

El mantenimiento predictivo, vía para la dirección de la fiabilidad de las máquinas agrícolas

*Mario Clemente Zaldívar Salazar ¹
Julio Sanfort Navarro ²*

Palabras claves

KTP-2 y KTP-2M modelos de cosechadoras de caña cubana; método de foto-cronometraje; fiabilidad.

Resumen

Se presentan los resultados del cálculo de los índices técnico-explotativos y productividad para una muestra de 55 máquinas cosechadoras de caña KTP-2 y 13 DTP-2M en nueve complejos de las provincias orientales de Cuba cuando a esta muestra de máquinas se les aplica o no el diagnóstico técnico.

En el trabajo se aplica el método de foto-cronometraje durante las zafas 1993-1994, 1994-1995, 1995-1996. Se analiza el comportamiento de las máquinas con y sin la aplicación del diagnóstico. En los 82 días cronometrados se llega a analizar su

fiabilidad y eficiencia, para esto se utilizan adecuados métodos estadísticos.

Introducción

El estudio sistemático de la fiabilidad y la incidencia de la etapa de explotación en este tema son tareas en extremo importantes y actuales. Con el objetivo de complementar estos fundamentos, se establecen consideraciones teóricas y prácticas: sirvan como base principal los resultados que se han logrado de investigaciones precedentes para tipos de máquinas similares, revisiones bibliográficas, el estudio de los documentos técnico-normalizativos y, en especial, el análisis crítico de la Teoría de la Fiabilidad, desarrollada por autores de reconocido prestigio como Ihle, Selivanov, Franken y otros (Zaldívar 1993a).

-
- 1 Ingeniero Mecánico en la especialidad de Tecnología de la Construcción de Maquinaria en 1982 en la Universidad de Holguín (Cuba), Máster en Maquinaria Agrícola en 1996 y Doctor en Ciencias Técnicas en 1999.
 - 2 Ingeniero Mecánico en la especialidad de Tecnología de la Construcción de Maquinaria en 1995 en la Universidad de Holguín (Cuba), Máster en Maquinaria Agrícola en el 2000.

Los materiales de investigación fueron 55 cosechadoras de caña KTP'2 que presentaban de 3 a 5 años de trabajo, organizadas para la cosecha en pelotones de 3 máquinas,

El perfeccionamiento del sistema de mantenimiento y reparación para las máquinas agrícolas, incorporando el Diagnóstico Técnico como técnica del mantenimiento predictivo y, a partir de éste, conocer cual ha sido el comportamiento de las mismas, no ha merecido la adecuada atención y profundidad en las investigaciones precedentes en el país, así como el procesamiento matemático-estadístico de la influencia objetiva de esta novedosa técnica, a la hora de realizar el análisis de la Fiabilidad.

Dada la importancia que reviste la necesidad de elevar la eficiencia y la fiabilidad de las máquinas cosechadoras de caña KTP en su período explotativo, se considera de actualidad desarrollar el presente trabajo, demostrando cómo el diagnóstico influye favorablemente en los coeficientes técnico-explotativos, índices de productividad y fiabilidad, así como en la previsión de las piezas de repuesto.

Materiales y métodos experimentales

Los materiales de investigación fueron 55 cosechadoras de caña KTP'2 que presentaban de 3 a 5 años de trabajo, organizadas para la cosecha en pelotones de 3 máquinas, con equipos de atención técnica en el campo y un taller móvil para la asistencia técnica que actúa de forma general para un grupo de 9 máquinas. La investigación se desarrolló en nueve Complejos Agroindustriales (CAI) pertenecientes a las cinco provincias orientales de Cuba. Estas cosechadoras fueron conducidas por operadores-mecánicos que tenían entre 5 y 7 años de experiencia; recibiendo las operaciones de servicio técnico por mecánicos con calificaciones A y B.

La investigación experimental se basó en el fotocronometraje de la jornada laboral durante tres zafas consecutivas: 1993'1994, 1994'1995 y 1995'1996, por espacio de 82 días en cada período, elaborándose las correspondientes cronocartas. En la primera zafa no se aplicó a las máquinas el Diagnóstico Técnico en toda su extensión; sólo el previsto como mantenimiento diario normal, sin establecerse la estrategia del diagnóstico antes y durante la zafa (temporada de trabajo); en el segundo y tercer período a estas máquinas se les aplicó el diagnóstico.

Los coeficientes técnico-explotativos e índices de productividad, así como los simples y complejos de fiabilidad fueron calculados a partir de las expresiones establecidas en la NC 34-37:85 y NC 92-10:78. Fue determinado también el coeficiente de reparabilidad (Kp); el tiempo medio de mantenimiento técnico (Tmt) y el restablecimiento de la capacidad de trabajo (Tb).

Para la selección de la muestra, se utilizó el muestreo aleatorio simple y para determinar el número de máquinas a seleccionar por cada CAI el muestreo estratificado poblacional.

En el caso de las cosechadoras de caña KTP'2M, más modernas que las KTP-2, se procedió al cálculo de los coeficientes e índices señalados, para una muestra de 13 máquinas, pertenecientes a tres CAI de la provincia oriental de Holguín, tomados por conveniencia, en la zafa 1995-1996. Como en el estudio anterior, se realizó el fotocronometraje de las jornadas de trabajo, que totalizaron 82 días. El 73% de las máquinas trabajaron en rendimiento medio de 41 a 47 t-ha (50 000 arobas por caballerías), en la variedad de caña C120-78, conducidas por operadores de 5 a 7 años de experiencia.

Para efectuar el procesamiento estadístico de la información, se utilizó el software ABSTAT (que facilitó el análisis de

varianza), permitiéndose establecer una comparación entre las máquinas sin y con Diagnóstico Técnico para las variables más importantes, escogidas según criterio de los autores.

Además para calcular los coeficientes técnico-explotativos, índices de productividad y diabilidad se utilizó el software (sistema de programas de evaluaciones experimentales), elaborado por el Departamento de Mecánica Aplicada de la Universidad de Holguín (U.Ho.), en explotación desde el año 1995.

Dada la importancia que reviste la necesidad de elevar la eficiencia y la fiabilidad de las máquinas cosechadoras de caña KTP en su período explotativo, se considera de actualidad desarrollar el presente trabajo, demostrando cómo el diagnóstico influye favorablemente en los coeficientes técnico-explotativos, índices de productividad y fiabilidad, así como en la previsión de las piezas de repuesto.

Descripción y discusión del resultado

Considerando el análisis de la situación actual y perspectiva de los métodos y medios de diagnóstico, sus aplicaciones y limitaciones, en especial para el caso concreto de la maquinaria agrícola cañera, así como la necesidad de la valoración de la Fiabilidad, se propone el Proyecto General de la Fiabilidad para la etapa explotativa, como se presenta en el Diagrama 1 (Zaldívar 1998a,b).

Se realiza la fundamentación teórica de la importancia de la etapa explotativa como medio de asegurar la Fiabilidad; para este fin se desarrolla una caracterización del subproyecto organizativo del Proyecto General de Fiabilidad propuesto. En otra parte se trata la pertinencia de las actividades del Diagnóstico Técnico en las decisiones del mantenimiento técnico y reparación, así como de las relaciones existentes entre los componentes del Subproyecto Organizativo de la Fiabilidad.

Para concretar estas relaciones en la etapa explotativa, se elaboraron a partir de la aplicación del método de concordancia no paramétrico de Kendall, las tecnologías o normativas del diagnóstico para los conjuntos más

importantes de la cosechadora de caña KTP-2 y KTP-2M, en particular el motor y los sistemas de accionamiento hidráulico del transportador de descarga y helicoidales; de igual manera, se conforma la metodología para el desarrollo de las actividades de la Asistencia Técnica, elemento que en la actualidad no se desarrolla en forma sistémica e integral.

Para el cálculo de los coeficientes técnico-explotativos e índices de productividad y fiabilidad para la muestra seleccionada de máquina cosechadora de caña, se valida el subproyecto económico-matemático del Proyecto General de la Fiabilidad, aplicando para ello los novedosos principios de la Matemática de la Fiabilidad.

En otra parte de la investigación, a partir del estudio de diferentes métodos matemáticos como son los modelos Markov, regresión, de ensayo de Ibarra, cotas y modelos de inventario se analizan para cada caso sus limitantes, llegándose por tanto al establecimiento de un módulo de piezas derivado de las respuestas del diagnóstico técnico más objetivo y medible al nivel de Complejo Agroindustrial (CAI). Para este fin, se propone el Método Probabilístico General cuya formulación es:

Módulo: $Ic e \cdot P \cdot Kr \cdot m \cdot s$

Donde:

Ic: Índice de consumo de piezas.

P: Valor de ponderación del precio de las piezas.

Kr: Coeficientes de reserva.

Rn: Número de repetición de las piezas en la máquina.

S: Seguridad de reaprovisionamiento.

Es de interés presentar los principales resultados, que son sintetizados a continuación. Teniendo en cuenta los nueve Complejo Agroindustriales



Diagrama 1
Proyección general de la fiabilidad para la etapa explotativa

investigados en las tres zafas consideradas, se observa que, en el caso de los motores modelo CMD-72 para el total de las cosechadoras de caña KTP-2, estos merecían mantenimiento No. 3, según el consumo de combustible, un total de 135 en la zafra 1993-1994, en la 1994-1995 130, y en la 1995-1996 123; al realizarse las operaciones del diagnóstico, se observa que de las actividades del mantenimiento No. 3 pasan al mantenimiento No. 2 con el siguiente ahorro de tiempo y recurso, un total de 109 motores en el zafra 1993-1994, 103 en la de 1994-1995 y 101 en la subsiguiente.

En la zafra 1994-1995, al efectuarse el diagnóstico dentro de la cosecha, fue necesario que a 17 motores le fueran regulados o sustituidos componentes y en la zafra subsiguiente a 13, lo cual facilitó que a tiempo se tomaran las medidas correctivas necesarias evitando males mayores (Zaldívar 1998c).

A reparación general, de un total de 39 motores CMD-72 en la zafra 1995-1996 propuestos por el consumo de combustible, fueron llevados a partir de las respuestas del diagnóstico un total de 20. Asimismo, en el caso de los motores modelo Taíno de las cosechadoras KTP-2M, de un total de 72 y 128 a enviar a planta en la zafra 1994-1995 y 1995-1996, respectivamente, finalmente fueron llevados 48 y 72, con ahorros promedio de \$3275.3 por cada CAI.

Al aplicarse como sistema el diagnóstico en plena cosecha a partir de las respuestas tomadas en cuenta, al realizarse el diagnóstico inicial de temporada, por ejemplo en la zafra 1995-1996 se observa que las máquinas reportaron un 8.3% y 5.8% del tiempo limpio, superior a los logrados en las cosechas 1994-1995 y 1993-1994 en las máquinas cosechadoras de caña KTP-2; estos valores equivalen aproximadamente a un incremento entre una y dos horas más de trabajo.

Los resultados productivos obtenidos por las cosechadoras de caña KTP-2M en la zafra 1995-1996 comparadas con la KTP-2 son superiores en 4.8%, mostrando esta máquina mayores posibilidades productivas acrecentadas con la aplicación del Diagnóstico Técnico.

El valor de las piezas de repuesto consumidas muestra diferencias altamente significativas, donde las máquinas sin Diagnóstico Técnico superan en \$339.21 a las máquinas con Diagnóstico Técnico.

El costo de la reparación muestra diferencias muy significativas: las máquinas sin Diagnóstico Técnico superan como promedio por máquina en \$416.97 a las máquinas con Diagnóstico Técnico.

La cantidad de horas perdidas por roturas imprevistas muestra diferencia significativa: las máquinas sin Diagnóstico Técnico superan en 1.54 horas a las máquinas con Diagnóstico Técnico.

Los resultados de los índices de productividad para el caso de las máquinas a las que se les efectuó el Diagnóstico Técnico como sistema en la etapa de pretemporada y durante la zafra, son superiores a un 5.7% a los obtenidos en las máquinas sin la aplicación del diagnóstico.

El coeficiente de reparabilidad K_p se comportó como promedio en 0.76 y 0.82 en las máquinas sin diagnóstico, debido fundamentalmente a un aumento de los tiempos para eliminar los fallos de los sistemas de accionamiento hidráulico y el motor, respectivamente. Los resultados de las máquinas diagnosticadas fueron de 0.78 y 0.82, así como de 0.83 y 0.81 en las KTP-2M para estos mismos conjuntos (Zaldívar 1993, 1998a).

Los resultados productivos obtenidos en las zafas 1994-1995, 1995-1996, donde fue aplicado sistemáticamente el Diagnóstico Técnico en las cosechadoras de caña KTP-2, comparadas con la zafra inicial 1993-1994, sin aplicar el diagnóstico, son superiores como promedio en 5.2%

independientemente a ser una máquina más antigua en una y dos campañas.

Los resultados productivos obtenidos por las cosechadoras de caña KTP-2M en la zafra 1995-1996 comparadas con las KTP-2 son superiores en 4.8%, mostrando esta máquina mayores posibilidades productivas acrecentadas con la aplicación del Diagnóstico Técnico; esto se evidenció en las zafas 1996-1997 y 1997-1998 que sirvieron de períodos de validación de la efectividad del diagnóstico, obteniendo el 3.3% y 4.1% respectivamente. Asimismo, los porcentajes de roturas fueron de 2.5 y 2.8% menores a las KTP-2.

Los principales índices de Fiabilidad analizados, se comportaron en las dos últimas zafas servidas de validación, en el caso de las cosechadoras de caña KTP-2 en valores promedios superiores al 2.3% de los logrados en las zafas anteriores, en el caso de las KTP-2M estos se comportaron como promedio en un 1.8%. Los coeficientes técnico-explotativos reflejaron aumentos sostenidos de 1.3 a 1.7% en ambos tipos de máquinas para las zafas 1996-1997 y 1997-1998. (Zaldívar 1998b,c).

Conclusiones

Se establece una correcta relación de la influencia del Diagnóstico Técnico dentro del Proyecto General de la Fiabilidad de las máquinas agrícolas, a partir de los índices principales de operatividad y mantenibilidad, demostrándose que el diagnóstico constituye un método útil de dirección y pronóstico de la Fiabilidad.

La aplicación del método de concordancia no paramétrico de Kendall para conformar integralmente las tecnologías o normativas para el diagnóstico en los conjuntos determinantes de la máquina, reportan resultados correctos; con esta acción se logra unificar las tecnologías existentes,

Los elementos tratados han sido desarrollados por pocos autores en el país, en especial cuando se aborda la maquinaria agrícola y, muy particularmente, las cosechadoras de caña KTP.

tanto para el caso de las cosechadoras de caña KTP-2 como elaborar, por vez primera, la de las KTP-2M.

Los elementos tratados han sido desarrollados por pocos autores en el país, en especial cuando se aborda la maquinaria agrícola y, muy particularmente, las cosechadoras de caña KTP. La relación Fiabilidad-Diagnóstico Técnico igualmente es analizada para esta rama de manera limitada; atendiendo a ello, se considera que el trabajo contribuye a enriquecer esta temática. El cálculo de los coeficientes técnico-explotativos, índices de productividad y Fiabilidad para la muestra seleccionada de las KTP-2, en los nueve Complejos Agroindustriales de las provincias orientales investigadas, así como para el caso de las KTP-2M, permiten a los directivos del MINAZ, contar con una valiosa información acerca del comportamiento de las máquinas; a la vez, se demuestra la factibilidad del Diagnóstico Técnico como vía de dirigir la Fiabilidad y lograr un aseguramiento adecuado en las piezas de repuesto.

Recomendaciones

Como resultado de la investigación realizada, se recomienda continuar trabajos de seguimiento de las máquinas KTP-2 y KTP-2M en otras regiones del país, con el objetivo de lograr la mayor cantidad posible de información para el trabajo de mejoramiento y perfeccionamiento, no solo de las máquinas sino en la etapa explotativa, toda vez que en esta etapa se asegura del 30 al 40% de la Fiabilidad de la maquinaria agrícola.

Bibliografía

- Zaldívar Salazar, Mario. Experiencias obtenidas en la Facultad de Ingeniería acerca de la vinculación de las OACE para la impartición de prácticas de laboratorios en la especialidad de TCM. ISTH. Ponencia BTJ, 25 de enero, 1993.
- Zaldívar Salazar, Mario. El Diagnóstico Técnico como método de valoración de la Fiabilidad de las máquinas cosechadoras de caña KTP. Tesis en opción al grado científico de doctor en Ciencias Técnicas. UHo. 1998a.
- Zaldívar Salazar, Mario. El Diagnóstico Técnico y su pertinencia en la teoría de la Fiabilidad de las cosechadoras de caña KTP. Ponencia al XII Forum Provincial de Ciencia y Técnica. 1998b.
- Zaldívar Salazar, Mario. La Universidad y las Empresas del SIME. Una relación indispensable en la actualidad. I parte. Revista Ciencias. Holguín. (Versión Electrónica). 1998. Volumen 1. 1998c.