Horas efectivas	Compra			Arrendamiento		
	Períodos	Rendimiento general		Períodos	Rendimiento general	
	Meses	Camión articulado	Retroexcavadora	Meses	Camión articulado	Retroexcavadora
6 000	12	0,75	0,76	12	0,75	0,76
12 000	22	0,70	0,70	22	0,72	0,71
18 000	36	0,62	0,63	36	0,64	0,50
24 000	50	0,54	0,52	50	0,58	0,39
26 000	57	0,49	0,47	57	0,53	0,35
28 000	60	0,35	0,44	60	0,36	0,31

En la tabla 3.1, se muestra que las retroexcavadoras en la opción de compras, tienen mayor rendimiento general desde las 18 000 hasta las 28 000 horas efectivas.

Aunque en la opción de compras los servicios técnicos de la contratación son menos eficientes, este resultado fue posible por la atención del proveedor de servicios técnicos a tiempo completo en el turno y que el déficit de piezas de repuesto por demora en el mecanismo comercial implementado, se solucionó con empresas de servicios residentes en el zona. En la opción de arrendamiento es menor porque estas retroexcavadoras no garantizaron estabilidad operacional ni en el sistema de tres ni de dos turnos de trabajo. En los camiones articulados tiene mejor comportamiento en la opción de arrendamiento (García, 2011; García et al., 2011 y 2013; García y Peña, 2013).

3.3.2 Fase 2. Selección de las variables y validación de la base datos para el modelo de rendimiento de los equipos mineros

La selección de las variables para el modelo, está vinculada a los indicadores que miden el comportamiento del rendimiento de los equipos mineros por las influencias significativas que tienen en el comportamiento del mismo, además por las definiciones de Cao et al. (2001) y Vilar (2006) se establece una secuencia de análisis para definir las mismas.

1. Definición del objetivo: seleccionar las variables para evaluar el rendimiento de los equipos mineros.
2. Selección del método estadístico.
3. Selección y descripción de los factores o variables relacionadas con los indicadores que miden el rendimiento.
4. Definir la representatividad de las variables.

Validación de la base de datos: la base de datos para el modelo de rendimiento de los equipos mineros, debe incluir la información producto de la explotación de los mismos, es decir, el control de la explotación minera, el control de mantenimiento y

reparaciones, y el control económico. Ésta se valida mediante el proceso de revisión y análisis y se descartan los datos no representativos.

3.3.3 Fase 3. Selección y modo de aplicación del método estadístico para el modelo de rendimiento de los equipos mineros

La selección del método estadístico para el modelo se fundamenta en los criterios siguientes:

- 1 En la definición y aplicación de las series de tiempo de Berenson y Levine (1996), Arellano (2001), Vásquez et al. (2008), Lazarte y Naidicz (2009), Rojo y Sanz (2010), Ruiz et al. (2011) y Terrádez (2011).
- 2 En la características y descripción de la base de datos validada de los equipos mineros desde el año 2003 hasta el año 2007.
- 3 En que los equipos mineros durante la vida útil cambian su rendimiento formando ciclos con diferentes disponibilidades técnicas
- 4 Las series de tiempo también definen ciclos.

De las series de tiempo se seleccionó el método de descomposición estacional que la divide en tres componentes:

1. Tendencia - ciclo: la tendencia refleja su evolución a largo plazo sin alteraciones de la serie de tiempo. La variación cíclica, recoge oscilaciones periódicas de amplitud superior a un año.
2. Estacionalidad: capta las oscilaciones de forma repetitiva y en períodos iguales o inferiores a un año.
3. Irregularidad: recoge el comportamiento provocado por factores imprevisibles que son propiamente fruto del azar.

Para definir cómo aplicar el método estadístico de descomposición estacional de las series de tiempo en el modelo de rendimiento de los equipos mineros, es necesario

conocer la distribución de los datos de las variables y su comportamiento estadístico por modalidad de adquisición de equipos. La distribución de los datos y comportamiento estadístico, define el método de la descomposición estacional de las series de tiempo que debe aplicarse.

3.3.4. Fase 4. Toma de decisión

En este proceso se incluyen dos alternativas para los equipos mineros: reemplazo y continuidad de la explotación. La decisión depende del comportamiento de la línea de tendencia - ciclo de las variables seleccionadas en el período que se evalúe.

Si la línea de tendencia es creciente en las variables relacionadas con los indicadores técnico - productivos y decreciente en las variables relacionadas con los indicadores económicos, la decisión será continuar la explotación por un nuevo ciclo hasta un nuevo análisis.

Si la línea de tendencia es decreciente en las variables relacionadas con los indicadores técnico - productivos y creciente en las variables relacionadas con los indicadores económicos, la decisión será el reemplazo por equipos nuevos.

3.3.5 Fase 5. Resultados del modelo de rendimiento de los equipos en función de los servicios de la contratación

El resultado del modelo de rendimiento de los equipos mineros se pone de manifiesto en el cumplimiento de los objetivos del mismo. Ésta es la última fase del modelo de rendimiento de los equipos mineros en función de los servicios técnicos de la contratación, ver la figura 3.2.

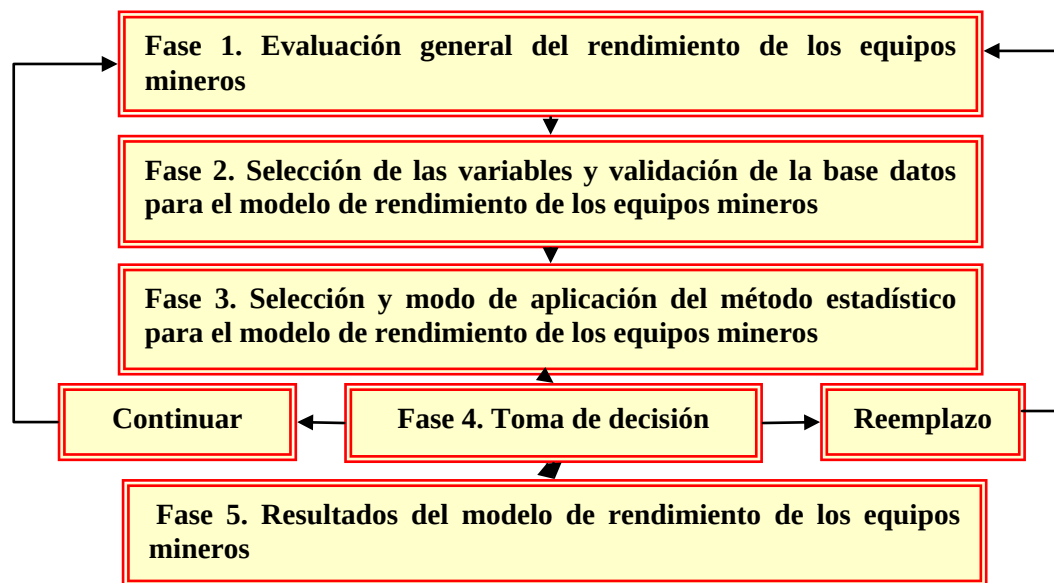


Figura 3.2. Modelo de rendimiento de los equipos mineros.

La figura 3.3, muestra el procedimiento para el reemplazo de los equipos mineros perfeccionado por el modelo de rendimiento de los mismos.

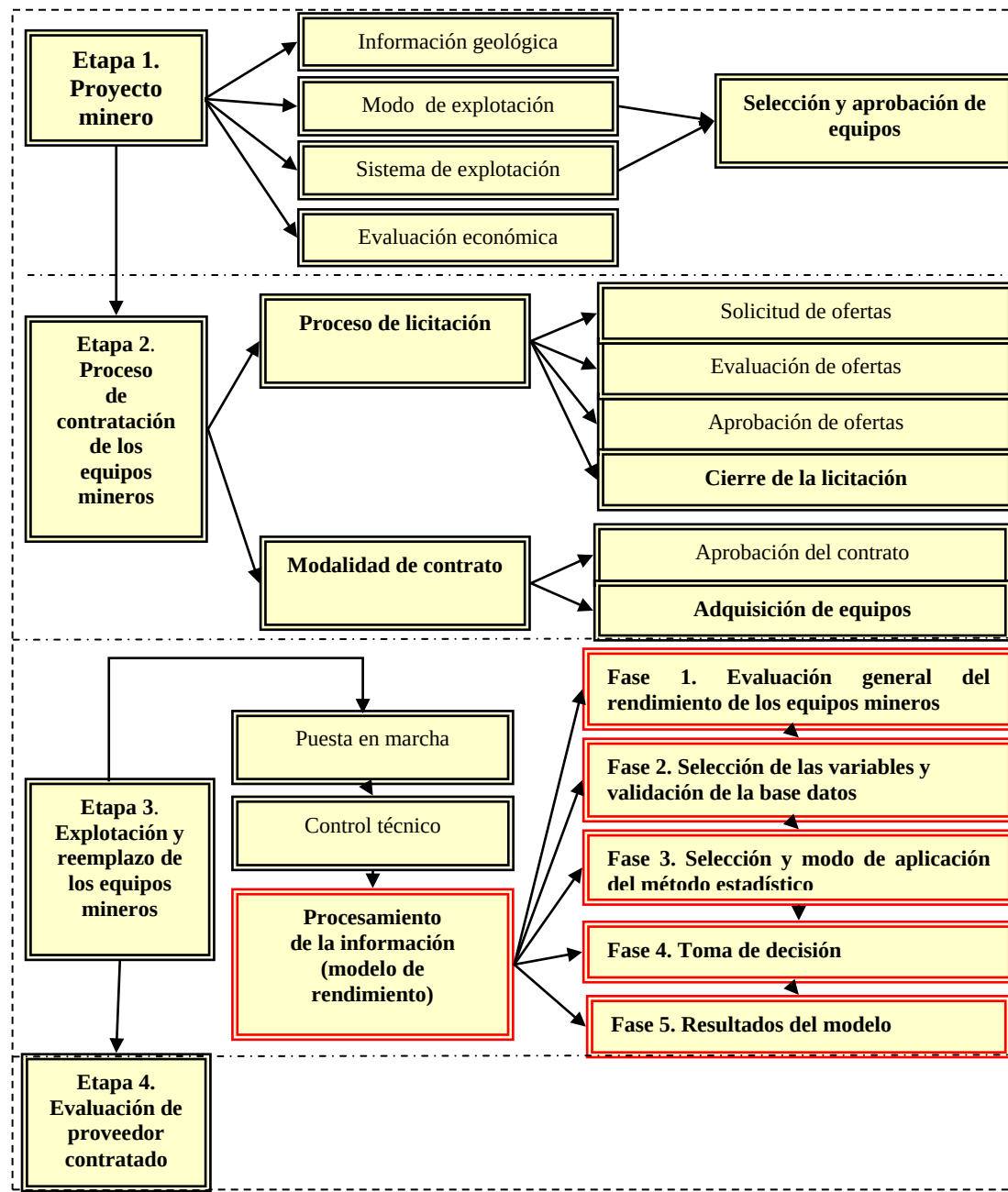


Figura 3.3. Procedimiento para el reemplazo de los equipos mineros.

3.4 Conclusiones parciales

- ✓ El procedimiento propuesto para el reemplazo de los equipos mineros tiene en cuenta el modelo de rendimiento de los mismos.
- ✓ Se elaboró el modelo de rendimiento de los equipos mineros en función del cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación.

CAPÍTULO 4. APLICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA EL REEMPLAZO DE LOS EQUIPOS MINEROS

4.1 Introducción

La aplicación del procedimiento para el reemplazo de los equipos mineros permitirá comprobar su aplicabilidad y efectividad, y realizar los ajustes, de ser necesarios. El proceso de implementación se realiza cumpliendo el orden siguiente:

1. Elección de la zona objeto de estudio.
2. Aplicación del procedimiento.

La aplicación del procedimiento se efectúa, utilizando la información de planificación y del control real de la explotación minera, y se toma la decisión en cada etapa de acuerdo a las variantes que más se ajustan a cada situación concreta y se evalúa la calidad de los resultados, a partir de la efectividad de su aplicación.

4.2 Caracterización de la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara

La empresa Comandante Ernesto Che Guevara se encuentra ubicada al norte del yacimiento mineral de Punta Gorda, en la provincia Holguín, en la costa norte, entre los ríos Moa y Yagrumaje, a 4 km. de la Ciudad de Moa y a 2 km. del pueblo de Punta Gorda y forma parte del macizo montañoso de Sagua - Moa - Baracoa. El relieve de la zona se caracteriza por su inclinación al norte con rangos de

pendientes variables y desmembrado en tres sectores por valles muy profundos, correspondientes a las áreas inter fluviales Moa - Lirios - Yagrumaje, que se caracterizan por las formas aplanadas con cañadas y valles formados en el período de peniplanización con los desniveles relativos del relieve que oscilan entre 70 y 110 m, las cotas absolutas son de 0 - 185 m.

El clima es tropical, la temperatura media anual es aproximadamente 27 °C, en el verano de 30 a 32 °C y en el invierno de 22 a 26 °C. En el año hay dos períodos de lluvia, correspondientes a los meses de mayo - junio y de octubre - diciembre; y dos períodos de seca, de febrero - abril y de julio - septiembre. La cantidad de precipitaciones oscilan en amplios límites y el promedio es de 1 700 - 1 800 mm al año. La red fluvial está representada por los ríos Moa, al norte; Yagrumaje, al sur y este; Los Lirios, al oeste y está atravesado por el arroyo La Vaca (Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, 2012).

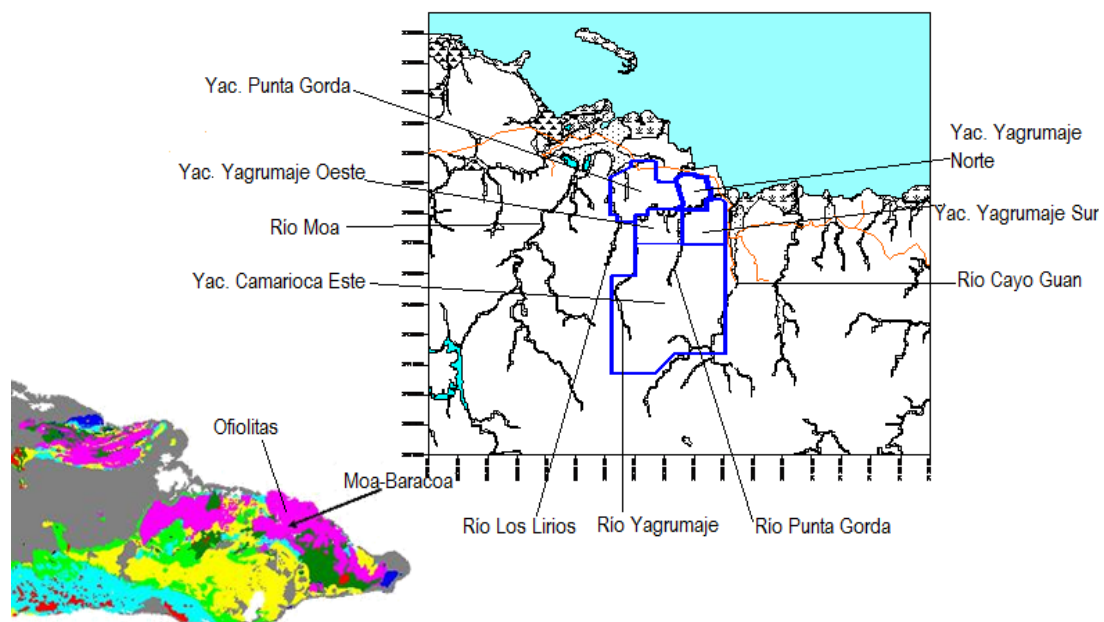


Figura 4.1. Plano de ubicación de la zona de la base minera.

El área objeto de estudio está conformada por los yacimientos Punta Gorda, Yagrumaje Norte y Yagrumaje Sur que forman parte de la concesión de explotación

de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. El modo de explotación y apertura aplicado es el clásico a cielo abierto con la utilización de medios mecánicos. La apertura en forma de trincheras o canales magistrales a todo largo del talud, es decir, con el empleo de trincheras principales y el posterior desarrollo de trincheras secundarias a los diferentes frentes de trabajo.

El sistema de explotación empleado es longitudinal, sin profundización, en forma de abanico, con desplazamiento horizontal de las rocas de destape a las escombreras exteriores e interiores y desplazamiento de la roca de mineral a los depósitos o a las tolvas de la instalación de recepción de mineral. Después del arranque de las rocas por la excavadora, la carga es directa al transporte automotor camión articulado de 40 t, mediante excavadora de arrastre andante de órgano de extracción de 5 m³ (dragalina) o retroexcavadora hidráulica con órgano de extracción entre 4,3 a 6,2 m³. Este sistema es el tradicional; tiene la ventaja de lograr una mezcla más homogénea del mineral al realizar la extracción de la laterita y la serpentina al mismo tiempo.

A partir del año 1997 se inició la aplicación del sistema de explotación de banco múltiples: se utilizan retroexcavadoras hidráulicas con órgano de extracción entre 4,3 a 6,2 m³, las cuales han demostrado mayor ventaja debido a que se logra mayor selectividad, pueden trabajar en cualquier tipo de relieve y potencia, poseen alta movilidad. El transporte del material se realiza con camiones articulados de 40 t y camiones rígidos de 60 t (Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, 2012).

4.3 Aplicación del procedimiento

Para comprobar la efectividad del procedimiento se aplicará ejecutando los pasos siguientes: elección y justificación de los equipos mineros, aplicación del procedimiento y análisis de los resultados.

4.3.1 Selección y aprobación de equipos mineros (etapa 1 del procedimiento)

El Ministerio de Economía y Planificación a solicitud del Grupo empresarial Cubaníquel le aprobó a la Unidad Básica Minera para el año 2012, el reemplazo de una retroexcavadora hidráulica montada sobre esteras de capacidad volumétrica de $4,5 \text{ m}^3$ y nueve camiones articulados de 40 a 50 t de capacidad volumétrica, con el objetivo de garantizar la extracción 684 830 t de mineral y de $212\,750 \text{ m}^3$ de escombros con el incremento de la disponibilidad técnica de los equipos mineros (Ministerio de Economía y Planificación, 2012).

4.3.2 Aplicación de la matriz al proceso de evaluación de las ofertas a los equipos mineros (etapa 2 del procedimiento)

Equipo minero solicitado: una retroexcavadora hidráulica. Durante el proceso de licitación ofertaron los proveedores siguientes: VOLVO, SSI y AKBAR. Para la evaluación de las ofertas se aplica la matriz y la puntuación a otorgar depende del alcance de las mismas y se considera como puntuación máxima cinco puntos, ver tabla 4.1.

Tabla 4.1. Matriz de evaluación y reevaluación de las ofertas para la retroexcavadora.

	Ofertas por proveedores		
Proveedor	VOLVO	VULCAL	CON - IMPEX
Marca de los equipos	VOLVO	LIEBHERR	LIEBHERR
Modelo de los equipos	EC700CL	R974	R974
Cantidad de equipos ofertados	1	1	1
Modalidad de contrato	Compra	Compra	Compra
Términos técnicos			
Calidad y estado técnico	4	5	5
Garantía y plazos de la misma	2	5	2
Avance tecnológico	4	5	5
Documentación técnica	5	5	5
Entrenamiento al personal de servicios técnicos	4	3	5
Entrenamiento al personal de operaciones	5	3	5
Puesta en marcha	5	5	5
Asistencia técnica	5	3	5
Oportunidad	3	4	3
Uniformidad	5	5	5
Total términos técnicos	42	43	45
Términos comerciales			
Servicio postventa	5	2	5
Infraestructura mantenimiento	5	3	3
Plazo de entrega	4	5	5
Condición de entrega	5	5	5
Total términos comerciales	19	15	18
Total de todos los términos	61	58	63

En la tabla 4.1, se muestra que el proveedor CON - IMPEX obtuvo la mayor puntuación en la matriz, por el alcance ofertado en todos los términos de los servicios técnicos de la contratación y se propone el cierre de la licitación con el mismo. Éste es el proveedor de servicios de la fábrica de equipos marca LIEBHERR, y puede garantizar con mejor calidad los servicios técnicos de la contratación. Se sugiere renegociar con el mismo el plazo de la garantía y el precio del equipo. Se propone una modalidad de contrato de compra con un contrato adicional para los servicios técnicos.

Equipo minero solicitado: nueve camiones articulados de 40 t de capacidad. Durante el proceso de licitación ofertaron los proveedores siguientes: VOLVO, SSI y AKBAR. Los resultados que se muestran en la tabla 4.2 indican que el proveedor AKBAR por el alcance ofertado en todos los términos de los servicios técnicos de la contratación, obtuvo la mayor puntuación en la matriz, se propone para el cierre de la licitación de esta flota de equipos al proveedor VOLVO, debido a que cuenta con toda la infraestructura en el área de estudio para garantizar los servicios técnicos de la contratación con mayor calidad. Se sugiere renegociar con el mismo, el plazo de la garantía, el plazo de entrega y el precio de los equipos.

Se propone una modalidad de contrato de arrendamiento con el arrendador de los equipos (VOLVO) y un contrato de servicios técnicos con el proveedor de servicios técnicos (UNEVOL S.A.).

Tabla 4.2. Matriz para de la evaluación de las ofertas para los camiones articulados.

	Ofertas por proveedores		
Proveedor	VOLVO	SSI	AKBAR
Marca	VOLVO	BELL	KOMATSU
Modelo	A40F FS	A40T	HM 400 - 2
Cantidad de equipos ofertados	9	9	9
Modalidad de contrato	Arrendamiento	Arrendamiento	Arrendamiento
Términos técnicos			
Calidad y estado técnico	5	5	5
Garantía y plazos de la misma	2	2	5
Avance tecnológico	5	5	5
Documentación técnica	5	5	5
Entrenamiento al personal de servicios técnicos	4	0	4
Entrenamiento al personal de operaciones	5	0	5
Puesta en marcha	5	0	5
Asistencia técnica	5	0	5
Oportunidad	3	1	4
Uniformidad	5	5	5
Total de los términos técnicos	44	23	48
Términos comerciales			
Servicio postventa	5	2	5
Infraestructura mantenimiento	5	3	3
Plazo de entrega	4	4	5
Condición de entrega	5	5	5
Total de los términos comerciales	19	14	18
Total de todos los términos	63	37	66

4.3.3 Explotación y reemplazo de los equipos mediante la aplicación del modelo de rendimiento de los mismos (etapa 3 del procedimiento)

Estado actual de los equipos mineros y evaluación del rendimiento (fase 1 del modelo), ver tablas 4.3 y 4.4.

Tabla 4.3. Estado de los equipos de excavación - carga (retroexcavadoras hidráulicas).

Cantidad de equipos	Marca de equipos	Tiempo de vida promedio	Horas efectivas promedio	Índice de disponibilidad promedio	Estado técnico	Modalidad de adquisición
4	LIEBHERR	6 años	28 800	0,80	Regular	Compra
1	LIEBHERR	7 años	27 073	0,75	Malo	Compra
2	VOLVO	4 años	22 000	0,79	Regular	Arrendamiento

En la tabla 4.3, se muestra que las retroexcavadoras hidráulicas adquiridas en la opción de compras, actualmente alcanzan entre los seis y siete años de vida útil, la eficiencia de estas se ha afectado por la indisponibilidad técnica. Las de la opción de arrendamiento se usan en las labores auxiliares a la operación de excavación y de carga (Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, 2012*).

Tabla 4.4. Estado de los equipos de transporte (camiones articulados).

Cantidad de equipos	Marca de equipos	Tiempo de vida promedio	Horas efectivas promedio	Índice de disponibilidad promedio	Estado técnico	Modalidad de adquisición
11	VOLVO	5 años y 4 meses	26 325	0,75	Malo	Compra
11	VOLVO	2 años y 4 meses	13 869	0,92	Bueno	Arrendamiento

Los camiones articulados en la opción de compras como se refleja en la tabla 4.4, pasan las 26 000 horas efectivas con más de 5 años de vida útil, estos camiones iniciaron su explotación en la opción de arrendamiento y al cumplir los tres años se solicitó la opción de compras, a partir del cuarto año disminuyó su disponibilidad técnica hasta en un 15 % por el incumplimiento de los servicios de postventa, así como la violación de las normas de seguridad en la explotación ha provocado paralización de los equipos. (Empresa Ernesto Che Guevara, 2012*).

4.3.3.1 Selección y validación de las variables para evaluar el rendimiento de los equipos mineros

Selección el método estadístico (fase 2 del modelo): el análisis de factores mediante el Software STATGRAPHICS CENTURION XV.

Selección y descripción de los factores o variables relacionadas con los indicadores que miden el rendimiento.

Tipo de equipo de la flota que se utiliza en la excavación - carga (retroexcavadora) y de transporte (camión articulado). Es una variable cualitativa.

Período de explotación o tiempo de uso del equipo, se expresa en días, meses, años. Es una variable real.

Tiempo u horas efectivas (H_efec ó He): es una variable real y numérico, se expresa en horas turnos, horas días, horas mes, horas años.

Gastos de operación (G_Oper ó Go): es una variable numérica, se expresa en valor \$.

Producción (Prod): es una variable numérica y se expresa en toneladas. Depende del tipo de equipo y ciclo de trabajo.

Horas disponibles (H_Dis): es numérica, se expresa en horas y depende de los servicios técnicos de la contratación.

Horas imprevistas (H_Imp): es una variable numérica, se expresa en horas y depende de la organización de la explotación minera.

Definición de la representatividad de las variables: la aplicación del método de análisis de factores se realiza, con el propósito de obtener un número pequeño de factores, que expliquen la magnitud de la inestabilidad en las cinco variables seleccionadas que se relacionan a continuación.

Tabla 4.5. Resultados del análisis de factores.

Factor / Variable	<i>Eigenvalor</i>	Porcentaje de varianza	Porcentaje acumulado
1 - G_Oper	3,11323	62,265	62,265
2 - H_efec	1,39449	27,890	90,154
3 - Prod	0,470889	9,418	99,572
4 - H_Disb	0,0170491	0,341	99,913
5 - H_Imp	0,00434772	0,087	100,000

En la tabla 4.5 se muestra que dos factores han sido extraídos pues son los únicos con un *eigenvalor* mayor o igual que 1.0, que en conjunto ellos explican un 90,154 % de la variabilidad en los datos originales. Este método de componentes principales, ha establecido el estimado inicial de la *comunalidad* para asumir que toda la variabilidad en los datos es debida a los factores comunes.

Para el análisis de tres variables (H_efec, G_Oper y Prod) solo se extrae un solo factor con un *eigenvalor* mayor que uno que explica el 85,0143 % de la variabilidad en los datos originales.

Lo anterior justifica que las horas efectivas son representativas en el comportamiento de la producción y de los gastos de operación y que pueden definir el rendimiento y el reemplazo de los equipos mineros.

Rangos establecidos para las variables: para ambos equipos las horas efectivas con rangos máximos de 16 - 20 h/día y mínimos de 10 - 12 h/día y los gastos de operación con rangos máximos de 811 - 972 \$/día y mínimos de 618 - 669 \$/día. En la retroexcavadora la producción con rangos máximos de 1 916 - 2 291 t/día y mínimos de 920 - 1 043 t/día. En el camión articulado la producción con rangos máximos entre 912 - 1 140 t/día y rangos mínimos de 470 - 564 t/día.

Descripción de la base de datos: la base de datos es estática, con el registro del comportamiento de los equipos mineros de excavación - carga y de transporte desde el año 2007 hasta el año 2011 e incluye la información siguiente: fecha (día, mes y año), tipo de equipo (marca, modelo y sigla con la que se denomina en la explotación); horas afectadas (revisión, mantenimiento, reparación); horas disponibles; horas efectivas; horas imprevistas (falta de operador, de disponibilidad de frente de trabajo, de equipos de carga o de transporte, de combustible); consumo de combustible (litros); producción en toneladas; gastos de operación (gasto producto de la explotación y gastos de amortización o de arrendamiento) y descripción de las condiciones geológicas y mineras. Para el procesamiento de la base de datos se seleccionó el software STATGRAPHICS CENTURION XV.

4.3.3.2 Modo de aplicación del método estadístico para el modelo de rendimiento de los equipos mineros

El análisis para la prueba de normalidad se realizó para los 365 días de cada año para un período de cinco años de explotación para equipos de igual y diferentes marcas, líneas y modelos. Se descuentan 76 días por año, que representan por lluvias 25 días;

por mantenimiento 6 días; por averías 30 días y por afectaciones imprevistas 15 días, es decir efectivos en el año 289 días.

La prueba de normalidad se aplica mediante cuatro pruebas estadísticas de normalidad de datos:

1. La Chi - cuadrada: divide el rango de los datos de la variable en clases igualmente probables y compara el número de observaciones en cada clase con el número esperado de observaciones.
2. Estadístico W de Shapiro - Wilks: compara los cuantiles de la distribución normal ajustada a los datos.
3. Sesgo estandarizado (Valor - Z): determina la falta de simetría en los datos.
4. Curtosis estandarizada (Valor - Z): para curtosis busca si la forma de la distribución es más plana ó picuda que la distribución normal.

En caso del camión articulado se tomaron un total de 1 734 valores para cada camión articulado. Los resultados de las cuatro pruebas estadísticas en la que fueron procesados los datos, debido a que el valor - P (probabilidad) más pequeño es menor que 0,05, se puede rechazar la idea de que los datos de las variables provienen de una distribución normal con 95 % de confianza. Los resultados de las pruebas estadísticas se muestran en la tabla 6 del anexo 8.

Para cada prueba en la retroexcavadora, se procesaron en la opción de compras un total de 1 536 valores y en la opción de arrendamiento un total de 2 494 valores. En la opción de arrendamiento la prueba Shapiro - Wilk, no contabiliza el resultado porque el tamaño de los datos es superior a 2 000, debido a que los resultados del valor - P (probabilidad) son menores a 0,05, se rechaza la idea de que los datos de las variables provienen de una distribución normal con 95 % de confianza. Los resultados se muestran en la tabla 7 del anexo 8.

De la aplicación de las pruebas de normalidad a los datos de las variables H_efec, Prod y G_Oper, se resume que no provienen de una distribución normal, es decir, en cada escenario evaluado el resultado es similar, aunque las condiciones de explotación relacionada con horas turnos, cantidad de turnos, cantidad de operadores por equipos son iguales, existen diferencias en las condiciones geológicas y mineras como: las distancias de transportación, la preparación de los frentes de trabajo y estado técnico de los viales. Los equipos evaluados han transitados en diferentes períodos por los mismos frentes de trabajo.

Resultados de la aplicación de la comparación de pareadas de datos: al igual que en la prueba de la normalidad de datos la comparación se realizó para los 289 días promedios efectivos por año para cada equipo individual (primer año con el segundo, el segundo con el tercero, el tercero con el cuarto y el cuarto con el quinto, en orden ascendente y descendente) y a equipos de igual y diferentes líneas, marcas y modelos (por años de explotación).

Por el resultado de la prueba de normalidad de que los datos de las variables definidas no provienen de una distribución normal, para cumplir los objetivos de la comparación pareadas de datos, se aplican las pruebas de hipótesis no paramétricas y paramétricas:

1. De las no paramétricas: la de los signos, compara el número de diferencias por debajo de la mediana hipotética con el número de diferencias por encima de la misma y una gran discrepancia conduce al rechazo de la hipótesis nula. La de rangos con signos, da rango a las diferencias absolutas entre las diferencias pareadas y la mediana hipotética de menor a mayor y compara el rango promedio de las diferencias pareadas por encima y por debajo de la media hipotética.

2. De las paramétricas: la Chi - cuadrada, porque la normalidad no ejerce mucho efecto a su resultado y puede ser representativa en el comportamiento pareado de las variables. Ésta evalúa la hipótesis nula partiendo de si la desviación estándar de los datos de las variables es igual a 1,0 versus la hipótesis alterna de que la desviación estándar es desigual a 1,0.

De la evaluación de cada equipo individual (el primer año con el segundo, el segundo con el tercero, el tercero con el cuarto, el cuarto con el quinto, en orden ascendente y descendente) se muestran los resultados siguientes:

Para el camión articulado el resultado del valor - P en todos los casos es menor de 0,05 por lo que se rechaza la hipótesis nula con un 95,0 % de confianza, porque hay diferencias estadísticas en el comportamiento de los mismos, ocasionado por:

Afectaciones imprevistas: en el año promedian de tres a cuatro horas por camión que representan en la opción de compras entre el 27 al 28 % de las horas efectivas y entre el 23 al 25 % en la opción de arrendamiento.

Tiempos improductivos: afectan la productividad horaria en la opción de compras de 8 a 25 t/h con incidencias negativas en el costo de operación entre 0,34 a 0,77 \$/t. En el arrendamiento de 6 a 9 t/h, con incidencias negativas en el costo de operación entre 0,47 a 0,65 \$/t.

Paralizaciones por violaciones de las normas de explotación, en algunos camiones del parque de equipos alcanzan hasta tres meses. Estas violaciones representan el 25 % de las paralizaciones en el año (García et al., 2011).

Los resultados de las pruebas se muestran en la tabla 8 del anexo 9.

En la retroexcavadora, el resultado del valor - P en todos los casos para los diferentes datos de las variables es menor que 0,05, por lo que se rechaza la hipótesis nula con un 95,0 % de confianza, debido a las diferencias estadísticas en el comportamiento

de las mismas por: afectaciones imprevistas: en el año promedian cuatro horas al día y representan entre el 24 al 27 % de las horas efectivas en ambas opciones de adquisición de equipos y por tiempos improductivos: afectan la productividad horaria en la opción de compra de 6 a 22 t/h con incidencias negativas en el costo de operación entre 0,048 a 0,014 \$/t. En el arrendamiento, entre 14 a 24 t/h, con incidencias negativas en el costo de operación entre 0,062 a 0,096 \$/t.

Los resultados de las pruebas se muestran en la tabla 9 del anexo 9.

En la evaluación de equipos de igual y diferentes líneas, marcas y modelos (por años de explotación), los resultados del valor - P para todas las variables son menores que 0,05, por lo que se rechaza la hipótesis nula con un 95,0 % de confianza, esto está relacionado las afectaciones imprevistas y los tiempos improductivos.

Al evaluarlos como conjunto de equipos el resultado del valor - P de los datos de las tres variables es menor que 0,05, por lo que también se rechaza la hipótesis nula, con un nivel de confianza del 95,0 %, es decir, que entre equipos de diferentes líneas, marcas y modelos se mantiene la hipótesis de que estadísticamente los datos tienen diferencias significativas. Los resultados de las pruebas se muestran en la tabla 10 del anexo 9.

La aplicación de la comparación pareada de datos a las variables H_efec, Prod y G_Oper demuestra, que los equipos de un mismo tipo y modelo se comportan de forma similar y los equipos de un año a otro tiene diferencias estadísticas significativas, lo cual certifica la aplicación del método estadístico de descomposición estacional de las series de tiempo a un equipo de cada flota.

Resultados de la aplicación del método estadístico de descomposición estacional: por el resultado de las pruebas estadísticas anteriores, se aplica la descomposición estacional por el método aditivo, que asume que los componentes de la serie son

independientes, es decir, la amplitud de la estacionalidad es independiente del nivel de la tendencia - ciclo y un aumento en el nivel de la tendencia - ciclo no ocasiona un aumento en la amplitud estacional (Lind et al., 2004), para un equipo de cada flota o línea. El primer paso del análisis es graficar la series de datos para detectar las componentes esenciales en el comportamiento de las series de tiempo.

En el comportamiento de la variable H_{efec} para el camión articulado, el patrón general oscila entre 15 a 20 horas diarias, siendo ascendente hasta los 12 meses de explotación que alcanza las 12 000 horas, ver figura 4.2. Las perturbaciones de los ciclos que afectan la tendencia base están dadas por paralizaciones de averías de motor y de transmisión en ocasiones por más de 15 días en el mes, mayormente en la opción de compras.

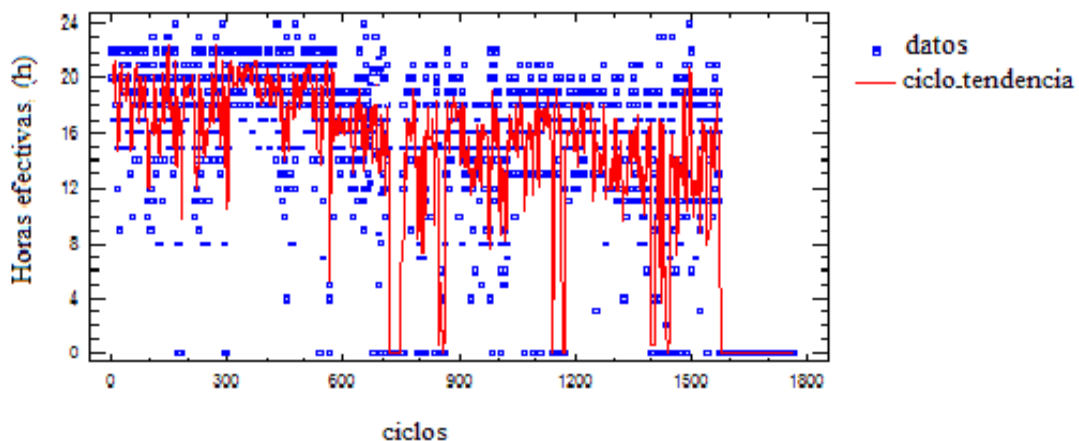


Figura 4.2. Comportamiento de la componente tendencia - ciclo de la variable H_{efec} en el camión articulado.

En la retroexcavadora como muestra la figura 4.3, el patrón general está en los rangos de 12 a 20 horas con perturbaciones a partir del segundo período de estacionalidad.

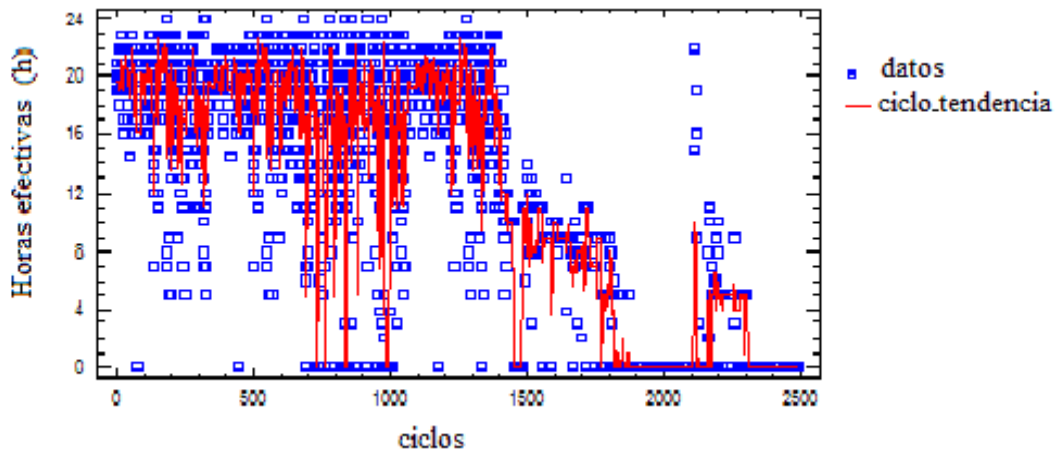


Figura 4.3. Comportamiento de la componente tendencia - ciclo de la variable H_{efec} en la retroexcavadora.

La variable Prod, tiene dependencia de las H_{efec} , en el camión articulado, el patrón general es ascendente en los dos primeros ciclos de estacionalidad, alcanzando un promedio diario de 830 t/día por camión, ver figura 4.4. A partir del segundo semestre del tercer año de explotación; decrece hasta en 120 t/día promedio por camión. En el cuarto ciclo la tendencia es creciente por reparación media de motor, pero no se mantiene estable porque el estado técnico general no es el óptimo. Las mayores perturbaciones que tienen impacto sobre la tendencia básica son producciones diarias de hasta de 300 t.

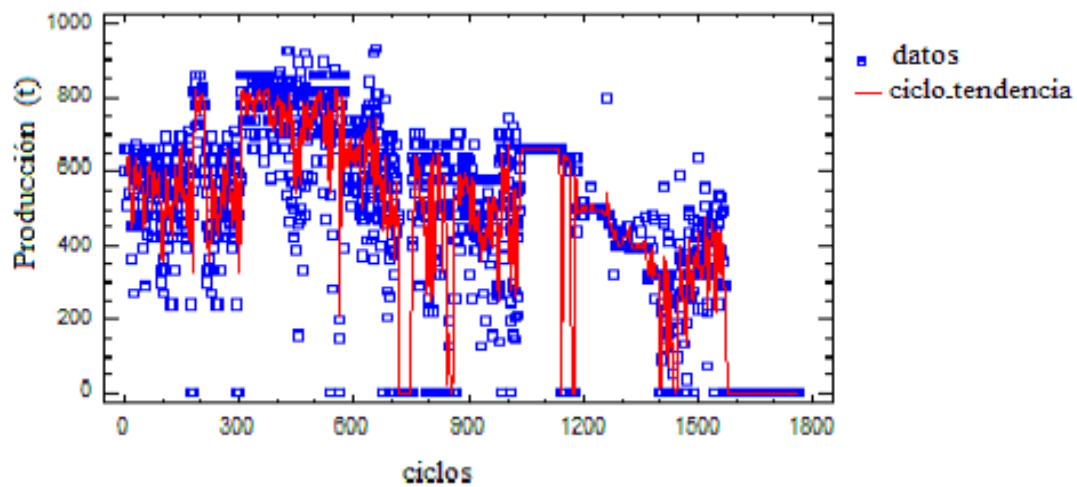


Figura 4.4. Comportamiento de la componente tendencia - ciclo de la variable Prod en el camión articulado.

En la retroexcavadora, la línea de tendencia es decreciente y los mayores impactos a partir del segundo ciclo de estacionalidad debido a que la productividad horaria decrece hasta en 19,32 t/h, mayormente en la opción de arrendamiento por afectaciones imprevistas hasta de cinco horas promedio día, ver figura 4.5. El efecto negativo en la opción de compra es menor, porque la retroexcavadora tiene mayor productividad horaria hasta en 30 t/h con relación a las de arrendamiento.

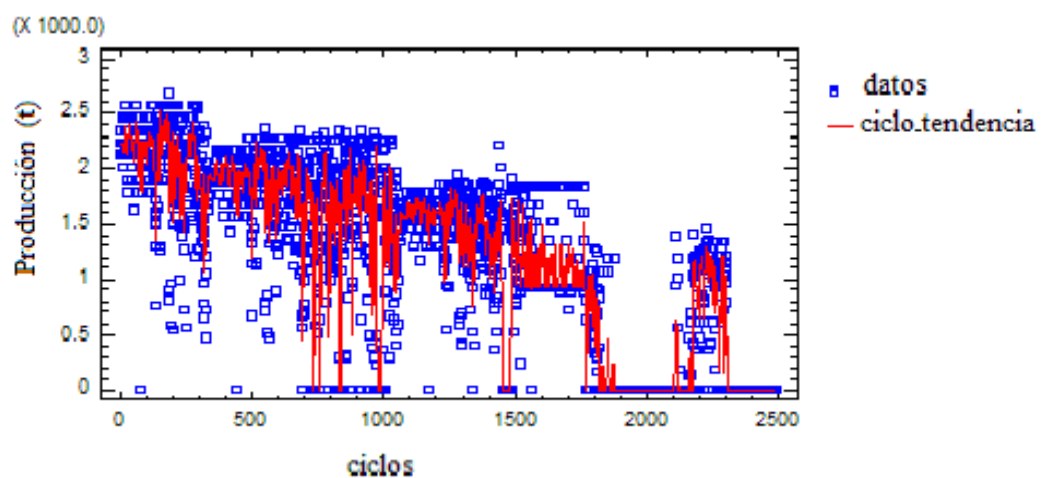


Figura 4.5. Comportamiento de la componente tendencia de ciclo – de la variable Prod en la retroexcavadora.

Además, en ambas líneas de equipos, tiene gran incidencia la destreza de los operarios, que con las mismas condiciones de explotación la productividad horaria varía por turnos de trabajo, oscilando en los rango de 31 a 45 t/h en el camión articulado y en la retroexcavadora desde 63 a 152 t/h.

La variable G_{Oper} para el camión articulado en el arrendamiento el patrón general es descendente, pues después de cumplida la vigencia del contrato el monto a pagar es el valor residual (el 15 % del precio inicial del equipo), ver figura 4.6. Como en esta opción los servicios técnicos de la contratación son más eficientes, los gastos originados de la explotación de los equipos son menores que en la opción de compras, el costo de operación disminuye de 0,02 a 0,16 \$/t.

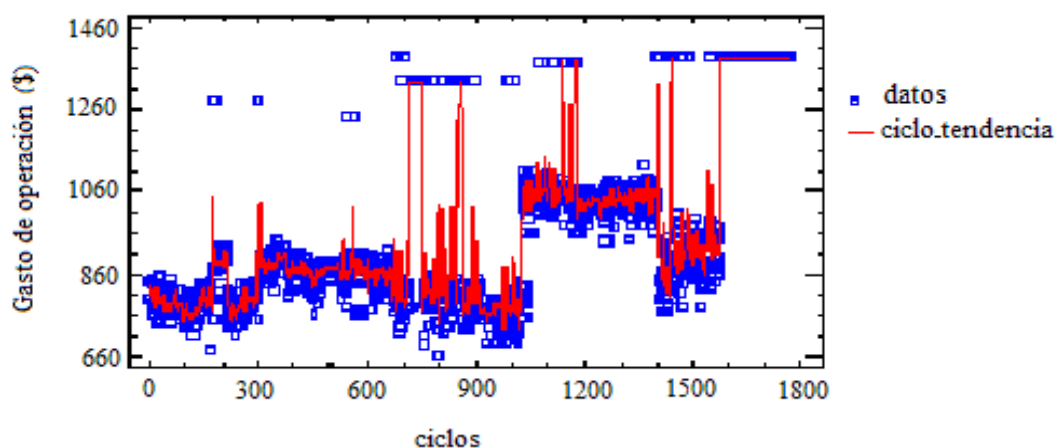


Figura 4.6. Comportamiento de la componente tendencia - ciclo de la variable G_{Oper} en el camión articulado.

En la retroexcavadora, el patrón es creciente, mayormente en la opción de arrendamiento, pues se incrementan las horas paralizadas por averías después de cumplidas las 12 000 horas de efectivas, y el índice de averías es hasta de un 5 %, ver figura 4.7.

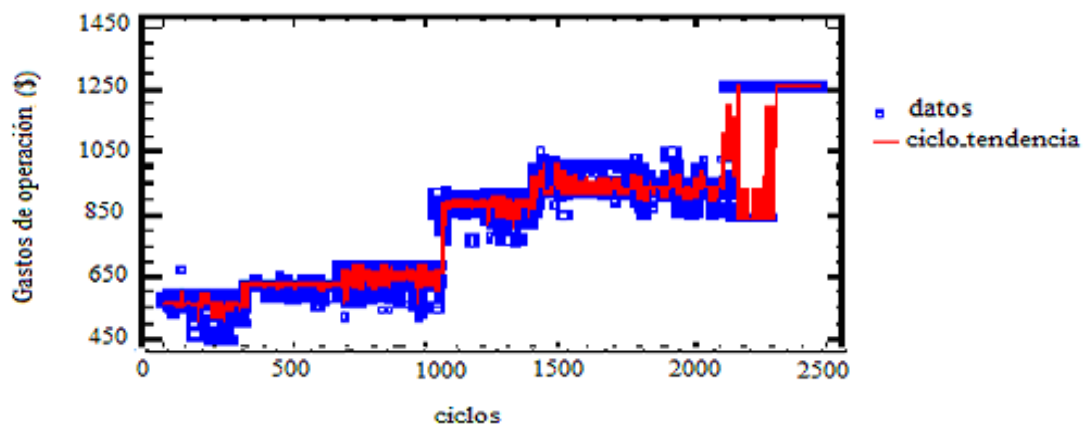


Figura 4.7. Comportamiento de la componente tendencia – ciclo de la variable G_Oper en la retroexcavadora.

En la figura 4.8, se muestra el índice estacional de la variable H_efec para el camión articulado a partir de la sustracción de la tendencia - ciclicidad de los datos originales de la serie de tiempo para cada estación y se comporta tanto por debajo como por encima del promedio anual. Los datos originales de la variable y el ciclo de tendencia son decrecientes y es notorio el decrecimiento del rendimiento. Estos resultados se pueden comprobar con los mostrados en la tabla 11 del anexo 10.

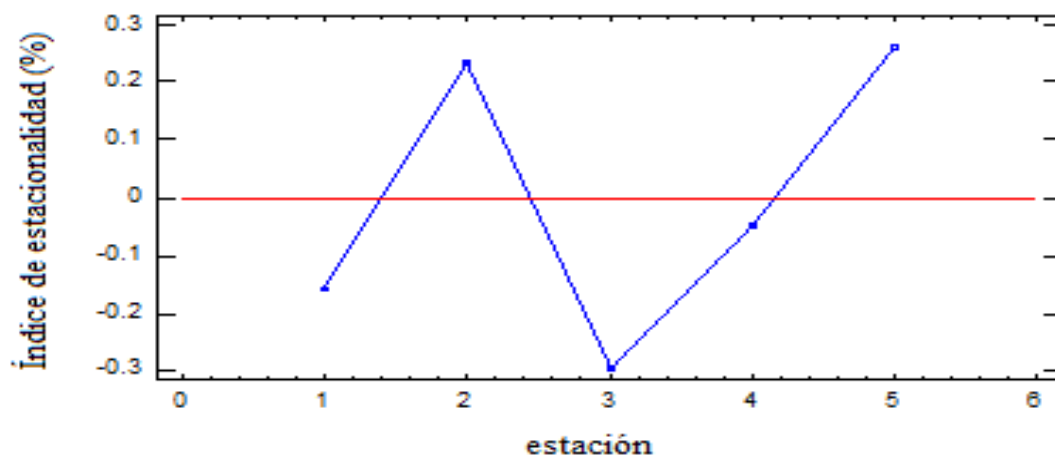


Figura 4.8. Comportamiento del índice de estacionalidad de la variable H_efec en el camión articulado.

En la figura 4.9, se muestra que para la variable H_{efec} en la retroexcavadora, el índice estacional está por debajo y por encima del promedio anual y que los datos originales de la variable, como el ciclo – tendencia también son decrecientes y es notorio el decrecimiento de su rendimiento. Estos resultados se pueden comprobar con los mostrados en la tabla 11 del anexo 10.

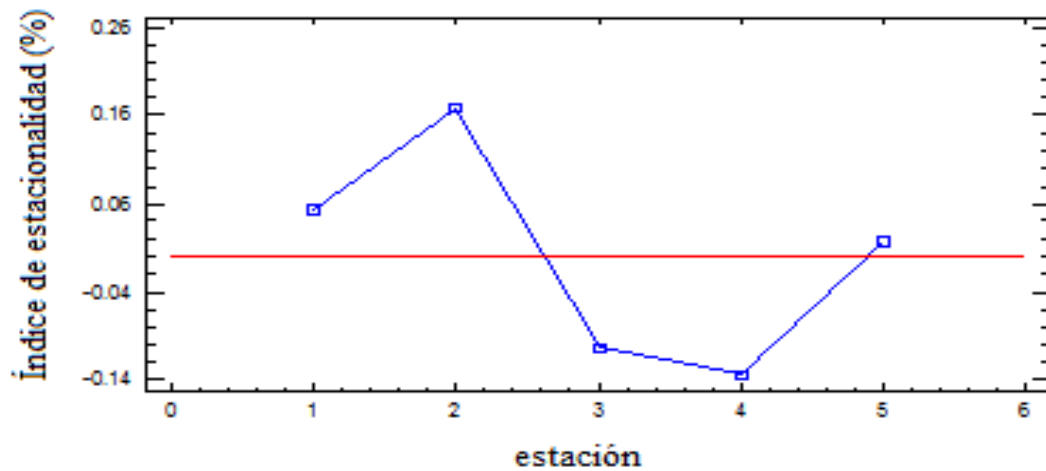


Figura 4.9. Comportamiento del índice de estacionalidad de la variable H_{efec} en la retroexcavadora.

El índice estacional de la variable Prod en el camión articulado, mostrado en la figura 4.10 tiene un comportamiento similar a la variable H_{efec} , y oscila desde un mínimo de -8,47 % hasta un máximo de 11,04 % a lo largo de un ciclo completo, y el ciclo - tendencia es decreciente igual que los datos originales, ver la tabla 12 del anexo 10.

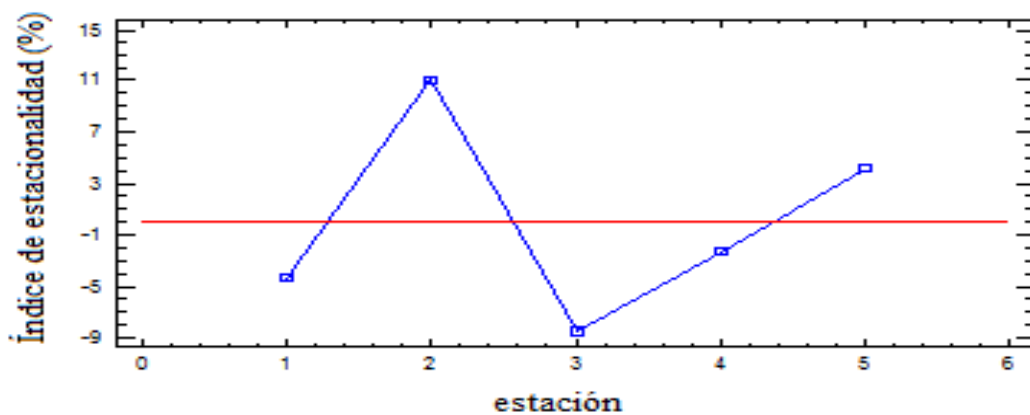


Figura 4.10. Comportamiento del índice de estacionalidad de la variable Prod en el camión articulado.

En la figura 4.11, se muestra que en la retroexcavadora el índice de estacionalidad va desde un mínimo de -27,64 % hasta un máximo de 23,75 % a lo largo del curso de un ciclo completo, y el ciclo – tendencia y los datos originales también son decrecientes, ver la tabla 12 del anexo 10.

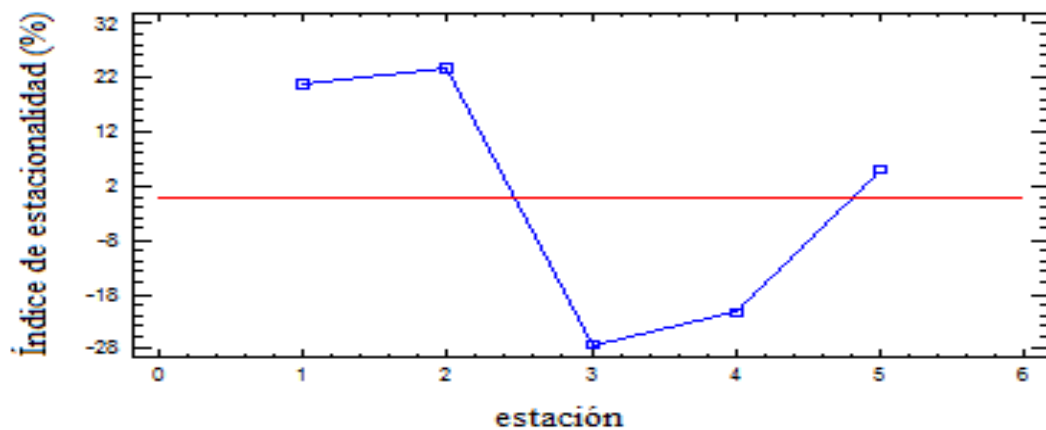


Figura 4.11. Comportamiento del índice de estacionalidad de la variable Prod en la retroexcavadora.

El índice de estacionalidad de la variable G_Oper en el camión articulado que se muestra en la figura 4.12, está por debajo del promedio anual, hay un incremento de los gastos de operación a partir del tercer ciclo de estacionalidad, relacionado con el

decrecimiento del índice de disponibilidad técnica entre un 11 a 20 %. El ciclo – tendencia es creciente, ver la tabla 13 del anexo 10.

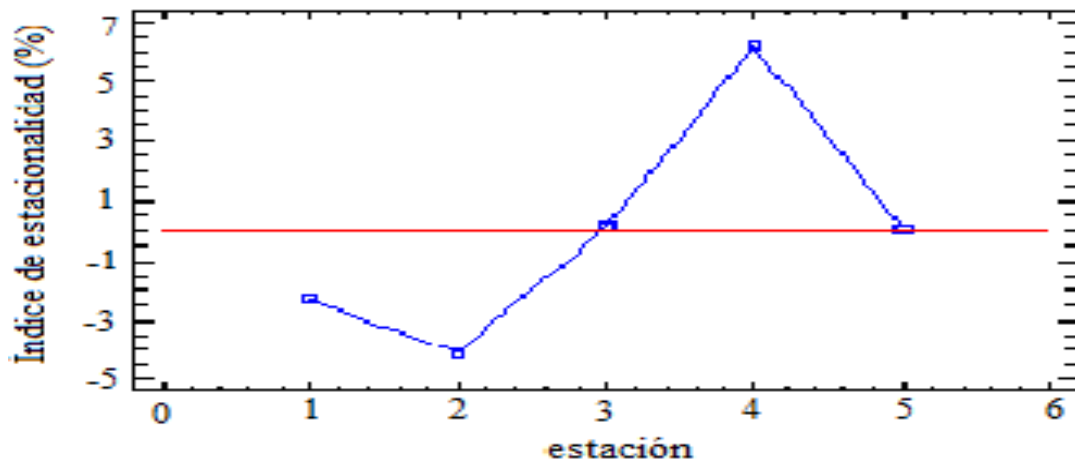


Figura 4.12. Comportamiento del índice de estacionalidad de la variable G_Oper en el camión articulado.

En el caso de la retroexcavadora la figura 4.13, se muestra que existe un balanceo estacional desde -1,865 % por debajo del promedio hasta 2,752 % por encima del promedio a lo largo del curso de un ciclo completo, también por el decrecimiento del índice de disponibilidad técnica entre 12 a 28 %, ver la tabla 13 del anexo 10.

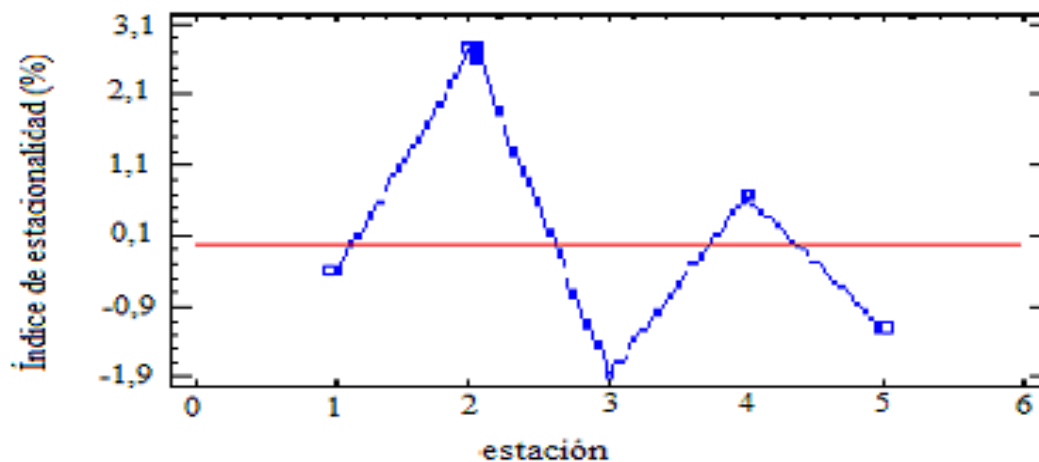


Figura 4.13. Comportamiento del índice de estacionalidad de la variable G_Oper en la retroexcavadora.

Del resultado de la sustracción a los datos originales, de los estimados tendencia - ciclo y estacionalidad, resulta el comportamiento de la componente irregular de la variable H_{efec} , el cual se muestra en las figuras 4.14 y 4.15. Los valores de la misma para ambas líneas de equipos están por debajo y por encima del valor residual promedio que se toma igual a cero y ponen de manifiesto el efecto de los tiempos imprevistos que oscilan entre cuatro a seis horas días tanto para las retroexcavadoras como para los camiones articulados. Esto justifica que en las labores de extracción - carga y de transporte, el índice de disponibilidad técnica que garantiza el servicio técnico no se aprovecha, en los camiones articulados entre 3 a 14 % y en las retroexcavadoras entre 1 a 15 %.

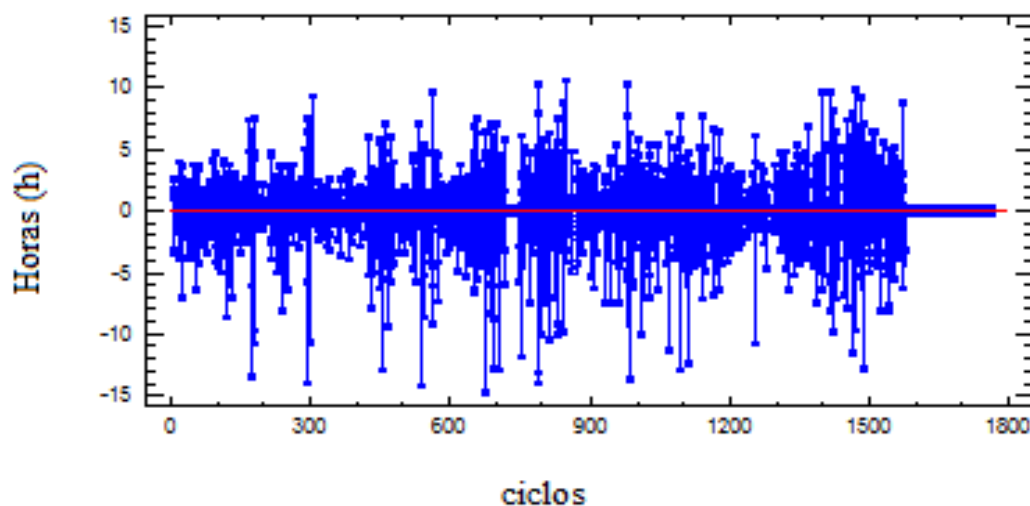


Figura 4.14. Comportamiento de la componente irregular de la variable H_{efec} en el camión articulado.

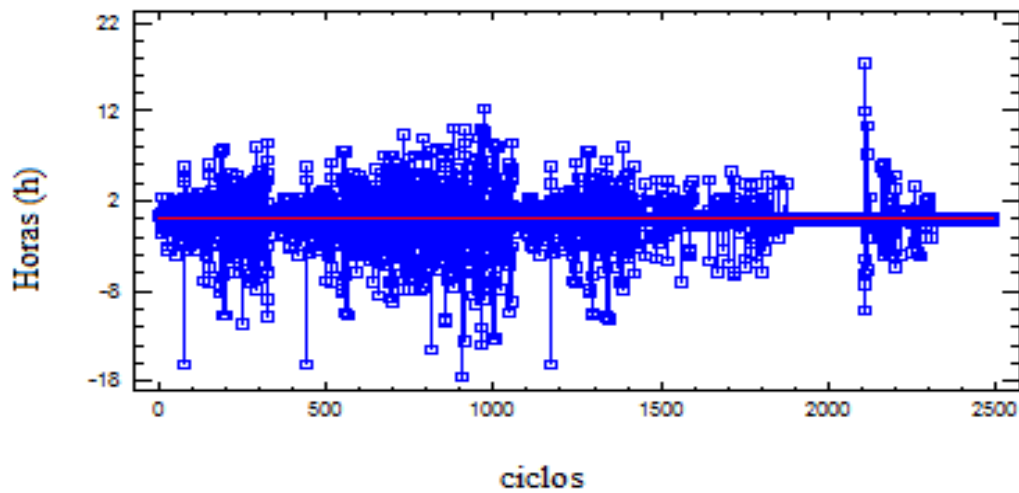


Figura 4.15. Comportamiento de la componente irregular de la variable H_{efec} en la retroexcavadora.

En la figura 4.16, se muestra el comportamiento de la componente irregular en cada período de tiempo de la variable Prod para el camión articulado. Esta componente se ha afectado por las horas imprevistas, las cuales provocan la disminución de las toneladas a transportar entre 168 a 203 t/día.

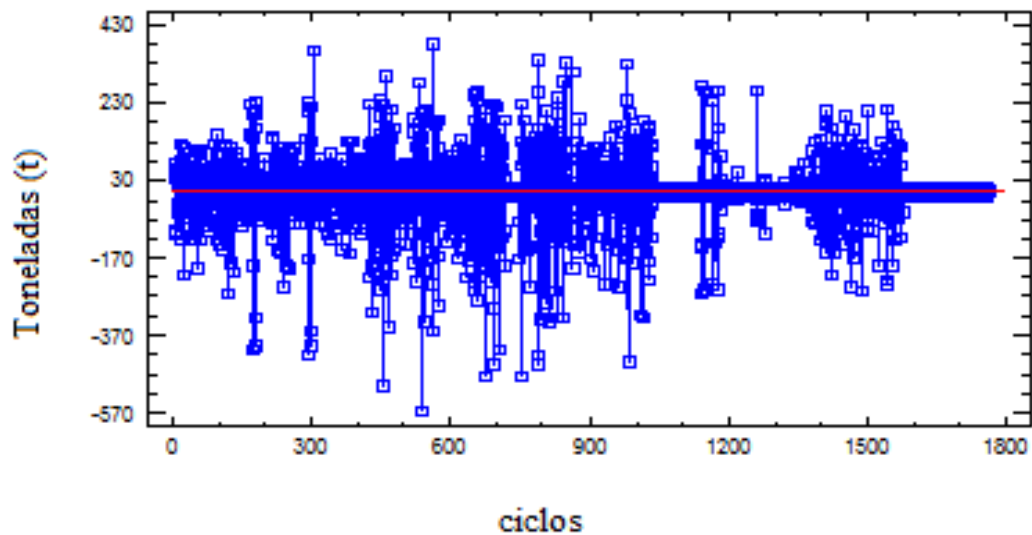


Figura 4.16. Comportamiento de la componente irregular de la variable Prod en el camión articulado.

En la retroexcavadora, por afectaciones imprevistas se dejan de extraer y cargar entre 389 a 527 t/día, que incide en el rendimiento de forma negativa. El comportamiento de la componente irregular de la variable Prod se pone de manifiesto en la figura 4.17, con mayor incidencia después del tercer ciclo.

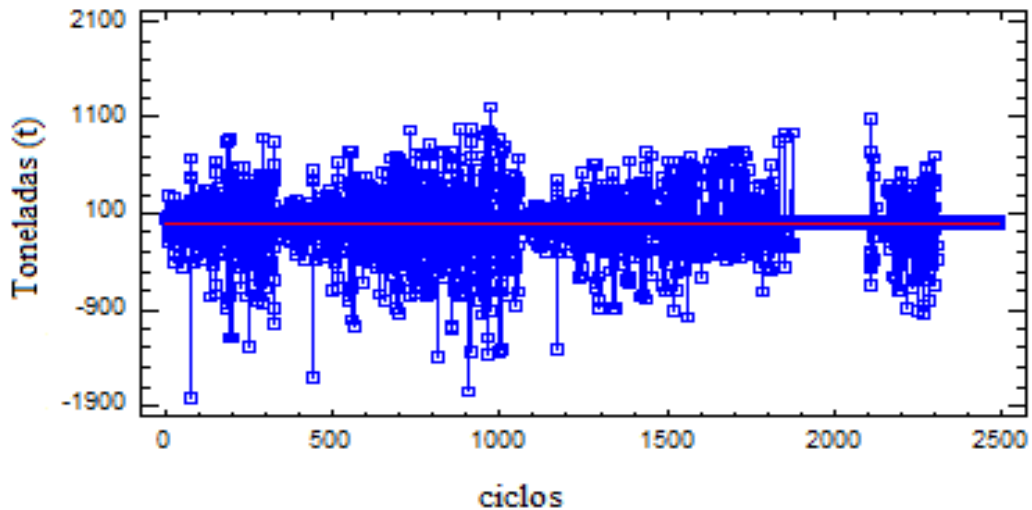


Figura 4.17. Comportamiento de la componente irregular de la variable Prod en la retroexcavadora.

En la figura 4.18 se muestra la componente irregular de la variable G_Oper en el camión articulado, ésta permite conocer que el gasto de operaciones está por encima de lo esperado en la curva de tendencia - ciclo y en la estimación estacional. Por los tiempos imprevistos se incrementa el costo de operación en los camiones articulados entre 0,10 a 0,20 \$/t.

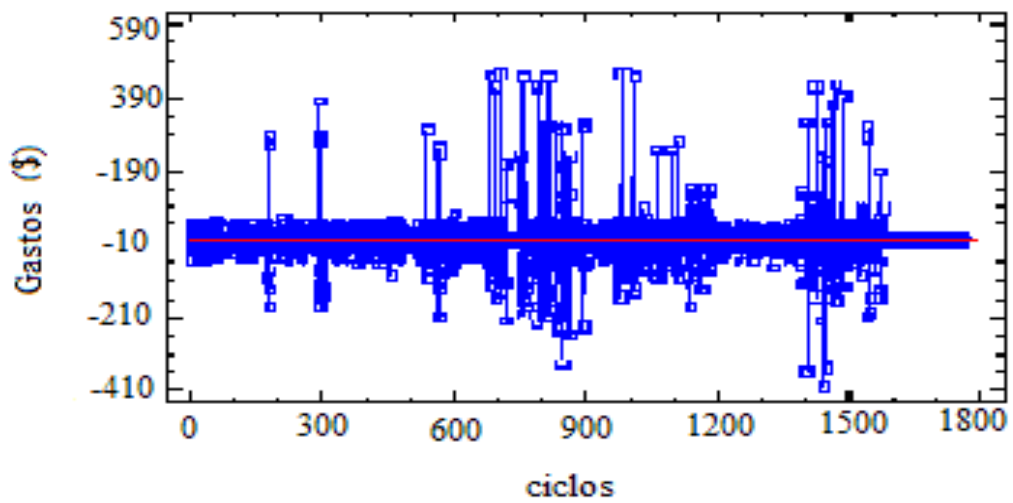


Figura 4.18. Comportamiento de la componente irregular de la variable G_{Oper} en el camión articulado.

En la figura 4.19 se observa el efecto al comportamiento de la componente irregular de la variable G_{Oper} de la retroexcavadora, donde este gasto está por encima de lo esperado en la curva de tendencia - ciclo y en la estimación estacional. Los tiempos imprevistos incrementan el costo de operación entre 0,05 a 0,10 \$/t.

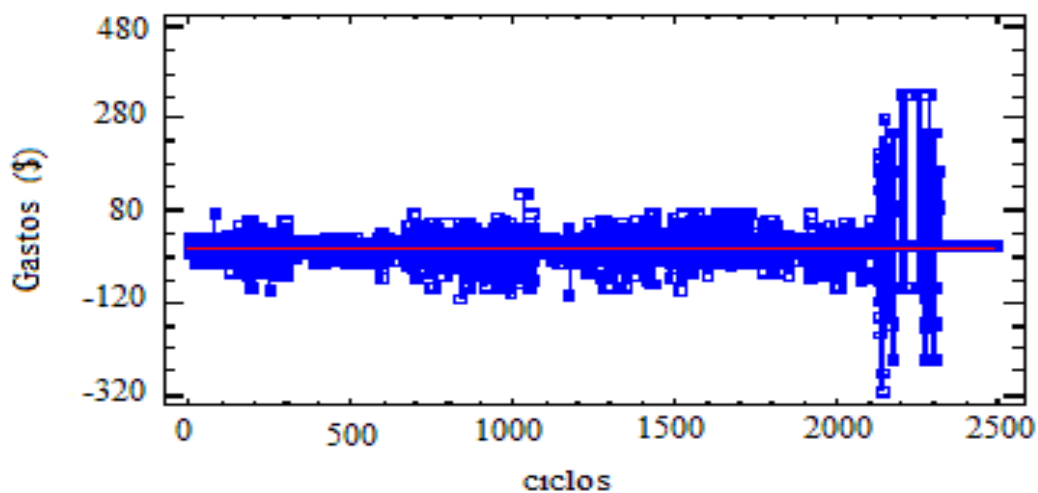


Figura 4.19. Comportamiento de la componente irregular de la variable G_{Oper} en la retroexcavadora.

En la figura 4.20, se muestra los resultados del ajuste estacional de los datos originales de la variable H_{efec} en el camión articulado concentrándose la línea de tendencia en los rangos de 15 a 22 h/día, es decir, existe la tendencia de incrementar el promedio diario en dos horas día.

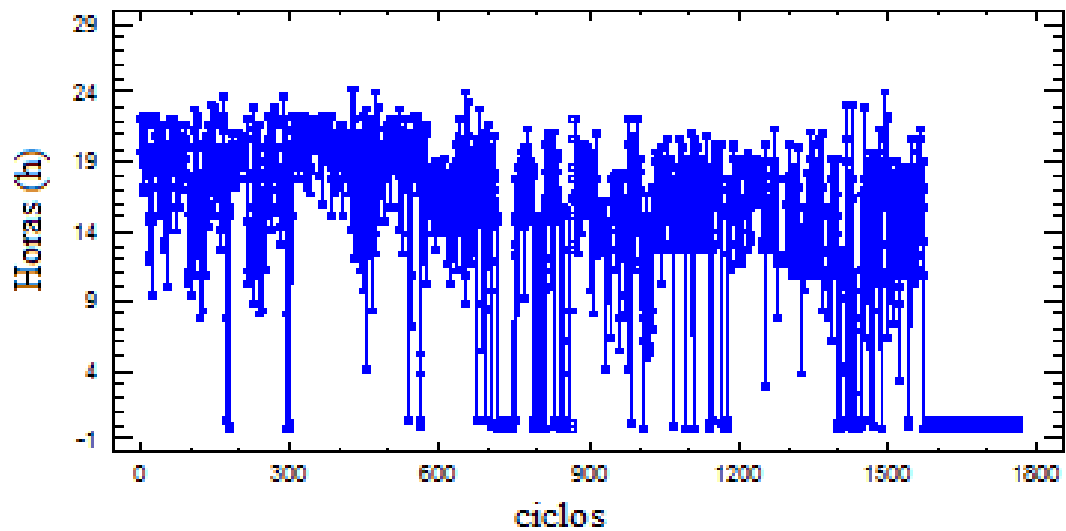


Figura 4.20. Datos ajustados por estacionalidad de la variable H_{efec} en el camión articulado.

En la figura 4.21, se pone de manifiesto que el ajuste estacional de los datos originales de la variable H_{efec} en la retroexcavadora, tiene un comportamiento similar al del camión articulado, con una línea de tendencia entre 14 y 22 h/día y también se puede lograr un incremento del promedio diario de dos horas efectivas. El efecto de las horas imprevistas sobre la línea de tendencia básica en ambos equipos después del ajuste estacional es poco visible.

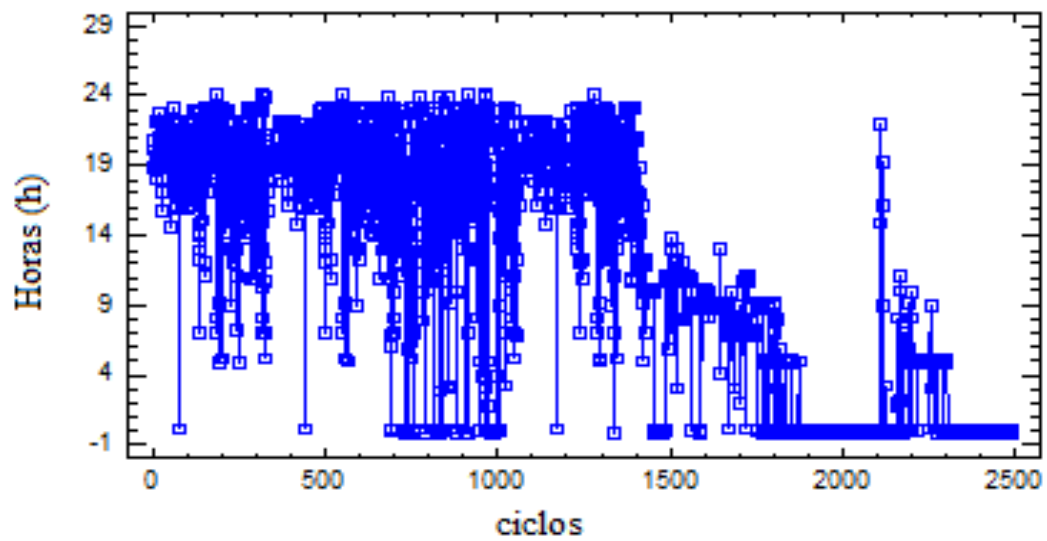


Figura 4.21. Datos ajustados por estacionalidad de la variable H_{efec} en la retroexcavadora.

El ajuste estacional de los datos originales de la variable Prod se muestra en las figuras 4.22 y 4.23, en ambas el efecto de las variaciones en la productividad horaria sobre la línea de tendencia básica es poco visible y con relación a la línea de tendencia de la serie de tiempo original, en el camión articulado se incrementa la producción en 100 t/día y en la retroexcavadora de 100 a 200 t/día.

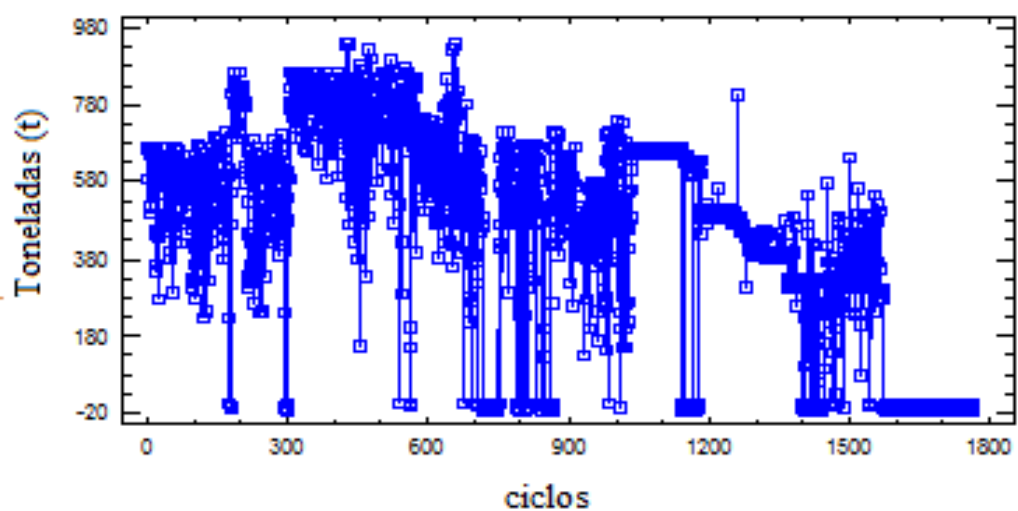


Figura 4.22. Datos ajustados por estacionalidad de la variable Prod en el camión articulado.

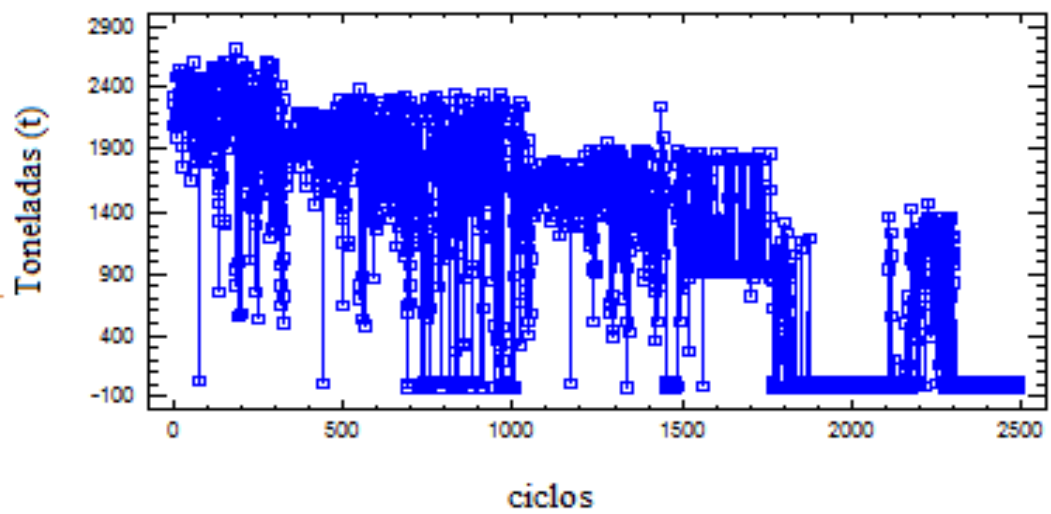


Figura 4.23. Datos ajustados por estacionalidad de la variable Prod en la retroexcavadora.

La línea de tendencia sobre el ajuste estacional de los datos originales de la variable G_Oper, se muestra en las figuras 4.24 y 4.25, la cual disminuye con relación a la línea de tendencia base en los rangos de 20 a 210 \$/día.

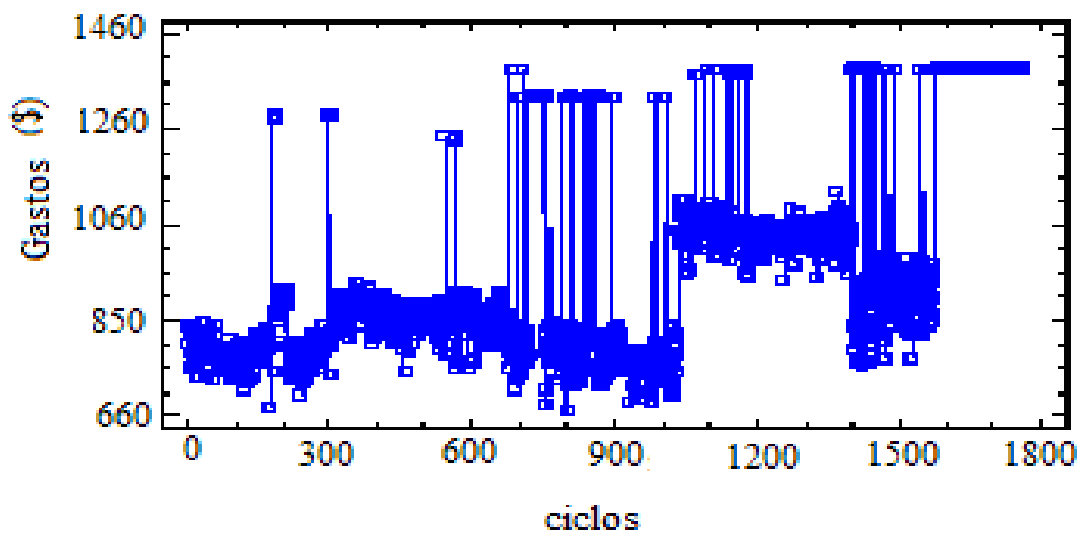


Figura 4.24. Datos ajustados por estacionalidad de la variable G-Oper en el camión articulado.

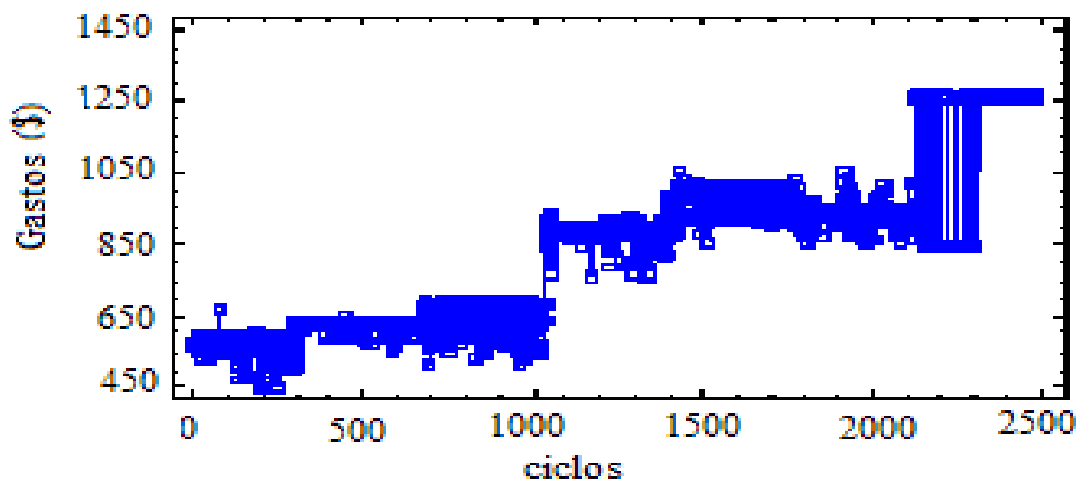


Figura 4.25. Datos ajustados por estacionalidad para la variable G_Oper en la retroexcavadora.

De los resultados de la aplicación del método de descomposición estacional aditivo de las series de tiempo, se resume que:

1. La estimación combinada de los componentes tendencia - ciclo muestra el efecto a largo plazo de las deficiencias de los servicios técnicos de la contratación en la disminución de los índices de disponibilidad técnica y de utilización, incremento de los índices de averías y de los gastos de operación, así como disminución del rendimiento.
2. En todos los casos los índices estacionales de cada período de tiempo evaluado representan las oscilaciones del rendimiento de los equipos mineros, lo cual permite concluir que pasadas las 12 000 horas efectivas disminuye su rendimiento. Los equipos que se le han garantizado los servicios técnicos de la contratación alcanzan mayor rendimiento hasta las 15 000 horas efectivas.
3. El ajuste estacional de las series de tiempo originales, permite pronosticar un incremento de cuatro horas efectivas día, entre 100 a 200 t/día en la extracción, carga y transporte de masa minera y la disminución de los gastos de operación

entre 20 a 210 \$/día y el incremento del rendimiento en la retroexcavadora entre 7 a 24 % y en el camión articulado entre 7 a 25 %, ver las figuras 4.26 y 4.27.

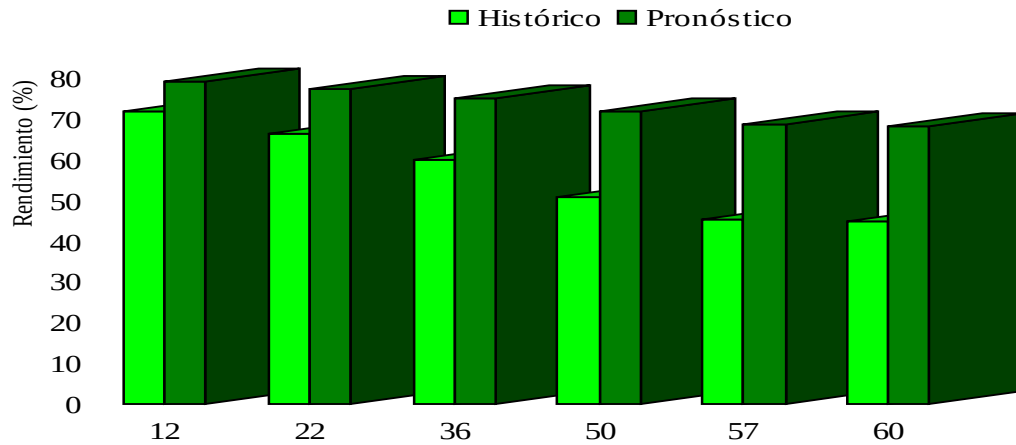


Figura 4.26. Comportamiento del rendimiento en la retroexcavadora.

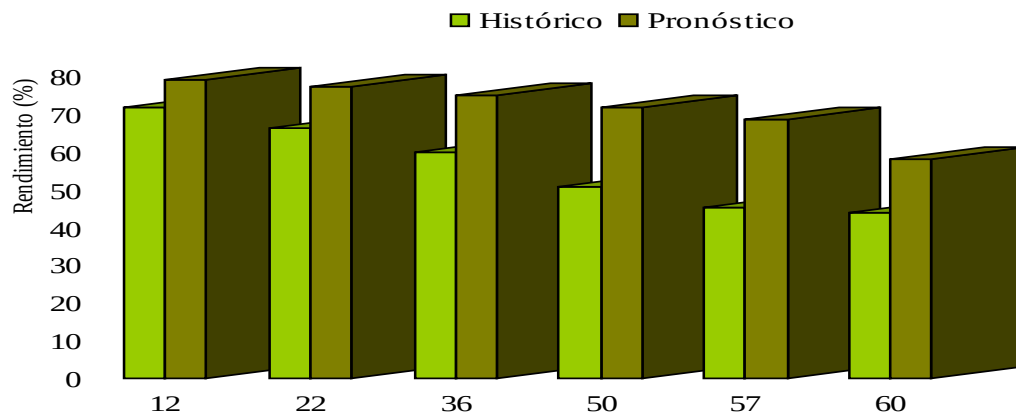


Figura 4.27. Comportamiento del rendimiento en el camión articulado.

4.3.3.3 Toma de decisión de la aplicación del método estadístico

Por el resultado del comportamiento de la línea de tendencia - ciclo en el período evaluado para ambas líneas de equipos como se muestra en las figuras 4.2 hasta la 4.7 que es decreciente en las variables H_efec y Prod y creciente en la variable G_Oper, la decisión es el reemplazo por equipos nuevos (fase 4 del modelo de rendimiento).

4.3.3.4 Resultados del modelo de rendimiento de los equipos en función de los servicios técnicos de la contratación

El modelo de rendimiento de los equipos mineros permitió:

1. Caracterizar y validar la base de datos histórica de los equipos mineros para su posterior análisis e interpretación mediante la aplicación de métodos estadísticos.
2. Seleccionar el método estadístico y el modo de aplicación para evaluar el rendimiento de los equipos mineros.
3. Graficar los ciclos de tiempo de las variables H_efec, Prod y G_Oper que forman parte de los indicadores que miden el rendimiento de los equipos mineros.
4. Mostrar los ciclos de máximo y mínimo del rendimiento en los equipos mineros mediante los gráficos del método de descomposición estacional aditivo de las series de tiempo.
5. Disminuir el costo de operación de los camiones articulados en 0,09 \$/t por incremento del índice de rendimiento en 14 %; la disminución del costo en 0,11 \$/t por incremento del índice de rendimiento en 16 % en la retroexcavadora, mediante el ajuste de la estacionalidad valorando el cumplimiento eficiente de los servicios técnicos de la contratación.
6. Elegir la mejor alternativa que es reponer las retroexcavadoras marca LIEBHERR modelo R984 con 27 000 horas efectivas y los camiones articulados marca VOLVO modelo A40D con más de 24 000 horas efectivas. Esta alternativa certifica que el plan actual de reemplazo de los equipos mineros no tiene en cuenta todos los aspectos necesarios para la toma la decisión.
7. Pronosticar los períodos de vida útil para los equipos mineros en diferentes condiciones de explotación los cuales se muestran en la tabla 4.6.

Tabla 4.6. Propuesta de vida útil para los equipos mineros.

		Condiciones de explotación	
Tipo de equipo	Tipo de operación	Favorables	Medias
Retroexcavadora hidráulica sobre esteras	Excavación - carga de escombros	30 000	26 000
	Excavación - carga de mineral	30 000	26 000
Camión articulado	Transporte de escombros	26 000	24 000
	Transporte de mineral	28 000	26 000

4.4 Evaluación de los proveedores contratados para la explotación minera

Se realiza a los proveedores que están participando en el proceso de licitación y que tienen equipos en explotación en la Unidad Básica Minera. Valor de los términos técnicos y comerciales tres puntos. Nivel de importancia del uno al cinco dependiendo del alcance (etapa 4 del procedimiento).

Tabla 4.7. Puntuación a los términos técnicos por proveedor contratado.

Proveedor	VOLVO			LIEBHERR	
Tipo de equipo	Camión articulado	Retroexcavadora	Total y Promedio	Retroexcavadora	Total y Promedio
Cantidad	11	2	13	6	6
Calidad	5	5	5	5	5
Estado técnico	5	5	5	5	5
Plazos de garantía	5	5	5	4	4
Avance tecnológico	5	3	4	5	5
Capacitación	5	5	5	5	5
Puesta en marca	5	5	5	5	5
Asistencia técnica	5	5	5	5	5
Oportunidad	4	4	4	4	4
Uniformidad	5	5	4	5	5

En la tabla 4.7, se muestra el alcance de cada término técnico ofertado por los proveedores VOLVO y LIEBHERR durante la explotación de los equipos mineros. Los equipos de excavación - carga han tenido más afectaciones que los de transporte de masa minera.

Tabla 4.8. Puntuación a los términos comerciales por proveedor contratado.

Proveedor	VOLVO			LIEBHERR	
Tipo de equipo	Camión articulado	Retroexcavadora	Total y Promedio	Retroexcavadora	Total y Promedio
Cantidad	11	2	13	6	6
Servicio de postventa	5	4	4,5	3	3
Taller	5	2	3,5	3	3
Almacén en consignación	3	2	2,5	2	2
Plazo de entrega	4	4	4	3	3
Condición de entrega	5	5	5	5	5

El alcance de los términos comerciales de los servicios técnicos de la contratación de los proveedores antes mencionados se muestra en la tabla 4.8, en los que también los equipos de excavación - carga han tenido más afectaciones que los de transporte de masa minera.

Tabla 4.9. Resumen de la evaluación de los proveedores contratados.

Proveedor	VOLVO	LIEBHERR
Términos técnicos		
Calidad	15	15
Estado técnico	15	15
Plazos de garantía.	15	12
Tecnología y avance tecnológico	12	15
Capacitación	15	15
Puesta en marca	15	15
Asistencia técnica	15	15
Oportunidad	12	9
Uniformidad	15	15
Subtotal	129	125
Términos comerciales		
Servicio de postventa	13,5	9
Infraestructura para el mantenimiento	10,5	9
Almacén en consignación	7,5	6
Plazo de entrega	12	9
Condición de entrega	15	15
Subtotal	62,5	48
Términos técnicos y comerciales		
Total general	191,5	173

En el resultado de la tabla 4.9, se muestra que ambos proveedores están aprobados para realizar nuevos contratos de adquisición de equipos mineros porque cumplen con los servicios de la contratación entre el 75 al 94 %, es decir, están en la categoría media según los criterios de evaluación de la matriz.

4.5 Conclusiones parciales

- ✓ La aplicación del modelo de rendimiento de los equipos mineros permitió notificar la importancia de la evaluación del rendimiento para la definición del reemplazo de los equipos mineros.
- ✓ El procedimiento para el reemplazo de los equipos mineros, validado por el modelo de rendimiento de los mismos permite mayor racionalidad y eficiencia de la planificación, selección, adquisición, explotación y en su reemplazo.

CONCLUSIONES

1. La selección de los indicadores que miden el rendimiento y los factores que influyen en el reemplazo, permitió elaborar el modelo de rendimiento de los equipos mineros.
2. La utilización del modelo de rendimiento a partir de sus tendencias definidas por las series de tiempo en función de los servicios técnicos de la contratación por períodos de explotación, posibilitó perfeccionar el procedimiento para el reemplazo de los equipos mineros.
3. La aplicación del procedimiento para el reemplazo de los equipos mineros, facilitó validar su viabilidad.
4. El procedimiento validado por el modelo de rendimiento de los equipos mineros, puede ser aplicable en empresas o entidades que tenga en explotación equipos para movimiento de tierra.

RECOMENDACIONES

1. Aplicar el procedimiento basado en el modelo de rendimiento de los equipos mineros en función del cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación, a los equipos auxiliares.
2. Valorar la aplicación del procedimiento propuesto en otras ramas de la industria minera y la construcción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abarca, R.; Alvarado, M. (2000). Análisis de vida útil de equipos y bienes de capital. Universidad Central de Chile. 17p. Consultado: 3 de diciembre de 2009. Disponible en: redalyc.uaemex.mx.
2. Aduvire, E. O. (1990). Reemplazo óptimo de maquinaria minera en explotaciones a cielo abierto mediante el análisis sensibilidad económico financiero por la vía de riesgo. [Resumen Tesis Doctoral]. Universidad Politécnica de Madrid. 32p. Consultado: 2 de diciembre del 2009. Disponible en: www.cibernetia.com.
3. Agachanof, M. (2010). *Cao Gazprobanc lising pod cnakon sinergui Q. H.T.Ж. Gornaya Promizlennosti*. No.5 (93). Ha crp 22. ISSN 1609-9192.
4. Alfaro, V. (2002). Mayor tonelaje y más tecnología serán claves de camión minero. 10p. Consultado: 20 de octubre del 2008. Disponible en: <http://html.rincondelvago.com/camion-minero.html>.
5. Arellano, M. (2001). Introducción al Análisis Clásico de Series de Tiempo. 43p. Consultado: 18 de enero de 2011. Disponible en: <http://www.5campus.com>
6. Baca, G. (2000). Ingeniería Económica. Sexta edición. Bogotá: Fondo Educativo Panamericano. ISBN: 9589489133, 366p. Consultado: 9 de marzo del 2010. Disponible en: <http://biblioteca2.icesi.edu.co>.
7. Ballester, F. y Capote, J. A. (1992). Máquina de movimiento de Tierra. Criterios de Selección. Editorial Pedeca. España. 405p.

8. Barloworld Finanzauto CAT (2005). Maquinaria Cat® para Movimiento de Tierras, O.P. y Minería. Páginas 8-9, 18-21 y 32-34. Consultado: 25 de mayo de 2011. Disponible en www.barloworld.finanzauto.es.
9. Barreto, J. C. (2008). Criterios de selección y reemplazamiento de equipo para la construcción de accesos y plataformas en la zona de San Antonio, provincia de Yauli-Junín. Perú. [Tesis de grado]. 100p. Consultada: 4 de mayo de 2010. Disponible en: www.cybertesis.edu.pesisbib2008barretohipdfbarreto.pdf.
10. Belete, O. (2000). Máquinas de excavación - carga. Folleto. Editorial G-Art, Guantánamo. 60p.
11. Belete, O.; Dieguez, Y.; Estenoz, S. (2010). Rendimiento del equipamiento minero de arranque - carga - transporte de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Informe. ISMM. Cuba.18p.
12. Belete, O.; Estenoz, S. (2003). Vías para seleccionar el equipamiento minero racional considerando el método de explotación. Taller Internacional de la Geología y la Minería del Níquel Cubano en el CD de las memorias del V Congreso de Geología y Minería, La Habana.
13. Berenson, M. y Levine, D. (1996). Estadística Básica para Administración. (Sexta edición). Editorial Prentice Hall. 1018p. Consultado: 25 de mayo de 2009. Disponible en: www.fca.unam.mx.
14. Beichelt, F. A. (2001). *Replacement policy based on limiting the cumulative maintenance cost*. En: *The International Journal of Quality & Reliability Management*. Tomo 18, N° 1. 76p. Consultado: 4 de marzo del 2009. Disponible en: <http://gateway.proquest.com>.
15. Botín, J. A. (1986). Modelo matemático para la programación del mantenimiento y control presupuestario de sistemas de transporte de mineral

- mediante camiones fuera ruta. [Resumen Tesis Doctoral]. Universidad Politécnica de Madrid. 32p. Consultado: 2 de diciembre de 2009. Disponible en: www.cibernetia.com.
16. Bottini, R. (2008). Modelos matemáticos para la optimización de reemplazo preventivo e inspecciones preventivas. 10º Congreso Internacional de Mantenimiento y 4º Congreso Trinacional de Mantenimiento. Buenos Aires. 41p. Consultado: 9 de marzo de 2010. Disponible en: <http://www.cam-antenimiento.com.ar>.
 17. Bowerman, B. L.; O'Connell, R. T. (2007). Construcción de modelos. Pronósticos, Series de Tiempo y Regresión. enfoque aplicado. Cuarta edición. *Cengage Learning* Editores. ISBN 970680006X, 9789706866066. P: 251-256. Consultado: 20 de octubre de 2011. Disponible en: <http://www.mty.itesm.mx/egap/re-4004/Cap7.ppt>.
 18. Britaev, V. A; Zamishlaev, V. (1984). Gornie Mashini y Kompleksi. Nedra. Moskva, p: 255 - 275.
 19. Bruzos, G.; Frómeta, S.; Mirabent, J.; Blázquez, E.; Tasé, I. (2001). Evaluación de los factores que influyen en la toma de decisión para la política de remotorización. Centro de Ingeniería del Transporte de Oriente (Cit). No 02, 9p. Consultado: 10 de enero de 2010. Disponible en: <http://www.santiago.cu>.
 20. Bruzos, G.; Frómeta, S.; Mirabent, J. (2005). Análisis técnico económico de los vehículos que circulan en Cuba y la reposición del parque. Centro de Ingeniería del Transporte de Oriente (Cit). No 04, 11p. Consultado: 11 de enero de 2010. Disponible en: <http://www.santiago.cu>.
 21. Bravo, S. (2006). La vida útil de un Activo y Política de Reemplazo de Activos. ESAN - Cuadernos de difusión. Área de Finanzas, Contabilidad y

- Economía. P: 133-149. Consultado: 8 de febrero de 2010. Disponible en: <http://www.esan.edu.pe/paginas/pdf/Vida.pdf>.
22. Candeaux, G. (2011). Procedimiento para la adquisición y explotación del equipamiento minero para la empresa Cementos Santiago S.A. [Tesis Maestría]. ISMM. Cuba. 85p.
 23. Cantillo, V. (1998). Reemplazo económico de los equipos. Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte. N° 3/4; p: 58 - 63. Consultada 21 de enero de 2009. Disponible en: <http://rcientificas.uninorte.edu.co>.
 24. Cao R.; Naya S.; Presedo M.; Vázquez M.; Vilar J. A. y Vilar J. M. (2001). Introducción a la Estadística y sus Aplicaciones. Editorial Pirámide. 10p.
 25. Churchman, W.; Ackoff, R.; Arnoff, L. (1971). Introducción a la Investigación Operativa. Madrid: Aguilar S. A. Consultado: 21 de enero de 2009. Disponible en: <http://biblioteca.universia.net>.
 26. Cubaníquel (1996). Propuesta para la contratación y adquisición de Equipamiento Minero de las empresas Ernesto Che Guevara y René Ramos Latour. Evaluación Técnico - Económica. Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. 9p.
 27. Curbeira, D. (2002). Nueva dimensión de la teoría de la reposición y el mantenimiento. [Tesis Maestría]. Facultad de Informática, Departamento de Matemática Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”. Cuba. 80p.
 28. CEXNI (2003). Contrato de arrendamiento 30221. Leasing sin Opción de compras. Equipos de arranque, carga y transporte marca VOLVO. Unidad Básica Minera. Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

29. CEXNI (2004). Contrato de arrendamiento 40014. Leasing sin Opción de compras. Equipos de arranque, carga y transporte marca VOLVO. Unidad Básica Minera. Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.
30. CEXNI (2006). Contrato de arrendamiento 60088. Leasing sin Opción de compras. Equipos de carga y transporte marca VOLVO. Unidad Básica Minera. Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.
31. CEXNI (2006*). Contrato de arrendamiento 60720. Leasing sin Opción de compras. Equipos de carga y transporte marca VOLVO. Unidad Básica Minera. Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.
32. CEXNI (2007). Contrato de arrendamiento 70188. Leasing sin Opción de compras. Equipos de arranque, carga y transporte marca VOLVO. Unidad Básica Minera. Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.
33. Cuba, Y. (2008). Perfeccionamiento de la transportación de la masa minera en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. [Tesis de grado]. ISMM. Cuba. 75p
34. Cuza, A. (2008). El contrato de leasing. implementación en la adquisición de equipamiento minero de la empresa del níquel Comandante Ernesto Che Guevara. [Tesis Especialidad Asesoría Jurídica]. Universidad de Oriente. Facultad de derecho. Cuba. 53p.
35. Christensen, C. (2005). Confiabilidad & Disponibilidad. 25p. Consultado: 3 de junio de 2011. Disponible en: www.simingeneria.com.ar.
36. Cisnero, J. (2003). Diseño de explotación a cielo abierto. A.I.M.E. P: 10 -15 y 20 - 31. Consultado: 24 de agosto de 2011. Disponible en: www.aimecuador.org.

37. Espinosa, J. (1990). Reemplazo de equipos: un enfoque de mantenimiento. Revista Mantenimiento N° 1, CIUDAD. ISS 0716-8616. 5p. Consultado: 10 de marzo de 2009. Disponible en: http://www.servic.cl/art_rm/rev.html/rev01.
38. Empresa Comandante Ernesto Che Guevara (2005). Procedimiento de Puesta en Marcha. Manual de Gestión Empresarial. Unidad Básica de Servicio Técnico de la Producción.
39. Empresa Comandante Ernesto Che Guevara (2005*). Procedimiento de Evaluación y Reevaluación de proveedores. Manual de Gestión Empresarial. Unidad Básica de Servicio Técnico de la Producción.
40. Empresa Comandante Ernesto Che Guevara (2012). Plan cinco años de minería. Departamento Técnico de Planificación. Unidad Básica Minera.
41. Empresa Comandante Ernesto Che Guevara (2012*). Informe técnico de Mantenimiento. Grupo Técnico de Mantenimiento. Unidad Básica Minera.
42. EMPLANI (2006). Estudio de Aprovechamiento de la Jornada Laboral. UEB Organización Empresarial. Contrato 06. 26p. Unidad Básica Minera. Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.
43. Escobar, G. (2006). Propuesta de un modelo de gestión para el mantenimiento de carreteras en el estado de Lara - Venezuela. [Tesis Doctoral]. 366p. Editorial de la Universidad de Granada. ISBN: 84-338-4127-0. Consultado: 01 de marzo de 2010. Disponible en: www.ugr.es/~gmmontes.
44. Espinosa, F. (2009). Modelo para el estudio del reemplazo de un equipo productivo. Universidad de Talca. Facultad de Ingeniería. 11p. Consultado: 10 de marzo de 2010. Disponible en: <http://ing.otalca.cl/~fepinos/4-.pdf>.
45. Estudios Mineros del Perú S.A.C. (2010). Manual de Minería. P: 98 -105. Consultado: 24 de marzo de 2011. Disponible en: www.estudiosmineros.com.

46. Figuera, J. y Figuera, J. R. (1979). Renovación de equipos industriales. Barcelona: Editorial. Hispanoeuropea. 264p. Consultado: 20 de marzo del 2010. Disponible en: <http://www.catalogo.uni.edu.pe>.
47. García, M. (1969). El método MAPI como criterio para la sustitución de maquinaria. En: IIT Tecnología. Instituto de investigaciones tecnológicas. Vol XI, año XI, N°6. Santa fe de Bogotá.
48. García, M. I. (2008). Perfeccionamiento del procedimiento de adquisición y explotación de los equipos mineros en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. [Tesis Maestría]. 98p. ISMM. Cuba.
49. García, M. I. (2011). *Vliyaniye kachestva tenicheskava abluchivania na proizvoditelnost gorno-shatnova abarudovaniya v uslovia karierov kuby. Ceminar 22. Gorniye machini y oborudobaniya. Nedelia Gorniaká Nauchni Ceminar. Moskva*. ISBN: 0236-1493-30-9. 25cm.
50. García, M. I. (2011*). *Analiz dolgovechnosti gorno-shajnova abarudovaniya v uslovaij karierov Kubi. Seminar 22. Gornie machini y abarudovaniye. Nidelia Gorniaká nauchni simposium. Moskva*. ISBN: 0236-1493-30-10. 23p.
51. García, M. I.; Charchabal, C. (2003). Análisis del comportamiento de las nuevas tecnología minera en la ECG. Evento Mujer Creadora Provincial. 20p.
52. García, M. I.; Charchabal, C.; Larramendis, N. (2005) Evaluación de la eficiencia técnico - económica de las tecnologías mineras aplicadas en el yacimiento Punta Gorda, empresa ECG. I Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. I Congreso Cubano de Minería. Cuba. ISBN: 959-717-03-7.11p.
53. García, M. I.; Donatién, A.; Charchabal, C. (2007). Denominación y evaluación de las contrataciones o negociaciones de equipos mineros para la explotación de los yacimientos de la empresa Comandante Ernesto Che

- Guevara. II Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. II Congreso Cubano de Minería. Cuba, ISBN: 978-959-7117-16-2. 13p.
54. García, M. I., y Donatién, A. (2008). Leasing, nueva alternativa en el cumplimiento de las labores mineras en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. III Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. III Congreso Cubano de Minería. Cuba. ISBN: 978-959-7139-83-6. 20p.
55. García, M. I.; Peña, R. (2013). Análisis estadístico de la eficiencia de un equipo de minería para la optimización del reemplazo. V Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. V Congreso Cubano de Minería. Cuba. ISSN 2307- 499X.
56. García, M. I.; Rivas, R. (2008). Evaluación de los equipos mineros de acuerdo a su origen y explotación en la empresa niquelífera Comandante Ernesto Che Guevara. XVI FORUN de Ciencia y Técnica. Municipal. 28p.
57. García, M. I.; Téllez, R.; Donatién, A.; Paumier, C.; Ruiz, G. (2006). Análisis del conjunto retroexcavadora, cargador – camión en arrendamiento sin opción de compras en las operaciones mineras. XV FORUN de ciencia y técnica. Municipal. 23p.
58. García, M. I.; Ulloa, M. (2009). Perfeccionamiento del procedimiento de adquisición y explotación de los equipos mineros en la empresa niquelífera Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. III Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. III Congreso Cubano de Minería. Cuba. ISBN: 978-959-7139-83-6. 23p.
59. García, M. I., Ulloa, M.; Belete, O. (2011). Efecto de los servicios técnicos en la vida útil de los equipos mineros de la empresa ECG. IV Convención

Cubana de Ciencias de la Tierra. IV Congreso Cubano de Minería.
ISBN: 978-959-7117-30-8.

60. García, M. I., Ulloa, M.; Belete, O. (2013). El reemplazo de equipos mineros: un enfoque desde el rendimiento y los servicios técnicos de la contratación. Revista Geología, Minería. ISSN 1993 8012, V. 29, n; 2. ISMM. Disponible en: revista.ismm.edu.cu.
61. García, M. I., Ulloa, M.; Belete, O. (2013). Influencia del cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación en el rendimiento de equipos mineros. Revista Geología, Minería. ISSN 1993 8012, V. 29, n; 3. ISMM.
62. Gestión Efectiva Operaciones (2007). Cálculo de flotas de equipos. Consultado: 8 de agosto de 2010. Disponible en: <http://probingen.blogspot.com>.
63. Gómez, G. (2001). Análisis de reemplazo de activos físicos. Matemáticas Financieras y Evaluación de Proyectos. Chile. 4p. Consultada: 21 de septiembre de 2009. Disponible en: <http://www.gestiopolis.com>.
64. GETEC (2003). Plan de Actuación Tecnológica. Gestión de la Tecnología. 12p. Consultado: 6 de enero de 2010. Disponible en: <http://www.getec.etsit.upm.es>.
65. Guerra, E.; García, M. I. (2009). Análisis de los indicadores técnico - productivos en la transportación de masa minera y su influencia en la planificación minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. III Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. III Congreso Cubano de Minería. ISBN: 978-959-7139-83-6. 20p,

66. Guerra, E. (2012). Relación entre la productividad, el mantenimiento y el reemplazo del equipamiento minero en la mina de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. [Tesis Maestría]. ISMM. Cuba. 89p.
67. Gutiérrez, S. (2005). El método Terborgh o MAPI para la determinación del momento de la renovación de un equipo. Estadística Española. Pág. 61-78. Consultado: 21 de septiembre de 2009. Disponible <http://www.ine.es>.
68. Kepner - Tregoe (2005). Detectando fallas en el sistema de detección de fallas. Inc. All Rights Reserved. TCC1.1.18. 14p. Consultado: 2 de Julio de 2011. Disponible en: <http://www.ktvenezuela.comtroubleshoot.pdf>
69. La Torre, G. (2008). Concepto de asistencia técnica - Jornada Nacionales de Derecho Tributario. Instituto Peruano de Derecho. P: 77 - 89. Consultado: 05 de marzo de 2011. Disponible en: <http://www.ipdt.org/pdf>.
70. Lazarte, V. y Naidicz, P. (2009). Serie temporal. Curso1. Dirección de Estadísticas de la Provincia de Tucumán. 23p. Consultado: 25 de septiembre de 2011. Disponible en: www.estadistica.tucuman.gov.ar/.pps.
71. León, M. (2007). Guía para la planificación, ejecución y control de la minería de las lateritas niquelíferas. II Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. II Congreso Cubano de Minería. Cuba, ISBN: 978-959-7117-16-2. 10p.
72. LIEBHERR (2003). Manual de explotación, equipo de arranque y carga. Retroexcavadora R974B. Unidad Básica Minera. Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.
73. LIEBHERR (2004). Manual de explotación, equipos de arranque y carga. Retroexcavadora R984B. Unidad Básica Mina. Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

74. Lind, D.; Marchal, W. y Mason, R. (2004). Estadística para Administración y Economía. (Oncena Edición) México: Alfa Omega Grupo editor. 110p.
75. López, A. (2005). Servicios de manutención de equipos mineros de arranque, carga y transporte. 7p. Consultado: 2 de marzo de 2006. Disponible en: www.mantenimiento.com.
76. Marrero, F.; Abreu, R. (2001). Simulación de Sistemas. Manizales. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Consultado 14 de septiembre de 2011: Disponible en: revistas.utp.edu.co.
77. Maxera, C. O. (2005). Aplicación de la simulación para la optimización del acarreo de mineral. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ingeniería Industrial. Biblioteca Central de la UNMSM.80p.
78. Mbalongany, M. (2010). Estudio del Rendimiento de los Equipos de Arranque y Carga en la Mina de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. [Tesis de grado]. ISMM. 80p. Cuba.
79. McCullogh y S. Searle (2001). *Generalized, Linear, and Mixed Models. Cap1. 25 pages*. Consultado: 02 de septiembre de 2012. Disponible en: webdelprofesor.ula.ve/MODELOS%20LINEALES%202./TEMA1.1a.pdf.
80. Medchudof, M. A. (2009). *Saverchesvovanie metodov tenicheskavo abluchivania y remonta karernix avtosamasvalov. Avtoreferat . [disertaci na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tecnichesqui hauyki]. Maskovkovo Avtomobilno - Doroznovo Instituta. Gocudarstb;vennovo tenicheskavo Tekhnicheskogo Universiteta.23p.*

81. Mey, j. l. (1956). *Financiering en liquiediteit*. In: Van der Marck. Length 3 pages. Consultado: 28 de diciembre de 2009. Disponible en: <http://books.google.com.cu>.
82. Ministerio de Economía y Planificación, MEP (2012). Emisión del plan de inversiones 2012 actualizado. Equipos mineros posposición.
83. Ministerio de la Industria Básica, MINBAS (2008). CIRCULAR AE-358. Convertidor de Códigos de Grupos de Activos Fijos, para aplicar en el Módulo de Activos Fijos del SISCONT5. Área de Economía. CUBA.
84. MIDEPLAN (2008). Metodología. Proyectos de Reemplazo de Equipos. Estudios e Inversiones. 16p. Consultado: 10 de octubre de 2009. Disponible en: <http://www.serplacrm.cl/publicaciones/metodologias/LMV17.pdf>.
85. Mira, L. (1994). Tiempo óptimo de reposición por obsolescencia del equipo. Universidad de los Andes. Santa fé de Bogotá: N° 147. Bogotá.
86. Navarro, J. (2008). Capítulo 2. Equipos y Técnicas Constructivas. P: 61-289. Consultado: 06 de enero de 2012. Disponible en: snavarro.files.wordpress.com.
87. Ortiz, F. J. (2009). Cálculos: potencias, pérdidas y rendimientos del tractor agrícola. Capítulo II Maquinaria Agrícola. Escuela nacional de agricultura “Roberto Quiñónez”. 20p Consultado: 04 de noviembre de 2011. Disponible en: <http://www.buenastareas.com>.
88. Ortíz, P.; Herrera, J. (2002). Curso de Laboreo I. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas Cátedra de Laboreo de Minas. P: 12 - 36. Consultado: 06 de enero de 2010. Disponible en: <http://www.upct.es>.

89. Paraszczak, J. (2005). *Understanding and assessment of mining equipment effectiveness. Trans Inst. Min Metall. A.* vol 114. 147 p.
90. Pérez, J. (2008). El método de Kepner y Tregoe o matriz del perfil competitivo. 3p. Consultado: 06 de enero de 2010. Disponible en: <http://unefaiembo.foroactivo.com/gerencia-y-td-pqm10a-2008>.
91. Peumans, H. (1965). *Théorie et Pratique des Calculs d'Investissements.* Dunod. París. P134-250.
92. Poveda, G. (2002). Óptimo económico de máquinas y equipos. Parte I. Delimitación del problema. Revista Facultad de Ingeniería Nro. 27. Universidad de Antioquia. Medellín Colombia, p151. Consultado: 06 de enero de 2010. Disponible en <http://ingenieria.udea.edu.co>.
93. Poveda, G. (2003). Óptimo económico de máquinas y equipos. Parte II. El modelo matemático. Revista Facultad de Ingeniería Nro. 28. Universidad de Antioquia Medellín Colombia, p115. Consultado: 06 de enero del 2010. Disponible en: <http://ingenieria.udea.edu.co/grupos/revista/revistas/nro028>.
94. Prawda, J. (1981). Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones. Vol. 1/2. México D.F.: Editorial Limusa S. A. P: 50 - 120. Consultado: 06 de enero de 2010. Disponible en: <http://openlibrary.org>.
95. Preciado, J. A. (2001). Aplicación de un modelo económico para la toma de decisiones en reemplazo de equipo de acarreo en una mina a cielo abierto. [Tesis Maestría]. Universidad de Colima, facultad de Contabilidad y Administración de Manzanillo. 179p. Consultado: 06 de enero de 2010. Disponible en: http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf.

96. Quiroga, J. S. (2011). Análisis del mantenimiento de los camiones mineros de la mina Comandante Ernesto Che Guevara. [Tesis de grado]. ISMM. Cuba. 89p.
97. Raibman, N. S.; Eykhoff P.; Chadeev, V. M. (1980). *Identification of Industrial Processes: The Application of Computers in Research and Production Control*. P30-120. ISBN 13: 9780444851819. [Book Sparks, NV, U.S.A.]. Consultado: 30 de noviembre de 2009. Disponible en: <http://www.iberlibro.com>.
98. Ramírez, L. A. (2012). Evaluación Técnico - Económica para la toma decisiones durante el proceso de adquisición de equipos mineros. [Tesis de grado]. ISMM. Cuba. 47p.
99. Rajutin, M. G. (2010). *Metodologiya obosnovaniya predelnix sostoyaniy y reserva elementov gidroprivoda gonimyykh mashin. Moskovskiy Gosudarstvenniy Gorniy Universitet. [Avtoreferat dissertatsii na soiskaniye uchenoj stepeni Doktora Tekhnicheskix Nauk]*. 39p.
100. Rajutin, M. G.; García, M. I. (2011). Ispol'sovaniye lisinga dlya povysheniya kachestva tekhnicheskogo abarudovaniya v usloviyakh karieraj Kubi. Gornoe abarudovaniye y elektromekhanika. № 6, УДК 622.232.83: 62-82С. Стр. 36-38. Disponible en: <http://www.novtex.ru/gormash/soderjan2011.htm>.
101. Ray, T. (1999). *Development of an Approach to Facilitate Optimal Equipment Replacement*. En: *Summary of Report 329*. Louisiana State University. P: 80 - 156. Consultada: 29 de septiembre de 2009. Disponible en: <http://www.ltrc.lsu.edu/pdf/techsumm329.pdf>.
102. Reul, I. (1957). *Profitability Index for Investments*. Book, in "Harvard Business Review". P: 58-130.

103. Rodríguez, J. L. (2002). Resolución No.686. Ministerio de Economía y Planificación de la República de Cuba.
104. Rodríguez, J. L. (2002*). Resolución No.687. Ministerio de Economía y Planificación de la República de Cuba.
105. Rojo, J. L. y Sanz, J. A. (2010). Descomposición de series de tiempo cortas: un enfoque Bayesiano (1). Estadística española. Vol. 52, núm. 173. P: 127 - 153.
106. Ruiz, J.; Hernández, G.; Zulueta, R. (2011). Análisis de Series de Tiempo en el pronóstico de la producción de caña de azúcar. Terra Latinoamericana, vol. 29, número 1, p. 103-109. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Sociales, Chapingo, México ISSN (Versión impresa): 1870. Consultado: 09 de septiembre de 2010 y el 20 de septiembre de 2012. Disponible en: <http://www.redalyc.org>.
107. Sasieni, M.; Yaspan, A.; Friedman, L. (1982). Investigación de operaciones, métodos y problemas. México D. F. Editorial Limusa.
108. Santiago Y. (2012). Procedimiento de cálculo del transporte automotor que permita disminuir sus tiempos improductivos. [Tesis de Maestría]. ISMM. 77p. Cuba.
109. Scott, B. (2005). Contratos Mineros. 5p. Consultado: 19 de julio de 2007. Disponible en: www.upme.gou/guia-ambiental/carbon/gestion/politica.
110. Selivanov, I. A (1972). Fundamentos de la teoría del envejecimiento de los equipos. Moscú: Editorial Mir. Consultado: 24 de agosto de 2009. Disponible en: www.libroos.es/.../215467-selivanov-pdfs.html.
111. STATGRAPHICS CENTURIÓN (2007). Introducción al paquete estadístico. Consultado: 10 de diciembre de 2011. Disponible en: <http://sensormx.com/temarios/temSoftstatgraphics.asp>.

112. Terborgh, G. (1954). *Realistic Depreciation Policy*. Terborgh, Machinery and Allied Products Institute, 1200 - 18St. N.W., Washington D.C. 197p. *The Engineering Economist: A Journal Devoted to the Problems of Capital Investment*. Consultado: 30 de diciembre de 2009. Disponible en: <http://www.tandfonline.com>.
113. Terborgh, G. (1958). *Dynamic equipment policy*. M.A.P.I. *Busines Investment Policy*, Washington, p100 - 130.
114. Toirac, A. (2010). Estudio del rendimiento del transporte automotor en la mina de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. [Tesis de grado]. ISMM. Cuba. 75p.
115. Tornes, A. (2005). Evaluación de la efectividad de la tecnología de arrastre en los yacimientos lateríticos. [Tesis de grado]. ISMM. Cuba. 80p.
116. Terrádez, M. y Pérez J. (2011). Series temporales. UOC. Proyecto e-Math. Financiado por la Secretaría de Estado de Educación y Universidades (MECD). 31p. Consultado: 01 de septiembre de 2012. Disponible en: [www.uoc.edu/in3/emath/docs/Series temporales.pdf](http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Series_temporales.pdf).
117. Unión de Periodista de Cuba (2009). El dictado de Ares y un hidalgo colectivo. Un siglo de explotación de los minerales lateríticos en Cuba. Libro en preparación del investigador Jorge Miranda López, del Centro de Investigaciones de las Lateritas, Moa. Consultado: 22 de octubre de 2010. Disponible en: www.cubahora.co.cu.
118. Urgellés, D. (2004). Evaluación de la eficiencia económica de la tecnología de extracción aplicada en el yacimiento Punta Gorda. [Tesis de grado]. ISMM. Cuba. 80p.

119. Vargas, R. (2002). La Maquinaria pesada en movimiento de tierra. Capítulo 6. Maquinaria y rendimiento. P: 67-128. Consultado: 24 de marzo de 2010. Disponible en: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/3271/Capitulo6.pdf>.
120. Vásquez, G.; Muñoz, M.; Tapia, J. (2008). Series de Tiempo. Universidad Católica La Santísima Concepción. 31p. Consultado: 04 de abril de 2012. Disponible en: <http://intra.fb.uner.edu.ar/catedras/bioestadistica>.
121. Vilar, J. M. (2006). Modelos Estadísticos Aplicados. Publicaciones de la UDC. Segunda Edición. ISBN: 84-9749-196-3. Consultado: 20 de abril de 2011. Disponible en www.udc.es/publicaciones.
122. Viveros, A.; González V. G.; Rodríguez, B. R. (2004). Aproximación al reemplazo de equipo industrial. Scientia et Technica Año X, No 25. UTP. ISSN 0122-1701. p163-168. Colombia.
123. VOLVO (1997). Catálogos de equipos de excavación - carga y de transporte. Serie C. Unidad Básica Minera. Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.
124. VOLVO (2003). Catálogos de equipos de excavación - carga y de transporte. Serie D. Unidad Básica Minera. empresa Comandante Ernesto Che Guevara.
125. VOLVO (2011). Catálogos de equipos de excavación - carga y de transporte. Serie E. Unidad Básica Minera. Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.
126. Walker J. (1994). *Graphical analysis for machine replacement: A case study*. En: *International Journal of Operations & Production Management*. Tomo 14, N° 10; p.54.
127. Xiribimbi, R. (1999). Comportamiento del transporte automotor durante el trienio 1996 en la mina de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. [Tesis de grado]. ISMM. Cuba. 45p

128. Xodo, D. (2006). Teoría de Fallas y Reemplazos Investigación Operativa I.
Facultad de Ciencias Exactas UNCPBA. 20p. Consultado: 6 de enero de 2010.
Disponible en: <http://www.slidefinder.net>.

ANEXO 1. PRODUCCIÓN CIENTÍFICA DE LA AUTORA SOBRE EL TEMA DE LA TESIS

Participación en eventos científicos

1. García De la Cruz, M. I.; Charchabal, C.; Larramendis, N. Evaluación de la eficiencia técnico - económica de las tecnologías mineras aplicadas en el yacimiento Punta Gorda, empresa Comandante Ernesto Che Guevara. I Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. I Congreso Cubano de Minería. Cuba, 2005. ISBN: 959-717-03-7.
2. García De la Cruz, M. I.; Donatien, A.; Charchabal, C. Denominación y evaluación de las contrataciones o negociaciones de equipos mineros para la explotación de los yacimientos de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. II Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. II Congreso Cubano de Minería. Cuba, 2007. ISBN: 978-959-7117-16-2.
3. García De la Cruz, M. I.; Donatien, A. Leasing, nueva alternativa en el cumplimiento de las labores mineras en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. III Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. III Congreso Cubano de Minería. Cuba, 2009. ISBN: 978-959-7139-83-6.
4. García De la Cruz, M. I.; Ulloa, M. Perfeccionamiento del procedimiento de adquisición y explotación de los equipos mineros en la empresa niquelífera Comandante Ernesto Che Guevara. III Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. III Congreso Cubano de Minería. Cuba, 2009. ISBN: 978-959-7139-83-6.
5. Guerra, E.; García De la Cruz, M. I. Análisis de los indicadores técnico - productivos en la transportación de masa minera y su influencia en la planificación minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. III

Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. III Congreso Cubano de Minería. Cuba, 2009. ISBN: 978-959-7139-83-6.

6. García De la Cruz, M. I. *Vliyaniye kachestva tenicheskava abarudovaniya na proizvoditelnost gorno - shatnova abarudovaniya v uslovia karierov kuby. Seminar 22. Gorniye machini y oborudovaniya. Nedelia Gorniaká Nauchni Seminar. Moskva, 2011. ISBN: 0236-1493-30-9.*
7. García De la Cruz, M. I. *Analiz dolgovechnosti gorno - shajnavaya abarudovaniya v uslovaij karierov Kubi. Seminar 22. Gornie machini y abarudovaniye. Nedelia Gorniaká nauchni simposium. Moskva, 2011. ISBN: 0236-1493-30-10.*
8. García De la Cruz, M. I.; Ulloa, M.; Belete, O. Efecto de los Servicios Técnicos de la Contratación en la vida útil de los equipos mineros de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. IV Congreso Cubano de Minería, 2011. ISBN: 978-959-7117-30-8.
9. García De la Cruz, M. I.; Peña R. Análisis estadístico de la eficiencia de un equipo de minería para la optimización. V Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, V Congreso de Minería. Cuba, 2013. ISSN 2307-499X.

Publicaciones científicas relacionadas con el tema de la Tesis Doctoral

1. Rajutin M. G.; García De la Cruz, M. I. *Ispolsovaniye lisinga dlia povisheniya kachestva tejnicheskava abarudovaniya v usloviaj karieraj Kubi. Gornoe abarudovaniye y electromejanika. № 6, УДК 622.232.83: 62-82C. 2011.*
2. García, María Isabel; Ulloa, M.; Belete, O. El reemplazo de equipos mineros: un enfoque desde el rendimiento y los Servicios Técnicos de la Contratación. Revista Geología, Minería. ISSN 1993 8012, V. 29, n; 2. 2013.

3. García De la Cruz, M. I.; Ulloa, M.; Belete, O. Los servicios técnicos de la contratación y su incidencia en la explotación de los equipos mineros. Revista Geología, Minería. ISSN 1993 8012, V. 29, n; 3. 2013.

Tutorías a Tesis de diploma

1. Urgellés Rodríguez, D. Evaluación de la eficiencia económica de la tecnología de extracción aplicada en el yacimiento Punta Gorda. ISMM. Cuba. (2004). 80p.
2. Tornos Escudero, A. Evaluación de la efectividad de la tecnología de arrastre en los yacimientos lateríticos. ISMM. Cuba, 2005. 80p.
3. Cuba Ramírez, Y. Perfeccionamiento de la transportación de la masa minera en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. ISMM. Cuba, 2008. 75p
4. Mbalongany, M. Estudio del Rendimiento de los Equipos de Arranque y Carga en la Mina de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. ISMM. Cuba, 2010. 80p.
5. Toirac Cobas, A. Estudio del rendimiento del transporte automotor en la mina de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. ISMM. Cuba, 2010. 75p.
6. Quiroga Mendiola, J. S. Análisis del mantenimiento de los camiones mineros de la mina Comandante Ernesto Che Guevara. ISMM. Cuba, 2011. 89p.
7. Ramírez Batista, L. A. Evaluación Técnico - Económica para la toma decisiones durante el proceso de adquisición de equipos mineros. ISMM. Cuba, 2012. 47p.

Tutoría a Tesis de Maestría

1. Candeaux Ruiz, G. Procedimiento para la adquisición y explotación del equipamiento minero para la empresa Cementos Santiago S.A. ISMM. Cuba. 2011. 85p.

2. Guerra López, E. Relación entre la productividad, el mantenimiento y el reemplazo del equipamiento minero en la mina de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. ISMM. Cuba, 2012. 89p.
3. Santiago Rodríguez, Y. Procedimiento de cálculo del transporte automotor que permita disminuir sus tiempos improductivos. ISMM. Cuba, 2012. 77p.

ANEXO 2. RELACIÓN DE AVERÍAS DE LOS EQUIPOS MINEROS

Tabla 1. Relación de averías en las retroexcavadoras en la opción de compras.

Tipo de averías (horas)	1er año	2do. - 3er. años	4to. - 7mo. años
Boom		60	710
Motor		60	1 479
Sistema eléctrico	40	120	230
Sistema hidráulico	28	170	412
Climatización	40	80	23
Luces			608
Rodamiento		60	770
Compresor			73
Total	108	550	4 305

Tabla 2. Relación de averías en las retroexcavadoras en la opción de arrendamiento.

Tipo de averías (horas)	1er año	2do. - 3er. años	4to. - 7mo. años
Boom		33	369
Motor	33	292	25
Sistema eléctrico	17	50	2 084
Sistema hidráulico	17	50	1 169
Climatización			204
Caja de Velocidad			1 000
Luces			887
Rodamiento			156
Sistema de freno			69
Sistema lubricación	50	217	0
Total	117	642	5 963

Tabla 3. Relación de averías en los camiones articulados en la opción de compras.

Tipo de averías (horas)	1er año	2do. - 3er. años	4to. - 7mo. años
Motor		1 030	8 413
Sistema eléctrico		425	1 583
Sistema hidráulico	59	400	1 971
Climatización	93	240	667
Sistema de freno		42	96
Sistema de Lubricación		71	667
Rodamiento		240	667
Total	153	2 449	14 063

Tabla 4. Relación de averías en los camiones articulados en la opción de arrendamiento.

Tipo de averías (horas)	1er año	2do. - 3er. años	4to. - 7mo. años
Motor		999	1 932
Sistema eléctrico		400	1 345
Sistema hidráulico	59	350	610
Climatización	50	206	427
Sistema de freno		36	59
Sistema de Lubricación		59	578
Rodamiento		208	469
Total	109	2 258	5 420

ANEXO 3. CLASIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS TÉCNICOS DE LA CONTRATACIÓN

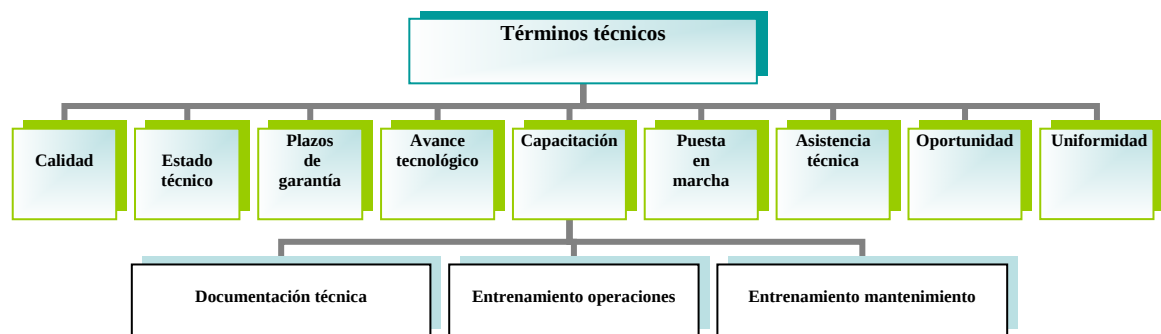


Figura 1. Organigrama de los términos técnicos de los servicios de la contratación.

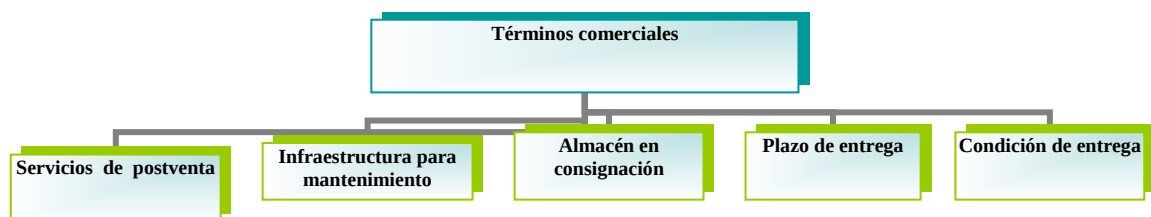


Figura 2. Organigrama de los términos comerciales de los servicios de la contratación.

ANEXO 4. CONDICIONES DE EXPLOTACIÓN PARA LOS EQUIPOS MINEROS

Tabla 5. Clasificación de las condiciones para la explotación de los equipos mineros.

Parámetros	Favorables	Medias	Severas
Clasificación del material	Categoría I y II	Categoría I y II	Categoría I y II
Tipo de material	Altamente oxidante o corrosivo	Altamente oxidante o corrosivo	Altamente oxidante o corrosivo
Profundidad de excavación	3 metros	3 metros	3 metros
Ciclo de recorrido	De los frentes mineros a los depósitos; de los depósitos a las tolvas de descarga	De los frentes mineros a los depósitos y a las tolvas; de los depósitos a las tolvas de descarga	De los frentes mineros a las tolvas de descarga
Código de los viales	1	2	3
Cantidad de turno diarios	2	2	2
Horas turnos	12	12	12
Operador por equipos	4	4	4
Cambio de turno	Con el equipo parado	Con el equipo en marcha	Con el equipo en marcha
Días de lluvias	Promedio 40 días al año	Promedio 40 días al año	Promedio 40 días al año
Traslado de los equipo	Hasta 5 00 metros	De 500 metros a 1 000 metros	Mayor de 1 000 metros
Cantidad de traslado	Una vez cada dos días	Dos veces en el día	Tres veces en el día
Contaminación por polvo	Baja	Media	Alta
Calidad del combustible	Alto contenido de azufre	Alto contenido de azufre	Alto contenido de azufre
Cumplimiento de servicios técnicos de la contratación	Al 95 %	Entre 75 al 94 %	Por debajo del 75 %
Supervisión técnica	Permanente	Dos veces al día	Una vez al día
Capacitación del personal	Dos veces en el año	Una vez en el año	Una vez en el año

ANEXO 5. METODOLOGÍA DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE EQUIPOS MINEROS

Para la excavación - carga de masa minera

Productividad teórica: $Qt = \frac{3600 \cdot E}{Tc}$; m³/h

Donde: E; capacidad de la cuchara, m³. Tc; tiempo de ciclo de la excavadora, s.

Productividad técnica: $Qtec = \frac{Qt \cdot K_{LL}}{Tc \cdot Ke}$; m³/h

Donde: K_{LL} - coeficiente de llenado de la cuchara. K_e - coeficiente de esponjamiento.

Productividad de explotación: $Qexp = Qtec \cdot Ku$; m³/h

Donde: Ku - coeficiente de utilización de la máquina en el tiempo.

Productividad por turno: $Qtur = Qexp \cdot Tm$; t/turno ó m³/turno

Donde: Tm - duración del turno de trabajo, horas.

Productividad anual: $Qa = Qtur \cdot P$; m³/año

Donde: P - cantidad de turnos al año.

Números de excavadoras necesarios: $Nc = \frac{Va}{Qa}$; u

Donde: Va - volumen planificado para un año, m³ ó t.

Parque de inventario para el año: $Ncp = Nc \cdot Kr$; u

Donde: Kr - coeficiente de reserva que se debe tener en cuenta para cualquier eventualidad.

Para el transporte de masa minera

Cantidad de cucharas que caben en un camión: $N = \frac{V}{V_r} \cdot Ka$; u

Donde: V- volumen geométrico de la cama del camión, m³; Ka - coeficiente de aprovechamiento de la cama del camión; Vr - volumen real del cubo del equipo de

arranque y carga, m^3 : $Vr = \frac{E \cdot K_{ll}}{K_e}$; m^3 ; donde: K_{ll} - coeficiente de llenado;

K_e - coeficiente de esponjamiento.

Duración del ciclo de trabajo: $Tc = Tc + Trc + Trv + Tmc + Tmd + Td$; s

Donde: Tc - tiempo de carga del camión, s; Trc - tiempo de recorrido cargado, s;

Trv - tiempo de recorrido vacío, s; Tmc - tiempo de maniobra para cargar, s;

Tmd - tiempo de maniobra para descargar, s; Td - tiempo de descarga, s.

Peso de la carga que llevará el camión: $Cc = N \cdot Pm$; t

Donde: Pm - peso del material que cabe en la cuchara: $Pm = Vr \cdot \gamma_e$; t,

donde: γ_e - masa volumétrica del escombros, t/m^3 .

Aprovechamiento de la capacidad de carga del camión: $A = \frac{Cc}{Cn} \cdot 100$; %

Donde: Cn - capacidad nominal de carga, t.

Números de ciclos por turno de un camión: $Nct = \frac{Tm \cdot Ku}{Tc}$; u

Donde: Tm - duración del turno de trabajo, min.; Ku - coeficiente de utilización, %.

Productividad técnica del camión: $Qtec = Vrc \frac{Tm}{Tc}$; m^3/turno ó t/turno

Donde: Vrc - volumen real de la cama del camión, m^3 .

Productividad de explotación: $Qexp = Qtec \cdot Ku$; t/turno

Donde: Ku - coeficiente de utilización.

Productividad mensual: $Qm = Qexp \cdot S$; t/mes

Donde; S ; días laborables al mes, (días).

Productividad anual: $Qa = Qm \cdot p$; $m^3/\text{año}$

Donde; P - meses laborables al año, u.

Números de camiones necesarios: $N_c = \frac{V_a}{Q_a}$; u

Donde: V_a - volumen planificado para un año m^3 ó t.

Parque de inventario para el año: $N_{cp} = N_c \cdot K_r$; u

Donde: K_r - coeficiente de reserva que se debe tener en cuenta para cualquier eventualidad.

ANEXO 6. DIAGRAMAS PARA EL PROCEDIMIENTO

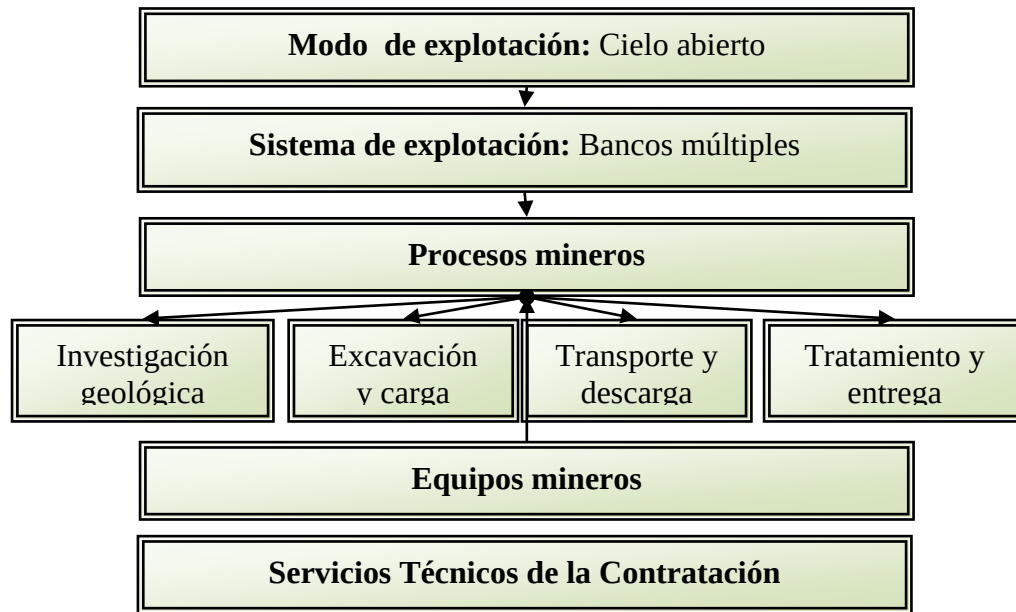


Figura 1. Diagrama de flujo de los procesos mineros.

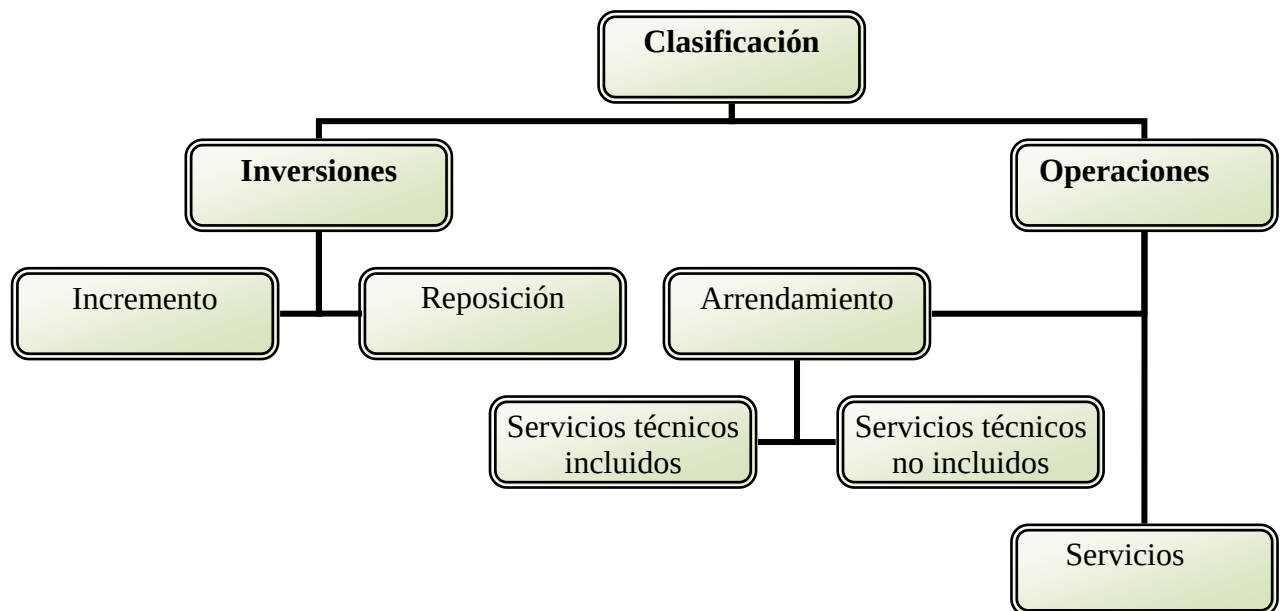


Figura 2. Propuesta de clasificación de los contratos para la adquisición de equipos mineros.

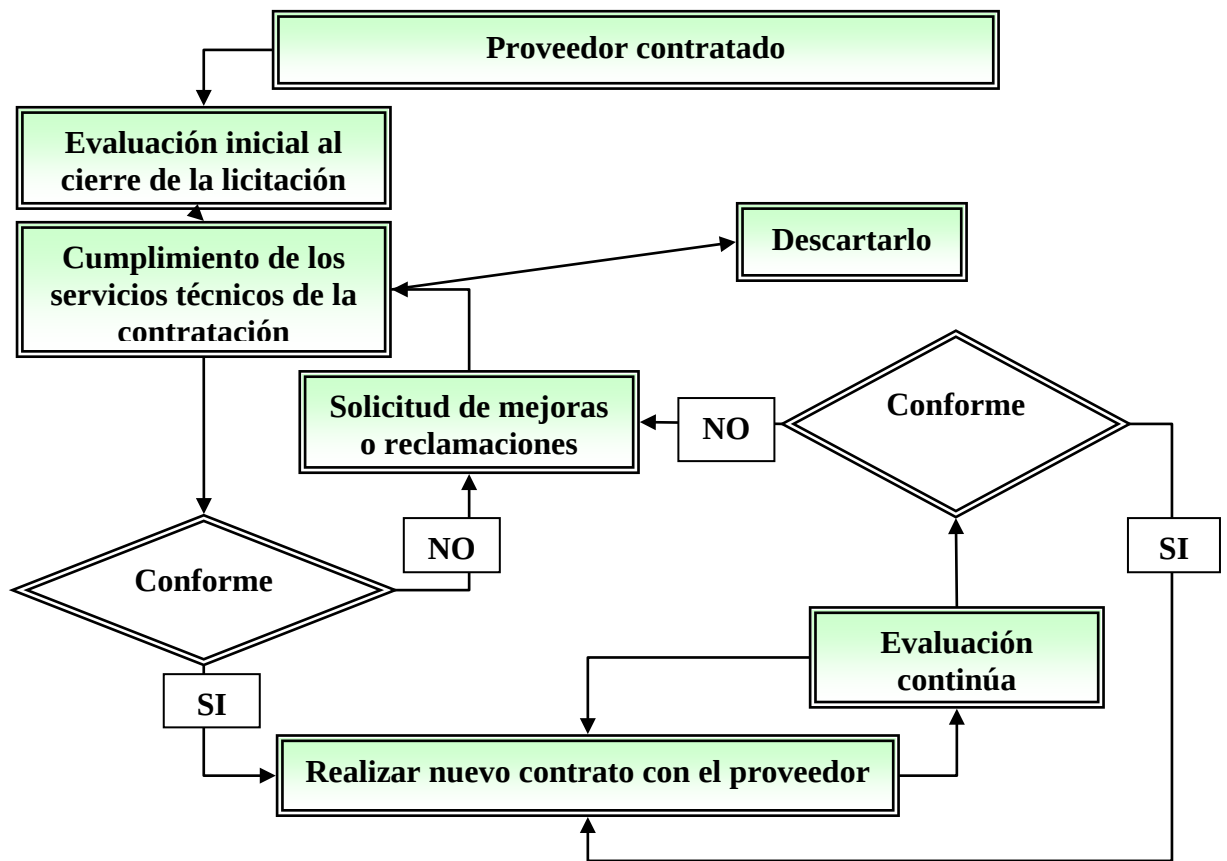


Figura 3. Diagrama de flujo del proveedor contratado.

**ANEXO 7. MODELOS DEL SISTEMA DE GESTIÓN EMPRESARIAL DE
LA EMPRESA COMANDANTE ERNESTO CHE GUEVARA**

**MODELO 1. ACTA DE REVISIÓN POR ESPECIALIDAD DE LA PUESTA
EN MARCHA**

Productora de Níquel y Cobalto "Comandante Ernesto Che Guevara"



Carretera Moa Baracoa Km. 5½, Yagrumaje, Punta Gorda, Moa, Holguín, Cuba. CP. 83300
Telf.: 60 8012 Fax. 60 2240 e-mail: usuario@ecg.moa.minbas.cu

Puesta en marcha de:

Localizada en:

Especialidad:

Aspectos revisados

Conformidad

Si No

Problemas, deficiencias, señalamientos pendientes a concluir:

1.

Y para constancia oficial se extiende la presente a los ____ días del mes de
_____ de _____.

Certificado por:

Nombre y apellidos

Jefe Proyecto de equipos mineros

usuario@ecg.moa.minbas.cu

teléfono: móvil:

Nombre y apellidos

Tecnólogo de Minas

usuario@ecg.moa.minbas.cu

teléfono: móvil:

Nombre y apellidos

Especialista Principal de MTTO

usuario@ecg.moa.minbas.cu

teléfono: móvil:

Nombre y apellidos

Especialista del Proveedor

usuario@.....

teléfono: móvil:

MODELO 2. RECLAMACIÓN POR INCUMPLIMIENTO DE LA GARANTÍA

Productora de Níquel y Cobalto "Comandante Ernesto Che Guevara"



Carretera Moa Baracoa Km. 5½, Yagrumaje, Punta Gorda, Moa, Holguín, Cuba. CP. 83300
Telf.: 60 8012 Fax. 60 2240 e-mail: usuario@ecg.moa.minbas.cu

Atte. Empresa Importadora del Níquel.

Referencia: (Reclamación al Contrato No.....)

Fecha:

La cláusula u obligación contractual incumplida es/son la/las No.... del contrato de compra /arrendamiento.

Tipo de Reclamación:

Por faltantes

Por sobrantes

Por averías

Por garantía

Otros (explicar)

Fundamentación de la reclamación:

Con la reclamación se pretende que:

Se entregue el suministro faltante

Se entregue el suministro averiado

Se devuelva el suministro sobrante

Se devuelva el importe del suministro faltante y se cancelen estos

Otros (explicar).

Se adjuntan los siguientes documentos: -----

Fecha de entrega de la mercancía al cliente: -----

Nombre y apellidos

Jefe Proyecto de equipos mineros

usuario @ecg.moa.minbas.cu

telf: móvil:

Nombre y apellidos

Tecnólogo de Minas

usuario@ecg.moa.minbas.cu

telf: móvil:

Nombre y apellidos

Especialista Principal de MTTO

usuario@ecg.moa.minbas.cu

teléfono: móvil:

Nombre y apellidos

Director Unidad Básica Minera

usuario@ecg.moa.minbas.cu

teléfono: móvil:

MODELO 3. EVALUACIÓN Y REEVALUACIÓN DEL PROVEEDOR CONTRATADO

Productora de Níquel y Cobalto "Comandante Ernesto Che Guevara"



Carretera Moa Baracoa Km. 5½, Yagrumaje, Punta Gorda, Moa, Holguín, Cuba. CP. 83300
Telf.: 60 8012 Fax. 60 2240 e-mail: usuario@ecg.moa.minbas.cu

Proveedor:

Producto o servicio:

País: Año:

1) Posee certificación de Sistema de la Calidad por ISO 9000 Si_(B) No_(M)

- Si es No: Posee un Sistema de Calidad documentado: Si_(B), No_(M)

2) Características o indicadores del producto o servicio:

■ Registros de inspección y ensayo en el año en curso

■ Cantidad de servicios prestados: _

- Cantidad de servicios conforme: _

- Cantidad de servicios no conforme: _

- Principales requisitos o especificaciones no conformes:

a) % conforme > % no conforme: (B) _

b) % conforme < % no conforme: (M) _

■ Registros históricos (dos años antes). Existen: Si_ No _

a) Cantidad de servicios prestados: _

- Cantidad conforme: _

- Cantidad no conforme: _

b) % conforme > % no conforme: (B) _

c) % conforme < % no conforme: (M) _

3) Cumplimiento de los plazos contratados:

■ Entregas en el año. 1 contrato

■ Cantidad: _

- Plazos conforme:
- Plazos no conforme: _

a) % conforme > % no conforme: (B) _

b) % conforme < % no conforme: (M) _

■ Entregas dos años antes.

a) Cantidad: __

- Plazos conforme: _
- Plazos no conforme: _

b) % conforme > % no conforme: (B) _

c) % conforme < % no conforme: (M) _

4) Gestión de quejas:

a) Acepta las quejas: Si _ (B) No _ (M)

b) Repone los productos o servicios no conformes: Si _ (B) No _ (M)

- Resultan nuevamente conformes: Si _ (B) No _ (M)

c) No procede: __

■ Se le presentaron quejas en el año: Si _ No _

■ Cantidad de quejas presentadas: _ De ellas fueron reclamaciones: _

- Cantidad tramitadas de forma positiva: _
- Cantidad tramitadas de forma negativa: _

a) % positiva > % negativa: (B) _

b) %positiva < % negativa: (M) _

■ Se le presentaron quejas en dos años: Si _ No _

■ Cantidad de quejas presentadas: _ De ellas fueron reclamaciones: _

- Cantidad tramitadas de forma positiva: _

- Cantidad tramitadas de forma negativa: _

c) % positiva > % negativa: (B) _

d) %positiva < % negativa: (M) _

5) Sobre los precios acordados:

a) Hizo cambios en el precio: _ (M), No _ (B)

6) Resultados de las encuestas y/o auditorias en su sede: _

7) Otros aspectos de interés: _

8) Resultado de la reevaluación:

a) Cantidad de B: _

b) Cantidad de M: _

c) Evaluación: Positiva: _ Negativa: _

9) Observaciones:

Indique si aunque obtuvo evaluación positiva necesita tomar acciones correctivas

1. Requerimiento de acciones correctivas: si _ no _

2. ¿cuales?

10) Conclusiones

Por el resultado de la evaluación el proveedor _ se mantiene

Aprobado: _ o es Rechazado: _.

Evalúo:

Nombre y apellidos

Jefe Proyecto de equipos mineros

usuario@ecg.moa.minbas.cu

teléfono: móvil:

ANEXO 8. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE NORMALIDAD DE DATOS

Tabla 6. Resultados de la prueba de normalidad del camión articulado.

Variables	H_efec		Prod		G_Oper	
Pruebas	Estadístico	Valor - P	Estadístico	Valor - P	Estadístico	Valor - P
En la modalidad de compra						
Chi-Cuadrada	14 276,9	0,0	9 669,29	0,0	5 845,33	0,0
Shapiro-Wilk	0,769309	0,0	0,84686	0,0	0,765852	0,0
Valor-Z para asimetría	7,49072	0,000069	5,1873	0,0213769	12,1063	0,0
Valor-Z para curtosis	163,898	0,0	-89,295	0,0	5,09313	0,035280
En la modalidad de arrendamiento						
Chi - Cuadrado	10 695,1	0,0	4 513,38	0,0	2 490,25	0,0
Shapiro - Wilk	0,77345	0,0	0,859147	0,0	0,929041	0,0
Valor - Z para asimetría	11,0056	0,0	8,16598	0,000044	2,74166	0,006113
Valor - Z para curtosis	-2,39805	0,0164828	-9,51274	0,0	5,66236	0,001497

Tabla 7. Resultados de la prueba de normalidad de datos para la retroexcavadora.

Variables	H_efec		Prod		G_Oper	
Pruebas	Estadístico	Valor - P	Estadístico	Valor - P	Estadístico	Valor - P
En la modalidad de compra						
Chi - Cuadrado	6 733,74	0,0	2 208,51	0,0	1 578,2	0,0
Shapiro - Wilk	0,817478	0,0	0,846196	0,0	0,738628	0,0
Valor - Z para asimetría	10,4857	0,0	9,88966	0,0	16,1646	0,0
Valor - Z para curtosis	1,24471	0,213237	0,957554	0,338286	12,972	0,0
En la modalidad de arrendamiento						
Chi - Cuadrado	22 678,6	0,0	16 069,5	0,0	35 679,3	0,0
Shapiro - Wilk	0,0		0,0		0,0	
Valor - Z para asimetría	8,34849	0,0	4,13257	0,000358	20,9477	0,0
Valor - Z para curtosis	119,825	0,0	113,718	0,0	18,838	0,0

ANEXO 9. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE COMPARACIÓN PAREADA DE DATOS

Tabla 8. Resultados de la prueba de comparación pareada de datos del camión articulado.

Variables	H_efec		Prod		G_Oper	
Pruebas	Estadístico	Valor - P	Estadístico	Valor - P	Estadístico	Valor - P
En la modalidad de compra						
De los signos	3,59011	0,0003306	9,12419	0,0	19,0526	0,0
Rangos con signos	4,18532	0,0002849	7,03223	0,0002045	16,5718	0,00
Chi - cuadrada	29 306,8	0,0	0,0004406	0,0	0,0268462	0,0
En la modalidad de arrendamiento						
De los signos	6,39006	0,00016658	14,5992	0,0	9,52632	0,0
Rangos con signo	7,67874	0,0	13,2395	0,0	3,95907	0,0007527
Chi - cuadrada	29 205,3	0,0	0,0003512	0,0	0,0186028	0,0

Tabla 9. Resultados de la prueba de comparación pareada de datos para la retroexcavadora.

Variables	H_efec		Prod		G_Oper	
Pruebas	Estadístico	Valor - P	Estadístico	Valor - P	Estadístico	Valor - P
En la modalidad de compra						
De los signos	1,78444	0,0743526	3,74203	0,0001825	1,20553	0,227999
Rangos con signos	2,04074	0,0412768	4,3079	0,0001649	1,24746	0,212227
Chi - cuadrada	38 299,6	0,0	0,00973697	0,0	0,0219417	0,0
En la modalidad de arrendamiento						
De los signos	4,84096	0,00012938	3,24523	0,0011736	18,9479	0,0
Rangos con signos	6,76176	0,0001371	0,601352	0,547603	16,5408	0,0
Chi - cuadrada	29 417,4	0,0	0,0062469	0,0	0,0217935	0,0

Tabla 10. Resultados de la prueba de comparación pareada de datos del conjunto de equipos

Variables	H_efec		Prod		G_Oper	
Pruebas	Estadístico	Valor - P	Estadístico	Valor - P	Estadístico	Valor - P
En la modalidad de compra						
De los Signos	1,64895	0,0991577	14,0513	0,0	19,0526	0,0
Rangos con Signos	1,48991	0,136248	15,5472	0,0	16,5619	0,0
Chi - cuadrada	42 878,7	0,0	0,00051277	0,0	0,0001239	0,0
En la modalidad de arrendamiento						
De los Signos	8,81403	0,0	18,4245	0,0	13,0871	0,0
Rangos con Signos	10,4331	0,0	16,5142	0,0	15,5001	0,0
Chi - cuadrada	26 244,0	0,0	0,00058176	0,0	0,0001705	0,0

ANEXO 10. COMPORTAMIENTO DEL ÍNDICE DE ESTACIONALIDAD

Tabla 11. Comportamiento del índice de estacionalidad de la variable H_efec.

Camión articulado				Retroexcavadora		
Estación	Datos originales	Ciclo - tendencia	Índice de estacionalidad	Datos originales	Ciclo - tendencia	Índice de estacionalidad
1	18,18	18,33	-0,156	18,22	18,17	0,053
2	17,88	17,64	0,235	17,62	17,45	0,167
3	15,71	16,00	-0,294	14,94	15,04	-0,103
4	13,83	13,87	-0,047	12,75	12,88	-0,134
5	12,64	12,38	0,263	12,45	12,43	0,016

Tabla 12. Comportamiento del índice de estacionalidad de la variable Prod.

Camión articulado				Retroexcavadora		
Estación	Datos originales	Ciclo - tendencia	Índice de estacionalidad	Datos originales	Ciclo -Tendencia	Índice de estacionalidad
1	829,19	833,19	-4,35	2 058,84	2 038,23	20,61
2	822,05	811,01	11,04	1 835,99	1 812,24	23,75
3	709,48	717,95	-8,47	1 414,72	1 442,36	-27,64
4	618,90	621,22	-2,32	1 210,96	1 232,37	-21,41
5	534,49	530,38	4,11	987,12	982,42	4,70

Tabla 13. Comportamiento del índice de estacionalidad de la variable G_Oper.

Camión articulado				Retroexcavadora		
Estación	Datos originales	Ciclo - tendencia	Índice de estacionalidad	Datos originales	Ciclo - Tendencia	Índice de estacionalidad
1	710,12	712,44	-2,327	576,39	576,76	-0,378
2	819,87	823,99	-4,129	628,88	626,12	2,752
3	823,17	823,02	0,149	689,16	691,02	-1,865
4	839,60	833,38	6,217	624,90	624,21	0,694
5	864,18	864,09	0,089	673,37	674,57	-1,202