**AGROCENTRO**

**IX CONFERENCIA CIENTÍFICA INTERNACIONAL DESARROLLO AGROPECUARIO Y SOSTENIBILID**

**IX SIMPOSIO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**Título**

**COMPORTAMIENTO FUNCIONAL DE LAS CUCHILLAS DE CORTE BASE EN COSECHADORAS DE CAÑA DE AZÚCAR CASE-IH**

***Title***

***FUNCTIONAL BEHAVIOR OF BASE-CUTTER BLADES IN CASE-IH SUGAR CANE HARVESTERS***

**Rigoberto Antonio Pérez Reyes1, Lázaro Antonio Daquinta Gradaille2, Julio Eustaquio Gómez Bravo3**

1. M. Sc. Rigoberto Antonio Pérez Reyes. Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Cuba. E-mail: rigoberto@unica.cu
2. Dr. C. Lázaro Antonio Daquinta Gradaille. Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Cuba. E-mail: adaquinta@unica.cu
3. Ing. Julio Eustaquio Gómez Bravo. Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Cuba. E-mail: julioe@unica.cu

**Resumen:** En las cosechadoras de caña de azúcar las cuchillas de corte base son los elementos de más baja fiabilidad que poseen estas máquinas, son los primeros que tienen contacto directo con la masa vegetal a cortar y trabajan en condiciones severas, en un medio muy abrasivo, todo lo cual provoca el desgaste acelerado del filo. La presente investigación evalúa el comportamiento funcional de las cuchillas de corte base BONEM en las cosechadoras de caña de azúcar CASE IH 7000, para la estimación de su capacidad de trabajo, realizando un análisis de fallas y un ensayo experimental de campo de determinación del desgaste en estas herramientas. Los principales resultados muestran que las cuchillas de corte base son las responsables de más del 50% de las fallas del sistema mecánico de las cosechadoras y que la magnitud del desgaste provoca que en un período estimado de 48 horas de tiempo de trabajo limpio la herramienta perderá su capacidad total de trabajo.

**Problemática:** Según Sánchez (2010a, 2010b), estudios recientes evidencian que el desgaste repercute de forma negativa en la mayoría de los procesos mecanizados que se realizan en la agricultura, causando pérdidas anuales que alcanzan cifras millonarias, destacando que en Cuba, en la actualidad no existe un estudio dirigido a cuantificar estas pérdidas. Este autor argumenta que la causa principal de la sustitución del 85% de los elementos de la maquinaria agrícola en Cuba es el desgaste abrasivo, en el que influyen factores como la geometría, composición química y dureza del material del órgano de trabajo, la fricción entre los cuerpos en contacto, el contacto con plantas y sus frutos, las condiciones climáticas y de explotación, la velocidad de trabajo, el tamaño y naturaleza de las partículas del suelo, entre otros. Argumenta, además que el fenómeno de la interacción herramienta de labranza - suelo ha sido abordado por diferentes autores en los últimos años lo cual ha representado un avance significativo en la interpretación del desgaste de este par tribológico. Sin embargo, el par cuchilla de corte base - caña ha sido poco estudiado.

Uno de los principales problemas que afectan el buen funcionamiento de las cosechadoras es la durabilidad de las cuchillas de corte base, provocado por el desgaste acelerado del filo, generando considerables pérdidas de materiales, recursos y tiempo, con la consiguiente disminución de la producción y la pérdida de gran cantidad de medios para su reparación, así como en la elaboración o adquisición de nuevos elementos (Daquinta, 2012; Li, *et. al*., 2013; Ma, *et. al*., 2014; Abd-El Mawla & Hemeida, 2015; Tahsin Ashraf *et. al*., 2016; Jamadar, *et. al*., 2017).

En este sentido Daquinta *et.al.* (2012, 2014) ha venido trabajando en la determinación de las propiedades tribológicas de diferentes materiales utilizados en la fabricación de los elementos de corte de las cosechadoras y otros autores como Mello y Harris (2003); Mello (2005); Toledo *et al.* (2013); Mathanker *et al.* (2015) y Momin *et al.* (2017), han investigado el comportamiento funcional de las cuchillas de corte base con diferentes diseños, geometrías del filo y ángulos de impacto.

**Objetivo(s):** La presente investigación tiene como objetivo evaluar el comportamiento funcional de las cuchillas de corte base BONEM en las cosechadoras de caña de azúcar CASE IH, para la estimación de su capacidad de trabajo.

* **Metodología:** La evaluación se fundamenta en la norma del IAGRIC: “Sistema de Gestión de la Calidad. Pruebas de Máquinas Agrícolas. Evaluación Tecnológica Explotativa” (IAgric, 2013) para establecer la organización del proceso, la realización del cronometraje del tiempo de trabajo medio hasta la falla, el tiempo de paradas por roturas y la creación de las condiciones de explotación locales, sobre las cuales se realiza un ensayo experimental de campo en condiciones reales de explotación para determinar el desgaste de las cuchillas de corte base. El procesamiento estadístico de los resultados de los ensayos se realiza con la ayuda del procesador SPSS 15.0.
* **Resultados y discusión:** El análisis de falla reveló que el sistema mecánico es el que más falla con 1014 fallas, y dentro del mismo, son los segmentos de corte los de mayor número total de fallas (999), teniendo mayor incidencia las cuchillas de corte base y las del picador (804), que representan el 80% del total fallas en el sistema, siendo los segmentos de corte base (522) responsables de más del 50% de las fallas, debido fundamentalmente al desgaste acelerado del filo, lo cual corrobora los criterios de Daquinta (2005), Daquinta *et.al* (2014), quienes publicaron resultados similares en investigaciones desarrolladas en máquinas cosechadoras modelos KTP y CASE IH.

Del ensayo experimental de campo se obtuvo la curva representativa de la dinámica del desgaste, la cual revela que a partir de las 20 horas de trabajo la pérdida de masa promedio de las cuchillas inicia un prolongado incremento en su magnitud y dispersión de los datos, lo cual se debe a que comienza el período de desgaste catastrófico, lo que representa un aumento de la mala calidad en el corte, provocando daños en los tallos de caña y ejerciendo una influencia directa en las pérdidas en la cosecha, según consideraciones de Toledo, *et. al*. (2013); Manhães, *et. al.* (2014); Mathanker, *et. al*. (2015); Narimoto & Burgess-Limerick (2015); Hu, *et. al*. (2016); Momin *et. al*. (2017). Esta curva permite pronosticar el comportamiento de las cuchillas de corte base para cualquier intervalo de tiempo, lo cual favorece el análisis y la estimación de su capacidad de trabajo.

Este tipo de curva ha sido reportada por (Mellado, 2005; Sánchez *et al.*, 2010b), bajo otras condiciones experimentales en herramientas de maquinarias de movimiento de tierra, de perforación de rocas y de labranza de suelos, pero que responden desde el punto de vista matemático, al mismo modelo de comportamiento. Sin embargo, no se reporta en la literatura investigaciones que describan el comportamiento de la dinámica del desgaste en las cuchillas de corte base de las cosechadoras de caña.

* **Conclusiones:** Los segmentos de corte base BONEM son responsables de más del 50% de las fallas del sistema mecánico en las cosechadoras de caña CASE IH.

La pérdida de masa promedio de las cuchillas de corte base objeto de estudio toma valores promedios que oscilan desde 0 a 91,5g para un tiempo de trabajo limpio de 24 horas, provocando la pérdida de la geometría de uno de los filos, por lo que se estima que, en un período de tiempo de 48 horas de trabajo limpio, estas herramientas perderán su capacidad total de trabajo.

***Abstract:*** In the sugarcane harvesters, base-cutter blades are lowest reliability elements that these machines possess, they are the first ones that have direct contact with the vegetable mass to be cut and work under severe conditions, in a very abrasive medium, all which causes the accelerated wear of the edge. The present investigation evaluates the functional behavior of the BONEM base-cutter blades in the CASE IH sugarcane harvesters, for the estimation of their working capacity, performing a flaw analysis and a field experimental test of wear determination in these tools. The main results show that the base-cutter blades are responsible for more than 50% of the flaw of the mechanical system of the harvesters and that the magnitude of the wear causes that in an estimated period of 48 hours of clean working time the tool will lose its total capacity of work.

**Palabras Clave:** Cuchilla de corte base, análisis de falla, desgaste

***Keywords:*** *Base-cutter blades, flaw analysis, wear.*

**1. Introducción**

La adecuada mecanización del corte de la caña de azúcar tiene un importante papel en todo el proceso agroindustrial. Países como Australia, Brasil, EEUU, Sudáfrica, Taiwán Tailandia, Cuba y Venezuela, utilizan cosechadoras de proceso tecnológico integral de diferentes modelos y nivel de automatización. Un componente fundamental de estas máquinas es el sistema de corte base, cuyo eficiente funcionamiento repercute significativamente en la calidad del proceso, así como en las pérdidas de materia prima y la longevidad del cañaveral (Max, 2012).

La introducción en Cuba de las cosechadoras CASE-IH 7000 de fabricación brasileña estableció profundas transformaciones en la cosecha, el transporte y recepción de la caña en la industria (Daquinta, *et. al*. 2014). Estudios sobre el comportamiento de estas máquinas realizados por Matos (2010), Daquinta (2012) destacan la superioridad de esta nueva tecnología. Sin embargo, uno de los principales problemas que afectan el buen funcionamiento de las cosechadoras es la durabilidad de las cuchillas de corte base, provocado por el desgaste acelerado del filo, generando considerables pérdidas de materiales, recursos y tiempo, con la consiguiente disminución de la producción y la pérdida de gran cantidad de medios para su reparación, así como en la elaboración o adquisición de nuevos elementos (Daquinta, 2012; Li, *et. al*., 2013; Ma, *et. al*., 2014; Abd-El Mawla & Hemeida, 2015; Tahsin Ashraf *et. al*., 2016; Jamadar, *et. al*., 2017).

Según Sánchez (2010a, 2010b), estudios recientes evidencian que el desgaste repercute de forma negativa en la mayoría de los procesos mecanizados que se realizan en la agricultura, causando pérdidas anuales que alcanzan cifras millonarias, destacando que en Cuba, en la actualidad no existe un estudio dirigido a cuantificar estas pérdidas, aunque las investigaciones realizadas el siglo pasado concluyen que esta cifra alcanzó los 200 000 pesos anuales. Este autor argumenta que la causa principal de la sustitución del 85% de los elementos de la maquinaria agrícola en Cuba es el desgaste abrasivo, en el que influyen factores como la geometría, composición química y dureza del material del órgano de trabajo, la fricción entre los cuerpos en contacto, el contacto con plantas y sus frutos, las condiciones climáticas y de explotación, la velocidad de trabajo, el tamaño y naturaleza de las partículas del suelo, entre otros. Argumenta, además que el fenómeno de la interacción herramienta de labranza - suelo ha sido abordado por diferentes autores en los últimos años lo cual ha representado un avance significativo en la interpretación del desgaste de este par tribológico. Sin embargo, el par cuchilla de corte base - caña ha sido poco estudiado.

En este sentido Daquinta *et.al.* (2012, 2014) ha venido trabajando en la determinación de las propiedades tribológicas de diferentes materiales utilizados en la fabricación de los elementos de corte de las cosechadoras y otros autores como Mello y Harris (2003); Mello (2005); Toledo *et al.* (2013); Mathanker *et al.* (2015) y Momin *et al.* (2017), han investigado el comportamiento funcional de las cuchillas de corte base con diferentes diseños, geometrías del filo y ángulos de impacto.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el comportamiento funcional de las cuchillas de corte base BONEM en las cosechadoras de caña de azúcar CASE IH, para la estimación de su capacidad de trabajo.

**2. Metodología**

La evaluación se llevó a cabo en la Empresa Azucarera Ecuador del municipio Baraguá en la provincia de Ciego de Ávila, es una de las mayores productoras de azúcar en el territorio durante el período comprendido del 10 de diciembre del 2014 al 30 de marzo de 2015.

Para el análisis de fallas se seleccionan dos máquinas cosechadoras modelos CASE IH- 7000, ambas trabajaron en los mismos campos bajo las mismas condiciones, teniendo en cuenta la observancia de los requisitos necesarios que deben cumplir las variables discretas que se presenta en los resultados obtenidos de los métodos estadísticos, sostenidos por Herrera (2012) y Guerra (2014). La evaluación se fundamenta en la norma del IAGRIC: “Sistema de Gestión de la Calidad. Pruebas de Máquinas Agrícolas. Evaluación Tecnológica Explotativa” (IAgric, 2013) para establecer la organización del proceso, la realización del cronometraje del tiempo de trabajo medio hasta la falla, el tiempo de paradas por roturas y la creación de las condiciones de explotación locales, sobre las cuales se realiza un ensayo experimental de campo en condiciones reales de explotación para determinar el desgaste de las cuchillas de corte base. El procesamiento estadístico de los resultados de los ensayos se realiza con la ayuda del procesador SPSS 15.0. El indicador a evaluar en el ensayo es el desgaste gravimétrico (Wg) y para la realización del experimento se seleccionan 5 segmentos con una masa nominal promedio de 951,1g y con características geométricas y dimensiones exteriores como se observan en la Figura 1.



FIGURA 1. Características geométricas y dimensiones exteriores del segmento de corte base BONEM (Elaboración propia).

La rugosidad superficial es de 6,3 µm, la dureza media del material es de 47 HRC y las características identificativas y composición química del mismo se observan en la Tabla 1.

TABLA 1. Características identificativas y composición química del material de los segmentos de corte base BONEM. (Laboratorio de Ensayos y Calibración, Tecnologías Alternativas S.A. Planta Mecánica, Camagüey)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Código** | **Peso** | **Espesor** | **Material** | **Agujeros** |
| 86902900BR | 0,951 kg | 6,00 mm | UNE. EN 10083-3/2006 | 7 |
| **C** | **Mn** | **Si** | **Cr** | **Mo** | **Ni** | **S** | **P** |
|  0,28 | 1,26 | 0,069 | 0,34 | 0,011 | 0,031 | 0,009 | 0,020 |

Una vez iniciada las pruebas se toman como intervalos de tiempo para el desmonte, limpieza y medición de la pérdida de masa de las cuchillas los períodos de 4, 8, 14, 20 y 24 horas de trabajo limpio (horas de trabajo del cortador base), medido con los instrumentos del sistema de control electrónico de la máquina. El pesaje de los segmentos se realiza con una balanza digital modelo HAW – 30K con una precisión de ± 0,0001 kg (Figura 2).



FIGURA 2. Balanza digital utilizada en el ensayo de desgaste. (Elaboración propia).

**3. Resultados y discusión**

Los resultados experimentales muestran un suelo ferralítico rojo con microrelieve llano, con presencia de partículas de sílice y óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio en su composición, las cuales son altamente abrasivas, la variedad de caña cortada fue la C-8751 de longitud y diámetro promedios de 2,03 a 3,18 m y 30 mm respectivamente con un rendimiento biológico del campo de 122 t/ha, características generales que prevalecen en las áreas de la empresa, corroborando las condiciones severas de agresividad del medio como una de las causas del deterioro de las cuchillas, las cuales también fueron reportadas por Daquinta (2014) en estudios del comportamiento de la durabilidad de estas herramientas en cosechadoras, y (Sánchez *et al.*, 2010a) en evaluaciones de aperos de labranza.

La velocidad promedio de desplazamiento de la máquina durante el corte alcanzó valores de 4,6 km/h con una velocidad de trabajo del conjunto de corte base de 64,926 rad/s, magnitudes que se encuentran dentro de los valores recomendados para este tipo de actividad, lo cual garantizó el desarrollo de condiciones normales de trabajo de la máquina en el ambiente seleccionado. La altura de corte obtenida fue de 85 mm, pues durante la cosecha se encontraron algunas piedras que provocaron interrupciones y roturas en las máquinas, por lo que esta altura ayudó a que estos y otros obstáculos presentes en el suelo, debido a las condiciones agrotécnicas de los campos, ejercieran una menor influencia en la falla de la cuchilla. La temperatura ambiente en la zona de experimentación se mantuvo entre los 25,7 y 31 oC, y la humedad relativa alcanzó valores promedios de 75%, lo que permite afirmar que los experimentos se realizaron en un ambiente de trabajo similar al de años anteriores, por lo que las condiciones climática no influenciaron más allá de lo normal en el desarrollo del proceso.

El análisis de falla reveló que el sistema mecánico es el que más falla con 1014 fallas como se observa en la Figuras 3, y dentro del mismo, son los segmentos de corte los de mayor número total de fallas (999), teniendo mayor incidencia las cuchillas de corte base y las del picador (804), que representan el 80% del total fallas en el sistema (Figura 4), siendo los segmentos de corte base (522) responsables de más del 50% de las fallas, debido fundamentalmente al desgaste acelerado del filo provocado por las condiciones severas de trabajo a que están sometidas, lo cual corrobora los criterios de Daquinta (2005), Daquinta *et.al* (2014), quienes publicaron resultados similares en investigaciones desarrolladas en máquinas cosechadoras modelos KTP y CASE IH.

**1014**

**83**

**8**

FIGURA 3. Gráfica de las fallas en los sistemas en general (Elaboración propia).

La representación de los elementos causales que influyen en el comportamiento funcional de las cuchillas de corte base se representa en la Figura 5, donde se destaca la magnitud e intensidad del desgaste provocado por el contacto con la masa vegetal y el suelo.

**1200**

**1000**

**800**

**600**

**400**

**200**

**0**

**120**

**100**

**80**

**60**

**40**

**20**

**0**

**Fallas**

**Por ciento**

**Otros**

**Cc**

**Pic**

**Sc**

Fallas por elementos

Valor Acumulado

Acumulado (%)

195

999

522

282

804

522

52

80

99

15

1014

100

**Elementos**

**Leyenda**

**Sc:** Segmento de corte base

**Pic:** Cuchillas del picador

**Cc:** Cuchillas corta cohollo

FIGURA 4. Contribución a las fallas de los elementos del sistema mecánico (Elaboración propia).

**Comportamiento de los segmentos de corte base**

**Material**

**Terreno**

**Desgaste**

**Diseño**

**Factor humano**

Composición

Química

Dureza

Tenacidad

Calificación

Experiencia

Disciplina

Tecnológica

Acabado

Dimensión

Geometría

Preparación

Obstáculos

Composición

Química

Intensidad

Magnitud

Mecanismo

FIGURA 5. Elementos causales del comportamiento (Elaboración propia).

Los datos estadísticos del experimento de campo se muestran en la Tabla 2.

TABLA 2. Datos estadísticos del ensayo de desgaste.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Muestra  | PesoInicial(g) | Pérdida de masa (g)(4 horas) | Pérdida de masa (g)(8 horas) | Pérdida de masa (g)(14 horas) | Pérdida de masa (g)(20 horas) | Pérdida de masa (g)(24 horas) |
| A | 951,0 | 34 | 48 | 50,5 | 58 | 76,5 |
| B | 952,5 | 45 | 49,5 | 51 | 62 | 102 |
| C | 950,4 | 37,5 | 49 | 54 | 65,5 | 111,5 |
| D | 950,5 | 47 | 49 | 51 | 62,5 | 100,5 |
| E | 951,1 | 35,5 | 50,5 | 51,5 | 59 | 67,5 |

En la Figura 7 se observa la curva representativa de la dinámica del desgaste, la cual revela que la pérdida de masa de las cuchillas investigadas en las cuatro primeras horas muestra un ligero incremento en su magnitud, cuyo valor crece desde 0 hasta 39,8g como promedio, debido a que este es el período de asentamiento, en el cual se producen los picos más altos de la rugosidad superficial, generando altas presiones y deformaciones entre los elementos en contacto y una alta velocidad e intensidad del desgaste que llega a alcanzar, en este caso, el 43,5 % del desgaste permisible, lo cual está en correspondencia con los valores de desgaste que se registran en este período que pueden llegar a alcanzar el (30-50)% según Álvarez, (2000). La pérdida de masa de las cuchillas obtenida en el período comprendido entre 4 y 20 horas de trabajo alcanza valores promedios que varían de 39,8g a 61,4g, mostrando una reducción en la magnitud del desgaste y una menor dispersión de los datos obtenidos, debido a que disminuyen las presiones reales al aumentar el área de contacto entre la herramienta y la masa vegetal a cortar, aquí la velocidad del desgaste se hace casi constante y este se incrementa, pero a un ritmo más lento, lo cual permite afirmar que hay un trabajo estable de la herramienta por un tiempo prolongado de su vida útil con muy poca influencia en la variación de su geometría y propiedades (figura 6), características identificativas del período de desgaste normal.

****

FIGURA 6. Representación de la geometría de las cuchillas durante el ensayo de desgaste (Elaboración propia).

Zona I – Asentamiento ; Zona II – Desgaste normal ; Zona III - Desgaste catastrófico.

**Tiempo (horas)**

**Pérdida de masa (**g)

**Curva de desgaste**

**I**

**III**

**II**

**ȳ = 39,8**

**ȳ = 49,5**

**ȳ = 51,5**

**ȳ = 61,4**

**ȳ = 91,5**

FIGURA 7. Representación de la pérdida de masa en función del tiempo en el ensayo de desgaste (Elaboración propia).

Y = 0,028X3 – 1,052X2 + 12,640X + 2,574

R2 = 0,874

A partir de las 20 horas de trabajo la pérdida de masa promedio de las cuchillas inicia un prolongado incremento en su magnitud y dispersión de los datos, lo cual se debe a que comienza el período de desgaste catastrófico, donde la magnitud del desgaste es tal, que se generan cargas dinámicas complementarias en el funcionamiento del par tribológico, lo que representa un aumento de la temperatura, del nivel de ruido, de las vibraciones y, en este caso específico, de la mala calidad en el corte, provocando daños en los tallos de caña y ejerciendo una influencia directa en las pérdidas en la cosecha, según consideraciones de Toledo, *et. al*. (2013); Manhães, *et. al.* (2014); Mathanker, *et. al*. (2015); Narimoto & Burgess-Limerick (2015); Hu, *et. al*. (2016); Momin *et. al*. (2017). La magnitud del desgaste en el período de 24 horas de trabajo limpio provoca la pérdida de la geometría de uno de los filos de la herramienta, y por tanto, se estima que en otro período de tiempo similar las cuchillas de corte base perderán su capacidad de trabajo. Estos resultados permiten afirmar que las propiedades físicas y mecánicas de la masa vegetal cortada, el suelo y el medio que la circunda actúan intensamente sobre el desgaste de las cuchillas de corte base, influyendo de manera directa en el comportamiento y vida útil de estas herramientas.

Los resultados del modelo estadístico implementado y la estimación de los parámetros se observan en la Tabla 3, donde se distingue un valor del coeficiente de determinación R2 = 0,874, el cual representa el ajuste de los datos con relación a la curva de regresión de estimación curvilínea cúbica desarrollada por el modelo, Esta curva permite pronosticar el comportamiento de las cuchillas de corte base para cualquier intervalo de tiempo, lo cual favorece el análisis y la estimación de su capacidad de trabajo. Este tipo de curva ha sido reportada por (Mellado, 2005; Sánchez *et al.*, 2010b), bajo otras condiciones experimentales en herramientas de maquinarias de movimiento de tierra, de perforación de rocas y de labranza de suelos, pero que responden desde el punto de vista matemático, al mismo modelo de comportamiento. Sin embargo, no se reporta en la literatura investigaciones que describan el comportamiento de la dinámica del desgaste en las cuchillas de corte base de las cosechadoras de caña.

TABLA 3. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Ecuación** | **Resumen del modelo** | **Estimaciones de los parámetros** |
|   | R cuadrado | F | gl1 | gl2 | Sig. | Constante | b1 | b2 | b3 |
| Cúbico | ,874 | 51,046 | 3 | 22 | ,000 | 2,574 | 12,640 | -1,052 | ,028 |

**4. Conclusiones**

Los segmentos de corte base BONEM son responsables de más del 50% de las fallas del sistema mecánico en las cosechadoras de caña CASE IH, debido fundamentalmente al desgaste acelerado del filo, lo cual influye en la disminución del período de vida útil y el aumento del consumo de estas herramientas. Además, la pérdida de masa promedio de las cuchillas de corte base objeto de estudio toma valores promedios que oscilan desde 0 a 91,5g para un tiempo de trabajo limpio de 24 horas, provocando la pérdida de la geometría de uno de los filos, por lo que se estima que, en un período de tiempo de 48 horas de trabajo limpio, estas herramientas perderán su capacidad total de trabajo, reflejando la influencia directa de las propiedades físicas y mecánicas de la masa vegetal cortada, el suelo y el medio que la circunda en el comportamiento y vida útil de las mismas.

**5. Referencias bibliográficas**

1-Abd-El M. H. A.; Hemeida B. E.: “Sugarcane mechanical harvesting-evaluation of local applications”. *J.Soil Sci. and Agric. Eng., Mansoura Univ.,* Vol. 6 (1): 129- 141, 2015.

2-Álvarez, G.E.: *Tribología: Fricción, desgaste y lubricación. Capítulo III. Degaste de los
cuerpos sólidos*, Ed. Feijó, UCLV, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, 2000, ISBN: 959-250-182-3.

3-Daquinta, G. L. A.: Indicadores técnicos explotativos de las cosechadoras de caña de azúcar CASE-IH 7000 en la provincia de Ciego de Ávila, En: **XXXIII Convención Panamericana de Ingeniería**, UPADI, 2012.

4-Daquinta, G. L. A.; Domínguez, B. J.; Pérez, O. C.; Fernández, S. M.: “Indicadores técnicos y de explotación de las cosechadoras de caña de azúcar CASE-IH 7000 y 8000 en la provincia de Ciego de Ávila”, *Revista Ingeniería Agrícola*, ISSN-2326-1545, RNPS-0622. Vol. 4(3): 3-8, 2014.

5-Guerra, C. W.; Herrera, M.; Vázquez, Y.; Quintero, A. B: “Contribución de la Estadística al análisis de variables categóricas: Aplicación del Análisis de Regresión Categórica en las Ciencias Agropecuarias”. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN -1010-2760, RNPS-0111. Vol. 23(1): 68-63, 2014.

6-Herrera, V. M.; Guerra C.W.; Sarduy L.; García, Y.; Martínez C.: “Diferentes métodos estadísticos para el análisis de variables discretas. Una aplicación en las ciencias agrícolas y técnicas”. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN -1010-2760. Vol. 21(1): 58-62, 2012.

7-Hu, D-F.; Zheng, Y-F.; Zhao, Y.: Movement Simulation of Sugarcane Harvester Cutter Based on ANSYS/LS-DYNA, En: **International Conference on Engineering Science and Management (ESM 2016),** 2016.

8-Iagric: *Sistema de Gestión de la calidad. Prueba de máquinas agrícolas. Evaluación
tecnológico explotativa*, Inst. Ministerio dela Agricultura, IAgric, PNO PG-CA-043, La
Habana, Cuba, 13 p., 2013.

9-Jamadar V.; Sawar, A.; Pol, H.; Deshpande, N.; Sawant, S.; Patil, V.: “Sugarcane Cutting Machine”, En: **International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology. National Conference on Design, Manufacturing, Energy & Thermal Engineering (NCDMETE-2017)**, ISSN (Online) 2393-8021, ISSN (Print) 2394-1588. Vol. 4, Special Issue 1, 2017.

10-Li, Sh.; Shenb, Zh.; Mac, F.; Gaoc, J.; Yub, X.: “Simulation and Experiment on Conveying Device of Cutting System of Small Sugarcane Harvester”. *IJE TRANSACTIONS C: Aspects*, DOI: 10.5829/idosi.ije.2013.26.09c.05. Vol. 26(9): 975-984, 2013.

11-Ma, S.; Karkee, M.; Scharf, P. A.; Zhang, Q.: “Sugarcane harvester technology: a critical overview”, *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, ISSN 0883-8542, DOI: 10.13031/aea.30.10696. Vol. 30(5): 727-739, 2014.

12-Manhães, C. M. C.; Garcia, R. F.; Francelino, F. M. A.; Correa JR, D.; Solano, C.S.; Francelino, H.O.: “Visible Losses in Mechanized Harvesting of Sugarcane Using the Case IH A4000 Harvester”. *American Journal of Plant Sciences*, DOI: 10.4236/ajps.2014.518289. Vol. 5: 2734-2740, 2014.

13-Mathanker S. K.; Grift, T. E.; Hansen, A. C.: “Effect of blade oblique angle and cutting speed on cutting energy for energy cane stems”, *Biosystems Engineering,* ISSN/15375110. Vol. 33, 64-70, 2015.

14-Matos, R. N.; García, E.; González, J.: “Evaluación técnica y de explotación de las cosechadoras de caña CASE-7000”. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN -1010-2760. Vol. 19(4): 6-9, 2010.

15-Max, G. J.; Pérez, R.; Pérez, J. N.: “Evaluación del corte basal de la cosechadora C-4000 con cuchillas de tres filos”. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias****,*** ISSN -1010-2760. Vol. 21(1): 26-30, 2012.

16-Mellado, C.J.: *Aplicación del método de los elementos discretos a problemas de desgaste*, *[en línea]*, Universidad Politécnica de Cataluña, Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias), Cataluña, España, 2005, *Disponible en: https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3376*, *[Consulta: 21 de enero de 2017]*.

17-Mello, R.C.; Harris, H.: “Desempenho de cortadores de base para colhedoras de cana-deaçúcar com lâminas serrilhadas e inclinadas”, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, ISSN: 1807-1929. Vol. 7(2): 355-358, 2003.

18-Mello, R.C.: “Effect of blade shape and speed on cutting forces for sugar cane”, *Acta
Scientiarum: Agronomy*, ISSN: 1679-9275. Vol. 27: 661-665, 2005.

19-Momin, M. A.; Wempe, P. A.; Grift, T. E.; Hansen, A. C.: “Effects of four base cutter blade designs on sugarcane stem cut quality”, *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, ISSN 2151-0032, DOI: 10.13031/trans.12345. Vol. 60(5): 1551-1560, 2017.

20-Narimoto L. R. & Burgess-Limerick, R.: Sugar-cane harvesting machine design “in the field”, En: **Proceedings 19th Triennial Congress of the IEA,** Melbourne, 2015.

21-NC 34 –37: 2003: *Máquinas agrícolas y forestales. Metodología para la evaluación tecnológica explotativa*. Vig. Febrero 2003.

22-Sánchez, I. A. L.; Herrera, M.; López, J. D.; López, E.; Recarey, C. A.: “Desarrollo de un banco de pruebas rotacional para investigar el desgaste de los aperos de labranza”. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN -1010-2760. Vol. 19(2): 16-21, 2010a.

23-Sánchez, I. A. L.; Herrera, M.; Recarey, C. A.; López, E.; González, O.: “Determinación del desgaste de los aperos de labranzas de suelo en condiciones de campo”. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN -1010-2760. Vol. 19(4): 60-66, 2010b.

24-Tahsin M. D.; Naik, R. K.; RAI, D.K.: “Design and Development of Low Cost Sugarcane Harvester for Chhattisgarh Region”. *Advances in Life Sciences* Print: ISSN 2278-3849. Vol. 5(18): 7681-7687, 2016.

25-Toledo, A.; Pereira, R.; Angeli, C. E.: “Quality of cut and basecutter blade configuration for the mechanized harvest of green sugarcane”. *Scientia Agricola.* Vol. 70(6): 384-389, 2013.