



Mantenimiento preventivo en reductor de velocidad de grúas indias de extracción de mineral*

Benerando Ferrer Jiménez

Carrera: Ingeniería mecánica

Instituto Superior Minero Metalúrgico (Cuba).

Resumen: El trabajo muestra cómo puede aplicarse el mantenimiento preventivo planificado al reductor de velocidad de las grúas indias de extracción de mineral. Se realizó un análisis bibliográfico que estuvo dirigido fundamentalmente hacia las características del mantenimiento preventivo y los reductores de velocidad. Se empleó el criterio a nivel de máquina para seleccionar el sistema de mantenimiento y se realizó una propuesta de la estructura del ciclo de reparación que limite las paradas imprevistas, definiendo los periodos entre intervenciones y reparaciones. Se mostró cómo seleccionar la viscosidad de reductores según su característica de diseño y modo de lubricación. La aplicación de este método permite establecer 21 820 horas máquinas como el intervalo entre reparaciones generales y utilizar como lubricante aceites industriales de clase ISO 680.

Palabras claves: Mantenimiento; reductor de velocidad; ciclo de reparación; lubricación.

* Trabajo tutorado por el Ing. Amaury Gilbert Hernández.

Recibido: 12 septiembre 2014 / Aceptado: 26 de febrero 2015.

Preventive maintenance in velocity reducer of indian cranes of mineral extraction

Abstract: The paper shows how the preventive maintenance can be applied to the planned speed reducer Indian ore mining cranes. A bibliographic analysis that was directed mainly towards the characteristics of preventive maintenance and speeders was performed. Criterion was used to select the level of machine maintenance system and a proposal for the structure of the repair cycle that limits unplanned stopping, defining periods between maintenance and running repairs. It is shown how to select viscosity reducers taking into account its characteristic design and mode of lubrication. The application of this method allowed to establish 21 820 machine hours as the interval between general repairs and used as lubricant ISO 680 industrial oils.

Key words: Maintenance; velocity reducer; cycle of reparation; lubrication.

Introducción

El proceso tecnológico de la fábrica de níquel René Ramos Latour de Nicaro está basado en el esquema de lixiviación carbonato-amoniaco, o proceso CARON, según el cual el mineral oxidado de níquel es reducido selectivamente. Esta tecnología comienza con la extracción del mineral en las minas a cielo abierto de los yacimientos de níquel de Pinares de Mayarí, incorporándose al flujo tecnológico, por la planta de Secaderos y Molinos, a partir de este momento el material circula por las diferentes plantas del proceso entre las que se encuentran: Hornos de reducción, Lixiviación y lavado, y Calcinación y sínter, donde culmina el proceso con la obtención del sínter de níquel más cobalto.

Los motorreductores o reductores de velocidad juegan un papel fundamental en la Unidad Empresarial de Base de la planta de Preparación de minerales, empleados en máquinas y equipos para la extracción y obtención de concentrados de níquel más cobalto, durante el proceso de homogenización y alimentación del mineral en el depósito exterior. Estos reductores comúnmente llamados "A703" ortogonales, se emplean para reducir, de forma segura y eficiente, la velocidad de traslado de las grúas con capacidad de 260 t/h.

En la actualidad las estrategias del mantenimiento están encaminadas a garantizar la disponibilidad y eficiencia requerida de equipos e instalaciones, asegurando la duración de su vida útil y minimizando los costos.

La empresa posee varias plantas para el procesamiento de mineral, una de estas la constituye la planta de Preparación de mineral, la cual posee un depósito exterior equipado con grúas indias. Durante el funcionamiento de las grúas se han presentado dificultades mecánicas con el accionamiento de traslación del carro, específicamente con los reductores. Estos equipos han presentado fallas en reiteradas ocasiones, asociadas al incumplimiento y mala estructura del ciclo de mantenimiento, lo que ha implicado la salida de operación de las grúas.

Por ello el objetivo del trabajo fue establecer el mantenimiento preventivo planificado al reductor objeto de estudio, con el fin de disminuir las afectaciones en la producción.

La aplicación de un correcto mantenimiento preventivo a los equipos que intervienen dentro de un proceso productivo es primordial. En la Unidad Empresarial de Base de Preparación de mineral los motorreductores del accionamiento de traslación del carro de las grúas indias son de vital importancia en el proceso de alimentación y

homogenización del mineral, formando parte de un proceso continuo donde su operación es necesaria por su operatividad y calidad a la hora de alimentar el mineral desde el depósito exterior de la planta a los secaderos mediante bandas transportadoras.

El mantenimiento preventivo planificado (MPP) es todo el conjunto de medidas de carácter técnico y organizativo mediante las cuales se lleva a cabo el mantenimiento y la reparación de los equipos. Estas medidas son elaboradas previamente según el plan que asegura el trabajo ininterrumpido de los equipos.

De esta manera el equipo se encuentra siempre en buen estado, ya que es sometido a reparaciones periódicas que eliminan, en gran parte, las averías con la consiguiente economización de trabajo y material.

Navarrete & González (1986) establecieron un procedimiento que permite definir la estructura del ciclo de reparación en función de la duración teórica del ciclo de mantenimiento, y de los coeficientes que contemplan el régimen de trabajo y el tipo de producción; el mismo permite la determinación de los tiempos de intervención y reparación, pero se ve limitado por la reducida variedad de equipos analizados que muestran una estructura claramente definida.

El éxito del sistema preventivo planificado consiste en que luego de que el equipo ha realizado ciertas labores debe dejar de trabajar para realizarle un tipo de mantenimiento dado, de acuerdo con un plan confeccionado previamente. Además, recalca que el conjunto de operaciones incluidas en cada mantenimiento debe ser obligatoriamente ejecutado. La principal deficiencia de este trabajo está relacionada con la confección del plan de mantenimiento, ya que aunque se menciona no se muestra evidencia física ni procedimiento alguno para su elaboración (Luna, 1982).

Según Nava (2006) las principales características del mantenimiento preventivo son: establecer un programa continuo que deberá ser establecido y operado por personas que están capacitadas en el mantenimiento del equipo. Preparar lista de verificación que también deberá ser realizada por personas que conozcan de mantenimiento y planear si es a corto o largo plazo la revisión del equipo.

Los sistemas de organización del mantenimiento técnico y la reparación de la maquinaria contemplan un conjunto de operaciones que deben recibir los equipos en su periodo de explotación o vida útil, para mantener y restablecer su capacidad de trabajo. Este sistema de mantenimiento y reparación de la maquinaria lo componen las

actividades de asentamiento, chequeo técnico, mantenimiento técnico, reparación y la conservación (Daquinta, 2004).

Morrow (1986) clasificó el mantenimiento preventivo de la siguiente manera:

Mantenimiento preventivo rutinario: Se dan una serie de instrucciones precisas para atender de forma satisfactoria el equipo y, a su vez, para atender el equipo en forma frecuente y estable.

Mantenimiento programado periódico: se basa en instrucciones de mantenimiento de los fabricantes, para obtener y realizar en cada ciclo la revisión y sustitución de los elementos más importante de los equipos.

Mantenimiento analítico: es el análisis de fallas que indica cuándo se deben aplicar las actividades de mantenimiento para prever las fallas de equipo.

Gilbert & Palacio (2013) realizan la evaluación del sistema de gestión de la calidad de mantenimiento en varias empresas del territorio holguinero, dividiendo el sistema de gestión en porciones llamadas áreas de actuación, las que a su vez eran subdivididas en lo que llamarían funciones, donde la ponderación más elevada se le otorga a la ingeniería de mantenimiento, y presenta la mayor jerarquía el mantenimiento preventivo planificado.

Selección del sistema de mantenimiento

Aún cuando en nuestras industrias se ha instaurado el mantenimiento preventivo a partir de los datos suministrados por el fabricante, con el objetivo de elevar la eficiencia de los mantenimientos, reducir el consumo de piezas de repuesto y elevar la disponibilidad técnica, existe una tendencia actual de aplicar nuevos sistemas de sistemas de mantenimiento, entre los cuales se encuentran:

- Mantenimiento preventivo definido estadísticamente (fiabilidad)
- Mantenimiento preventivo con medición de parámetros y síntomas
- Mantenimiento predictivo
- Mantenimiento por condición.

Dependiendo del tipo de máquina, de las características de la producción asociada y de la importancia de esta en el proceso productivo, entre otros factores, se debe determinar el sistema de mantenimiento más adecuado para cada máquina, de ahí la importancia de disponer de una metodología para su determinación.

Debe considerarse, además, como aspecto esencial, el hecho de que la influencia del diagnóstico en la rentabilidad es significativa solo cuando se vincula con el sistema de mantenimiento óptimo.

Para la selección del sistema de mantenimiento se puede utilizar el criterio a nivel de máquina (Morrow, 1986).

Criterio a nivel de máquina

Evalúa la máquina como un todo, teniendo en cuenta los aspectos más significativos de la misma. Para ello utiliza una serie de coeficientes que cuantifican cada uno de los aspectos a valorar, lo cual se realiza de la siguiente forma:

- C1: Elevado costo de adquisición de la máquina.
- C2: Alto costo por concepto de pérdidas de producción.
- C3: No existencia de duplicado de la máquina.
- C4: Posibilidad de efectuar un diagnóstico de la máquina con la instrumentación disponible.
- C5: Posibilidad de efectuar mediciones de control de parámetros globales tales como: Niveles totales de vibración, temperatura, flujo.
- C6: Elevado costo de mantenimiento de la máquina. Aquí se incluyen los gastos de materiales y de recursos humanos en un determinado período de tiempo.
- C7: Elevadas pérdidas de vida útil debido al desarme. Se refiere a máquinas que por sus características técnico-constructivas sufren deterioro de su estado técnico con el desarme.
- C8: Graves consecuencias económicas de una rotura para la máquina. Considera que el deterioro de una de sus partes, debido a un fallo, haría muy costosa su reparación.

Los coeficientes que cumplen con la condición descrita adoptan el valor de 1.

Los coeficientes que no cumplen la condición adoptan el valor de 0.

Posteriormente se determinan los siguientes coeficientes:

- Coeficiente de mantenimiento predictivo

$$C_{PRED} = \frac{C1+C2+C3+C6}{4} \quad (1)$$

- Coeficiente de mantenimiento correctivo/preventivo

$$C_{CORR/PREV} = \frac{C_{PERDIDAS} + C_{FALLAS}}{5} \quad (2)$$

Siendo:

$$C_{PERDIDAS} = C1 + C2 + C6 \tag{3}$$

$$C_{FALLAS} = C7 + C8 \tag{4}$$

Tabla 1. Reglas de selección

Valor de los coeficientes	Sistema de mantenimiento
$C_{CORR/PREV} = 0$	Correctivo
$C_{PRED} \leq 0,25$ $C7 = 1$	Preventivo según índices de fiabilidad
$C_{PRED} > 0,5$ $C4 = 0$ $C5 = 1$	Preventivo con medición de parámetros y síntomas
$0,25 \leq C_{PRED} \leq 0,5$ $C4 = 1$ y/o $C5 = 1$	
$C_{PRED} \geq 0,5$ $C4 = 1$	Predictivo

Estado técnico en mantenimiento preventivo planificado

En el mantenimiento preventivo planificado el procedimiento que se sigue para la determinación del estado técnico es muy sencillo y útil; al terminarse la revisión previa se hace una valoración del equipo que puede ser de buena, regular, mala o muy mala. Para esto es necesario determinar el por ciento de eficiencia del equipo, donde existen pasos intermedios de obligatorio cálculo, como puede ser:

$$Z_i = e \cdot c \tag{5}$$

Donde:

Z_i : Calificación de los elementos con igual evaluación;

e : Número de elementos con igual evaluación;

c : Coeficiente que contempla es estado actual del elemento; [Adimensional];

$c = 1$ Si el elemento evaluado es bueno;

$c = 0,8$ Si el elemento evaluado es regular;

$c = 0,6$ Si el elemento evaluado es malo;

$c = 0,4$ Si el elemento evaluado es muy malo.

Luego de multiplicar la cantidad de elementos según la evaluación obtenida se procede a sumar estos productos mediante la ecuación:

$$Z = \sum_{i=1}^n Z_i \tag{6}$$

Donde: Z : Calificación total de los elementos evaluados.

Al fraccionar este resultado entre la cantidad de elementos evaluados y afectándolo por 100 se obtiene el grado de eficiencia del equipo respecto a su condición inicial, lo anteriormente expuesto se evalúa empleando la expresión siguiente:

$$\eta \frac{Z}{n} \cdot 100 \quad (7)$$

Donde:

η : Eficiencia obtenida al efectuar la defectación; [%];

n : Número de elementos evaluados del equipo.

Para clasificar el estado técnico del equipo, de acuerdo con la eficiencia que se obtuvo al efectuar la defectación, es necesario tomar como referencia la analogía siguiente:

Eficiencia actual	Estado técnico
90 – 100 %	Bueno
75 – 89 %	Regular
50 – 74 %	Malo
Menos del 50 %	Muy mal

Ciclo de mantenimiento

Por ciclo de mantenimiento se entiende la cantidad y secuencia de los diferentes servicios de mantenimiento que se llevan a cabo en un equipo entre dos reparaciones generales, o entre la puesta en marcha y la primera reparación general, en caso de ser un equipo recién instalado. Esto constituye la parte más importante del mantenimiento preventivo.

1. Digestores de pulpa y máquinas especiales en la industria del papel.

Revisiones: 110; Reparaciones pequeñas: 0; Reparaciones medianas: 9

G-11R-M-11R-M-11R-M-11R-M-11R-M-11R-M-11R-M-11R-M-11R-M-11R-M-11R-M-11R-G

2. Máquinas de papel, de deshidratación, de fabricar cartón y de vapor.

Revisiones: 301; Reparaciones pequeñas: 0; Reparaciones medianas: 6

G-43R-M-43R-M-43R-M-43R-M-43R-M-43R-M-43R-M-43R-G

3. Motores eléctricos que funcionan en ambientes nocivos o desfavorables (humedad, ácidos), o que estén en malas condiciones técnicas.

Revisiones: 5; Reparaciones pequeñas: 4; Reparaciones medianas: 0;

G-R-P-R-P-R-P-R-P-R-G

4. Bombas de vacío, compresoras, sopladoras y motores eléctricos que funcionen en ambiente normal o que estén en buenas condiciones técnicas.

Revisiones: 12; Reparaciones pequeñas: 5; Reparaciones medianas: 0;

G-R-R-P-R-R-P-R-R-P-R-R-P-R-R-G

5. Máquinas herramientas de corte: tornos, fresadoras, cepilladoras.

Revisiones: 9; Reparaciones pequeñas: 6; Reparaciones medianas: 2;

G-R-P-R-P-R-M-R-P-R-P-R-M-R-P-R-P-R-G

6. Desmenuzadoras.

Revisiones: 12; Reparaciones pequeñas: 4; Reparaciones medianas: 1

G-R-R-P-R-R-P-R-R-M-R-R-P-R-R-P-R-R-G

7. Equipos de carga y transporte, conductores y transportadores de correas.

Revisiones: 12; Reparaciones pequeñas: 4; Reparaciones medianas: 1;

G-R-R-P-R-R-P-R-R-M-R-R-P-R-R-P-R-R-G

8. Correas transportadoras.

Revisiones: 12; Reparaciones pequeñas: 4; Reparaciones medianas: 1;

G-R-R-P-R-R-P-R-R-M-R-R-P-R-R-P-R-R-G

9. Líneas automáticas que tienen máquinas con las guías de las bancadas templadas, equipos de elaboración de madera, máquinas de corte de metal para desbastado, máquinas de soldadura y equipos de empaquetado.

Revisiones: 12; Reparaciones pequeñas: 8; Reparaciones medianas: 3;

G-R-P-R-P-R-M-R-P-R-P-R-M-R-P-R-P-R-M-R-P-R-P-R-G

Después de confeccionarse el ciclo de mantenimiento es necesario determinar la duración del mismo. La duración del ciclo de mantenimiento (T) es el tiempo que media entre dos reparaciones generales, es decir, el tiempo neto que debe funcionar el equipo entre dos reparaciones generales, descontando el tiempo que se invierte en reparaciones y revisiones. Para establecer el ciclo de reparación a equipos que se encuentran en funcionamiento es necesario tener en cuenta por dónde comenzar, o sea, si se comienza por una revisión o si se comienza por una reparación. Esto es:

Estado técnico

Bueno	Revisión
Regular	Reparación pequeña
Malo	Reparación mediana
Muy malo	Reparación general

Servicio por el cual debe comenzar el ciclo de mantenimiento

Para determinar o elegir la duración del ciclo de mantenimiento podemos utilizar la siguiente recomendación:

Tabla 2. Horas entre reparaciones generales

Grupo	De	A
1	2 880	5 760
2	5 760	7 200
3	7 200	88 640
4	8 640	11 520
5	11 520	14 000
6	14 000	17 280
7	17 280	20 160
8	20 160	20 600
9	20 600	23 040
10	23 040	25 900

Equipos que pueden incluirse en los grupos anteriores:

- Transformadores eléctricos de corriente y voltaje (14-19)
- Generadores eléctricos (6)
- Rectificadores eléctricos secos y de mercurio (19)
- Dinamos (9)
- Vehículos de acumuladores (locomotoras y otros) (5)
- Motores eléctricos que trabajan en malas condiciones ambientales (8)
- Motores eléctricos que trabajan en condiciones muy favorables (13)
- Reductores de velocidad (9).

El rango establecido de la duración del ciclo de reparación es amplio y la elección se realiza en función del estado técnico del equipo, años de instalado, opinión de los operadores, datos técnicos y estadísticos.

Periodos del ciclo de reparación

Una vez definido la estructura del ciclo de mantenimiento y su duración se podrá conocer el tiempo entre dos servicios consecutivos y entre dos reparaciones. Para ello pueden utilizarse los siguientes criterios:

Periodo entre reparaciones. Se denomina al periodo de trabajo del equipo expresado en horas-máquinas entre dos reparaciones planificadas.

$$tr = \frac{T}{NP+NM+1} \quad (8)$$

Periodo entre intervenciones. Se denomina al periodo de tiempo de trabajo del equipo entre dos intervenciones; o sea, entre dos revisiones inmediatas o entre una reparación y una revisión. Para el cálculo de la duración entre intervenciones se utiliza la fórmula:

$$to = \frac{T}{NR+NP+NM+1} \quad (9)$$

Donde:

tr : Tiempo entre dos reparaciones; [horas-máquinas]

to: Tiempo entre dos servicios de mantenimiento cualesquiera; [horas-máquinas]

T: Duración del ciclo en horas; [horas-máquinas]

NR: Cantidad de revisiones

NP: Cantidad de reparaciones pequeñas

NM: Cantidad de reparaciones medianas.

Lubricación de reductores de velocidad

Este procedimiento consigue determinar la viscosidad correcta para el arranque y operación de estos equipos. Una vez que esté en marcha se puede variar esta viscosidad levemente para compensar, por la temperatura del ambiente, del trabajo, o simplemente ajustarlo para lograr la menor temperatura operacional posible del reductor (Widman International SRL, 2009).

Para hacer el cálculo se necesitan conocer cuatro factores:

- El tipo de lubricación que se emplea:
 - Salpicadura
 - Recirculación por bomba
- El tipo de reducción que hace:
 - Simple, con una reducción menos que 10 a 1
 - Múltiple, con una reducción mayor que 10 a 1

- La potencia del reductor en HP
- La velocidad de salida del reductor en min^{-1} .

El resultado es la viscosidad de aceite requerido.

Es necesario tomar en cuenta las posibles combinaciones que puedan existir en cuanto al tipo de lubricación y tipo de reducción.

Tabla 3. Posibles combinaciones de lubricación y reducción

	Tipo de lubricación
a	Salpicadura
b	recirculación por bomba
	Tipo de reducción
c	Simple
d	Múltiple

Tabla 4. Viscosidad de aceites industriales para reductores de velocidad

Potencia (HP)	Velocidad Final (min^{-1})	Grado de Viscosidad ISO (cSt)			
		caso a-c	caso a-d	caso b-c	caso b-d
30-50	0 - 150	460	680	320	460
	150 - 300	460	680	320	460
	300 - 1 000	320	460	150	320
	1 000 - 2 000	150	320	150	320
	2 000 - 5 000	150	320	150	320
	5 000 - 10 000	68	150	68	150

Resultados de la selección del sistema de mantenimiento

El motorreductor modelo A703-UH70-F1A-10,2-P200-B3 no constituye un equipo de elevado costo de adquisición, sin embargo, las paradas por fallas y averías del mismo provocan pérdidas considerables en la producción, ya que el equipo forma parte del accionamiento transmisor de potencia de las grúas encargadas del trasiego de mineral. Cada grúa posee un único reductor en cada una de sus ruedas por lo que no existen equipos redundantes capaces de realizar la misma función, en caso de que el equipo primario presentara problemas.

El reductor no es monitoreado con instrumentación que permita realizar su diagnóstico mediante el análisis de síntomas, pero de contarse con la instrumentación sería posible realizar análisis de vibraciones, consumo de potencia y calidad del aceite en uso. Los costos de mantenimiento de la máquina no son elevados, sobre todo si ha de compararse con los beneficios que genera. Se ha demostrado que el arme y desarme

del equipo no influye significativamente en su duración; y al fallar un elemento del mismo es posible su recuperación sin grandes afectaciones económicas.

Tabla 5. Coeficientes de evaluación según criterio a nivel de máquinas

Coeficiente	comprende	valor
C1	Elevado costo de adquisición de la máquina	0
C2	Alto costo por concepto de pérdidas de producción	1
C3	No existencia de duplicado de la máquina	1
C4	Posibilidad de diagnosticar la máquina con la instrumentación disponible	0
C5	Posibilidad de efectuar mediciones de control de parámetros globales	1
C6	Elevado costo de mantenimiento de la máquina	0
C7	Elevadas pérdidas de vida útil debido al desarme	0
C8	Graves consecuencias económicas de una rotura para la máquina	0

En la Tabla 5 se muestra el valor alcanzado por cada uno de los coeficientes que considera el criterio a nivel de máquina, utilizado para realizar la selección del sistema de mantenimiento; de ahí que se pueda determinar la magnitud de los coeficientes predictivo y correctivo/preventivo expuestos en la Tabla 6.

Tabla 6. Coeficientes de selección

Coeficiente	ecuación	valor
C_{PRED}	1	0,5
$C_{CORR/PREV}$	2	0,2

Según los índices alcanzados, y en correspondencia con la metodología propuesta, el sistema de mantenimiento que debe aplicarse al reductor de velocidad, según las condiciones objetivas existentes, es el mantenimiento preventivo con medición de parámetros y síntomas.

Resultados de la determinación de estado técnico

El valor correspondiente se estableció al realizar el defectado de las partes componentes del reductor evaluado por elementos (Tabla 7).

Tabla 7. Partes componentes del reductor

No.	Elementos evaluados	c
1	Caja de aluminio	1
2	Brida soporte para el acople del motor	1
3	Eje de acople al motor	0,8
4	Piñón Z1=15	0,6
5	Corona Z2=40	0,8
6	Eje macizo	1
7	Corona Z3=23	0,8
8	Corona Z4=27	0,8
9	Eje piñón Z5=17	0,6
10	Corona de baja Z6=94	0,8
11	Eje hueco de baja	0,4
12	Tapas	1
13	Retenes	0,8
14	Juntas	0,6
15	Rodamientos	0,6

De los elementos del reductor cuatro fueron evaluados de buenos, seis de regular, cuatro de malos y uno de muy malo, por lo que al sumar la cantidad de elementos por sus calificaciones se alcanza valores de 11,6, que dividido entre la cantidad de elementos evaluados (15) es de 0,77, o lo que es igual, que se alcanzó una eficiencia del 77 %, lo que indica que el estado técnico del reductor es regular, por lo que la próxima intervención que se realice al equipo debe ser una reparación pequeña.

Resultados de la determinación del ciclo de mantenimiento

El ciclo a aplicar en cada equipo deberá determinarse en cada área de producción, analizando individualmente la máquina de trabajo, eligiéndose de acuerdo con la experiencia y datos que se posean del equipo. La duración del ciclo de reparación en horas máquinas depende de las características constructivas del mismo así como condiciones de explotación, tipos de producción y otras.

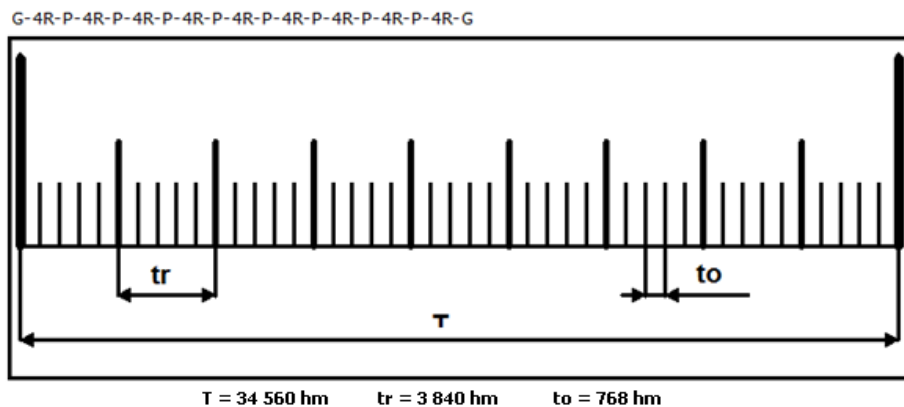


Figura 1. Estructura actual del ciclo de reparación del reductor.

La estructura que se presenta en la Figura 1 se corresponde con la distribución actual de las actividades realizadas sobre el reductor de velocidad. Dicha estructura carece de reparaciones medianas; lo cual no es del todo adecuado en equipos que realizan reparaciones generales con tiempos bastantes prolongados, trabajan bajo cargas elevadas y régimen de trabajo prácticamente continuo.

Los reductores de velocidad aparecen dentro de los equipos que pueden incluirse en el grupo 9, el cual establece un rango de 20 600 a 23 040 horas máquinas entre reparaciones generales. Partiendo que el estado técnico del equipo es regular se determinó como duración del ciclo de mantenimiento 21 820 horas máquinas, el cual se corresponde con el valor medio del rango establecido.

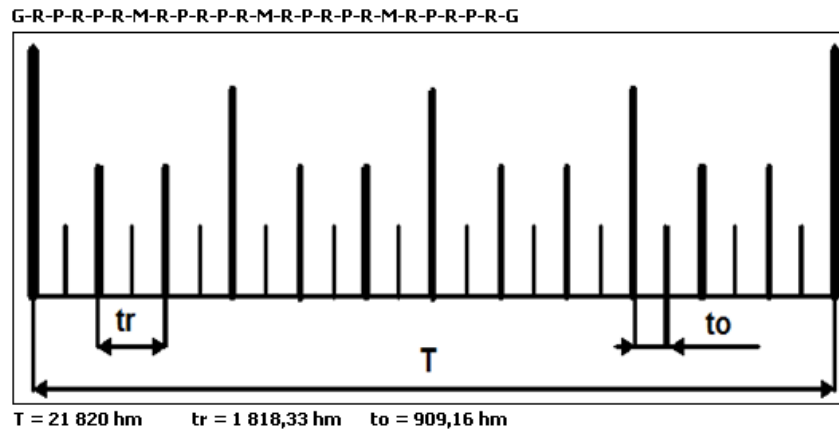


Figura 2. Propuesta de estructura del ciclo de reparación para el reductor.

La propuesta del ciclo de mantenimiento para el reductor contempla 12 revisiones, 8 reparaciones pequeñas y 3 reparaciones medianas (Figura 2). Fijado el periodo que transcurrirá entre las reparaciones generales, y establecida la estructura del ciclo de mantenimiento, se definieron los periodos entre reparaciones e intervenciones del equipo, siendo estos de 1 818,33 y 909,16 horas máquinas, respectivamente.

Actividades realizadas durante las intervenciones

Durante las intervenciones que se realizan en el mantenimiento preventivo planificado al motorreductor este no se mantiene en funcionamiento, por lo que sale del ciclo productivo mientras se acometen actividades que permitan retribuir su capacidad de trabajo. Las cuatro acciones que se planifican en el ciclo de reparación están destinadas a mantener el equipo en funcionamiento, excepto en aquellos momentos de

paradas planificadas; las actividades que se acometen en cada intervención están reflejadas en las Tablas 8-11.

Tabla 8. Actividades que se realizan durante la revisión

No.	Descripción
1	Limpiar la superficie eliminando el polvo depositado en la carcasa
2	Comprobar valores nominales de consumo y tensión del motor
3	Verificar que no existan pérdidas de lubricante por las juntas, los tapones, y la caja del reductor
4	Controlar las uniones atornilladas, verificando que no estén gastadas, deformadas u oxidadas, y proceder al apriete de las mismas
5	Comprobar el estado de las juntas
6	Verificar el nivel de aceite
7	Comprobar el sistema de fijación del motorreductor
8	Revisar alineación del árbol del motor con el reductor

Tabla 9. Actividades que se realizan durante la reparación pequeña

No.	Descripción
1	Sustituir el aceite en uso
2	Abrir acoplamiento, limpiar y revisar sus partes
3	Rotar a mano el árbol, comprobando el giro libre y el comportamiento de los cojinetes
4	Sacar las tapas del reductor
5	Revisar estado del árbol de alta, intermedio y de baja
6	Revisar el dentado de las ruedas y piñones
7	Cambiar rodamientos de rodillos cónicos si es necesario
8	Cambiar retenes y sellos si es necesario
9	Armar y alinear el reductor

Tabla 10. Actividades que se realizan durante la reparación mediana

No.	Descripción
1	Sustituir el aceite en uso
2	Sacar acoplamiento y cambiar piezas desgastadas
3	Desacoplar motor del reductor
4	Sacar tapa del eje de alta, intermedio y de baja
5	Cambiar retenes de las tapas si es necesario
6	Sacar rueda de baja e intermedia y cambiar si es necesario
7	Comprobar apriete de la rueda acoplada al eje de baja
8	Revisar sellos de aceite y cambiar si es necesario
9	Revisar tuercas y tornillos
10	Revisar soporte del motorreductor
11	Revisar rodamientos y cambiar si es necesario
12	Cambiar juntas y sellos si es necesario
13	Armar el reductor, acoplar motor mediante brida al reductor

Tabla 11. Actividades que se realizan durante la reparación general

No.	Descripción
1	Sustituir el aceite en uso
2	Abrir acoplamiento, revisar y cambiar piezas defectuosas
3	Sacar tapas del eje de baja, intermedio y de alta
4	Cambiar sellos y retenes de las tapas si es necesario
5	Sacar ruedas de bajas e intermedias y cambiar si es necesario
6	Sacar caja del reductor en prensa
7	Sacar y revisar árbol
8	Revisar prensado, cambiar sellos y retenes en eje de alta y de baja
9	Cambiar sellos de aceite
10	Revisar tuercas y tornillos de cierre
11	Cambiar rodamientos si es necesario
12	Revisar soporte del reductor
13	Revisar si existen grietas o desgastes en el dentado de las ruedas y piñones, reparar o cambiar
14	Armar conjunto del reductor, instalar en su base y alinear con el motor
15	Pintar el motorreductor luego de eliminado todo vestigio de grasa, protegiendo la placa de características
16	Girar el eje de alta del reductor con la mano para el certificado final

Finalizada la fase de mantenimiento y reparación del reductor se debe proceder a su limpieza, además, es necesario volver a colocar los tapones de carga y descarga, desaire, nivel. También se torna preciso revisar el estado original de la junta, adquiriendo un nivel adecuado de sellaje.

Aceite para el reductor

Al medir la temperatura de servicio del reductor tomada en el aceite se alcanzaron valores que se mueven en un rango de los 30 °C a 40 °C. El análisis para la selección de la viscosidad se realizó para la máxima temperatura registrada, aunque se comprobaron las viscosidades para otras temperaturas de operación, alcanzables de estar presente el efecto de sobrecarga.

Para los aceites de reductor disponibles en la empresa del tipo Castrol se realizó, a escala de laboratorio, mediciones de viscosidades desde los 40 °C a los 100 °C espaciadas a 10 grados. En la Tabla 12 se exponen los resultados del aceite Castrol Alpha SP y en la Tabla 13 se muestran los del aceite Castrol Alphasyn T.

Aceites Castrol Alpha SP

Los aceites Castrol Alpha SP disponibles en varias clases ISO (Tabla 12) son lubricantes de primera calidad, exentos de plomo para ser utilizados en engranajes que trabajen en condiciones de extrema presión. Han sido formulados usando aceites

básicos minerales de alta calidad y un aditivo de fósforo-azufre para presiones extremas especialmente seleccionado. En su formulación también son incluidos aditivos antioxidantes anticorrosivos y antiespumantes.

Tabla 12. Viscosidad de aceites Alpha SP a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Alpha SP 680	Alpha SP 460	Alpha SP 320	Alpha SP 150
40	680	460	320	150
50	355,1	251,2	179,4	88,8
60	201,1	147,7	108,1	56,2
70	121,9	92,6	69,2	37,6
80	78,4	61,2	46,6	26,4
90	52,9	48,1	32,8	19,2
100	37,3	35	24	14,5

Los aceites Castrol Alpha SP se recomiendan para todo tipo de transmisiones de engranajes cerrados industriales, incluyendo unidades de engranajes sinfín de acero/bronce fosfórico. Son especialmente diseñados para trenes de engranajes que operen bajo cargas pesadas o de choque y son convenientes para sistemas de circulación y de lubricación por salpicadura.

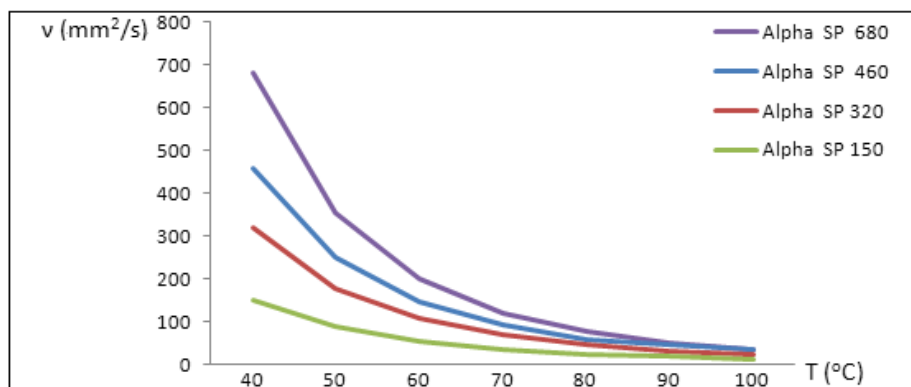


Figura 3. Comportamiento de aceites Alpha SP al aumentar la temperatura.

Aceites Castrol Alphasyn T

Estos lubricantes constituyen aceites para engranajes con base sintética y alto rendimiento, formulados a partir de polyalfaolefinas y aditivos especialmente seleccionados para brindar una excelente estabilidad a altas temperaturas, habilidad superior para soportar cargas y beneficios protectores en exceso para los equipos. Están disponibles en varias clases, algunos se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Viscosidad de aceites Alphasyn T a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Alphasyn T 680	Alphasyn T 460	Alphasyn T 320	Alphasyn T 150
40	680	460	320	150
50	398,8	283,8	201,7	94,3
60	247,7	184,2	133,4	62,6
70	161,7	124,9	93,1	43,4
80	110,2	88	65,9	31,4
90	78	64	48,7	23,4
100	57	48	37	18

Los aceites Castrol Alphasyn T son recomendados para engranajes que trabajen bajo altas cargas térmicas, hasta 160 °C en la temperatura del aceite y altas presiones, sistemas de circulación. Pueden ser utilizados en sistemas donde existan cargas desde ligeras hasta moderadas. Son ideales para aplicaciones a altas temperaturas donde los aceites minerales convencionales no pueden ofrecer una durabilidad satisfactoria.

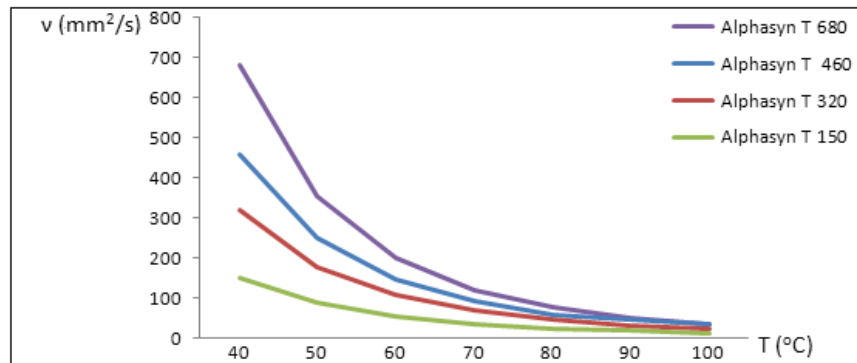


Figura 4. Comportamiento de aceites Alphasyn T al aumentar la temperatura.

Al aumentar la temperatura para cada uno de los aceites evaluados se observó que los valores de la viscosidad disminuyeron (Figuras 3 y 4), comportamiento análogo a los resultados obtenidos por otros autores (Balagui, Mohammadifar & Zargaraan, 2010; Bourbon *et al.*, 2010), lo cual refleja el comportamiento pseudoplástico de los aceites.

Conociendo que el reductor de potencia 34,84 HP (26 kW) lubrica sus componentes internos, mediante un sistema mixto de inmersión-barboteo, y que el mismo realiza reducciones múltiples, las posibles viscosidades están en el rango de 150 mm²/s a 680 mm²/s, lo cual depende de la velocidad de salida del reductor. Siendo esta de 118 min⁻¹, la más baja del grupo correspondiente a los reductores con esa potencia, de ahí que sea necesario lubricar con un aceite industrial de 680 mm²/s.

Utilizando el calculador de viscosidad de la compañía Widman International SRL (Figura 5) para seleccionar el valor correcto de viscosidad del reductor se obtuvieron resultados análogos a los determinados por el procedimiento establecido con anterioridad, corroborando que la viscosidad necesaria para lograr una lubricación capaz de separar los pares engranados se logra con un aceite clase ISO 680.

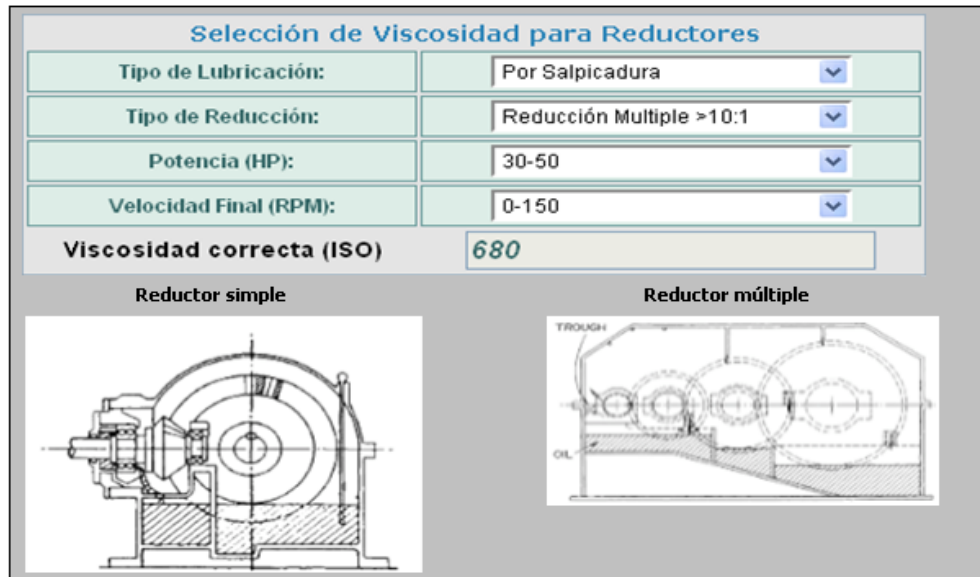


Figura 5. Ventana para el cálculo de viscosidad de reductores.

Para lograr la lubricación hidrodinámica en los pares tribológicos del reductor es necesario un aceite industrial con una viscosidad de 680 mm²/s, condición que debe cumplir a 40 °C. De los aceites Castrol evaluados, tanto en la rama Alpha SP como en la Alphasyn T, existen aceites con esas características, como son los aceites Alpha SP 680, de origen mineral, y el Alphasyn T 680 de origen sintético.

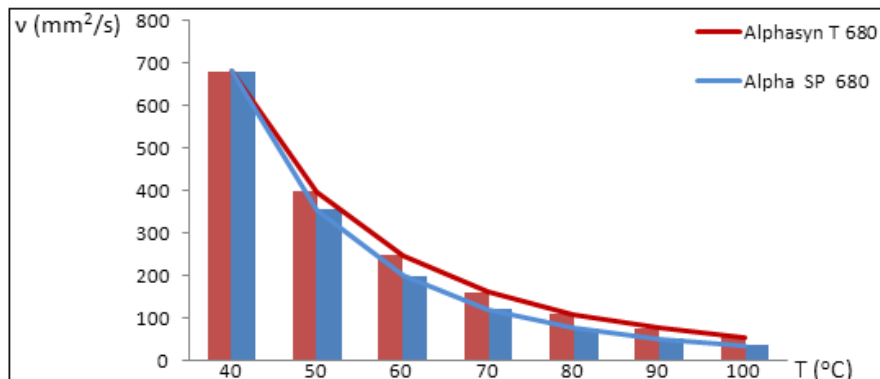


Figura 6. Comportamiento de los aceites Alphasyn T 680 y Alpha SP 680.

Para ambos aceites se procedió a realizar un análisis comparativo, de forma que reflejara cuál presentaba las mejores características de operación bajo diferentes condiciones (temperatura).

En la Figura 6 se muestra, para todas las temperaturas evaluadas, que la viscosidad del aceite de origen sintético se mantiene ligeramente por encima del aceite Alpha SP 680, por lo que proporcionaría mejores condiciones de operación el empleo de este lubricante y brindaría coeficientes de seguridad más elevados.

Aspectos significativos en la lubricación del reductor

Los aceites propuestos para la lubricación del reductor se corresponden con lubricantes industriales establecidos en la gama de Castrol. No obstante, es preciso comentar que dicho reductor puede funcionar correctamente con cualquier lubricante industrial para engranaje clase ISO 680, suministrado por otro proveedor, o aceites con grado AGMA 8, clases que muestran equivalencias en sus escalas correspondientes.

La carcasa de este tipo de reductor admite 20 L y el tiempo máximo recomendado para la sustitución de aceite es de 5 000 h para los de origen mineral y 8 000 h para aceites sintéticos, quedando establecidos estos como los tiempos de recambio del lubricante. Se sugiere que semanalmente se compruebe el nivel de aceite y se complete en caso de ser necesario.

Conclusiones

La estructura del ciclo de reparación para el reductor contempla 12 revisiones, 8 reparaciones pequeñas y 3 reparaciones medianas, ajustado a una duración del ciclo de 21 820 horas máquinas, siendo los periodos de reparación e intervención de 1 818,33 y 909,16 horas máquinas, respectivamente.

Las revisiones se efectúan con una extensión de 1 h. En la reparación pequeña se emplea un tiempo de 6 h, para las reparaciones medianas 16 h y las reparaciones generales se utilizan 24 h.

La duración de la vida útil del reductor y la seguridad contra el desgaste es más elevada cuanto mejor estén separadas las superficies de contacto por una película lubricante suficientemente gruesa. La viscosidad necesaria del aceite para lograr la

lubricación hidrodinámica es de 680 mm²/s, condición que se puede obtener utilizando los aceites industriales de Castrol, Alphasyn T 680 y Alpha SP 680.

Referencias bibliográficas

- BALAGUI, S.; MOHAMMADIFAR, M. & ZARGARAAN, A. 2010: Physicochemical and rheological characterization of gum tragacanth exudates from six species of iranian astragalus. *Journal of Food Biophys* 15(4): 59-71
- BOURBON, A.; PINHEIRO, A.; RIBEIRO, C.; MIRANDA, C.; MAIA, J.; TEIXEIRA, J. & VICENTE, A. 2010: Characterization of galactomannans extracted from seeds of gleditsia triacanthos and sophorajaponica through shear and extensional rheology. *Journal of Food Hydrocolloid* 12(4): 184-192.
- DAQUINTA, L. 2004: *Mantenimiento y reparación de la maquinaria agrícola*. Félix Varela, La Habana. ISBN 959-258-811-2.
- GILBERT, A. & PALACIOS, A. 2013: Informe de evaluación de la gestión de la calidad en el mantenimiento de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Instituto Superior Minero Metalúrgico.
- LUNA, H. 1982: *Explotación técnica de automóviles*. Ediciones Enspes, La Habana.
- MORROW, H. 1986: *Manual de mantenimiento Industrial*. Tomo II. Editorial Continental, Andalucía, 813 p.
- NAVARRETE, E. & GONZÁLEZ, J. 1986: *Mantenimiento Industrial*. EMPES, La Habana.
- WIDMAN INTERNATIONAL SRL. 2009: Viscosidad de reductores. [en línea]. Consultado: 12 ene 2014. Disponible en: <http://www.widman.biz>.