

Propuesta de un algoritmo para la detección y registro del tiempo de atasco en máquinas cosechadoras de caña.

Juan Carlos Sepúlveda Peña

Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría, C. Habana, Cuba, JCarlos@ceis.cujae.edu.cu

Carlos Lago González

Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría, C. Habana, Cuba, CLago@ceis.cujae.edu.cu

Alejandro Rosete Suárez

Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría, C. Habana, Cuba, Rosete@ceis.cujae.edu.cu

Roberto Sepúlveda Lima

Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría, C. Habana, Cuba, Sepul@ceis.cujae.edu.cu

Britaldo Hernández

Centro Nacional de Producción de Animales de Laboratorio, C. Habana, Cuba, Britaldo@ceis.cujae.edu.cu

RESUMEN

El algoritmo descrito hace uso de los GPS para detectar y registrar el tiempo de atoro en máquinas cosechadoras de caña usando los datos primarios captados por el "computador de a bordo" AGM-200A o el AGM-200B. El algoritmo igualmente pudiera ser aplicado a problemas similares que afrontan otros tipos de cosechadoras agrícolas.

Keywords: Embuchamiento, atoro, Azúcar, cosechadoras, Agricultura.

ABSTRACT

The described algorithm was developed to detect the choke up in cane harvester using the primary data captured by on board computer AGM-200A or AGM-200B. The algorithm could be applied to similar problems that confront other agricultural machineries.

Keywords: choke up, harvester, sugar cane, Agriculture, avl.

1. INTRODUCTION

El cultivo de la caña de azúcar ha tomado auge en la actualidad a nivel mundial (por ejemplo, un país como China, que antes no era productor tiene ya alrededor de 183 centrales [1]). El termino *Cosechadora* es el nombre genérico de las máquinas que sirven para efectuar la recolección o cosecha de los frutos de la tierra. – Existen numerosas clases de cosechadoras, cada una de las cuales funciona con arreglo a la índole de lo que se ha de cosechar [2]. La primera máquina agrícola de la que se tiene noticias fue construida por el inventor escocés Andrew Meikle en 1784 y se trataba de una maquina trilladora para separar el grano de la paja. [3].

Según [4] en Cuba para la mecanización de la cosecha de la caña, el país disponía de un parque cercano a 4 200 cosechadoras, mayormente KTP-1 y KTP-2 de fabricación nacional.

Las cosechadoras de cañas son máquinas altamente complejas, y extremadamente caras. El uso de estas máquinas en un régimen de operación para el que no fueron diseñadas puede acarrearle rápidos desgastes de sus piezas y componentes o la rotura de estas. Se han realizado estudios que han llevado a la realización de manuales de “buenas prácticas”. Sin embargo estas buenas prácticas no siempre son cumplidas por los operarios, por lo cual se han realizado también muchos estudios de cómo garantizar que se cumplan con los manuales de buenas prácticas. [5], [6], [7], [8], [9], ya sea mediante mecanismos de control o de convencimiento, al elevar el nivel técnico de los operarios.

El no cumplimiento de las buenas prácticas puede dar como resultado, entre otros problemas, el “embuchamiento” (también conocido como atoro, atasco, obstrucción, embotellamiento, etc) de la cosechadora. El embuchamiento ocurre cuando la cantidad de materia que entra en la cosechadora es superior al que puede asimilar el mecanismo de corte de la misma. La principal causa de embuchamiento está dada por una operación incorrecta de la cosechadora por parte del operario. Además del tiempo perdido por las maniobras, necesarias para salir del embuchamiento, pueden ocurrir otras pérdidas de tiempo y económicas debido a roturas provocadas por el propio embuchamiento debido a la sobrecarga a las cuales se somete al mecanismo de corte de la cosechadora, lo cual incrementa el desgaste por fatiga. El desgaste por fatiga es debido a causas mecánicas producto de tensiones variables y repetidas. [10].

2. EL EMBUCHAMIENTO EN MÁQUINAS COSECHADORAS DE CAÑA.

Estudios realizados en Australia muestran que producto del embuchamiento, la cosechadora puede perder hasta un 6% del tiempo [7]. Estudios realizado por los autores en cosechadoras del grupo COSAN [11] en Brasil, muestran que el tiempo perdido solamente por embuchamiento está entre el 3% y el 4% del tiempo efectivo de corte de la cosechadora. Las tablas 1 muestra los tiempos consumidos por Tiempo efectivo de corte, Tiempo total de Parada, Tiempo de maniobras, y Tiempo de embuchamientos en ensayos realizados por los autores.

Tabla 1: Datos recopilados desde la cosechadora 32209

Fecha	3/Sep/06	4/Sep/06	5/Sep/06	6/Sep/06	7/Sep/06	Total
ID.	32209	32209	32209	32209	32209	32209
T.T.P.	12:06:14	5:51:22	2:52:51	5:33:26	4:22:12	1:06:46:05
T.E.C.	8:27:04	13:21:57	14:46:49	13:15:45	15:14:01	2:17:05:36
T.Man.	3:25:45	4:36:36	6:20:10	5:10:49	4:12:33	0:23:45:53
T. Emb.	0:17:02	0:46:27	0:33:00	0:42:16	0:45:48	03:04:33
%T.Emb.	3.25%	5.48%	3.59%	5.04%	4.77%	4.51%

ID: Identificador de la cosechadora.

T.T.P.: Tiempo Total de Parada. (Tiempo en el cual no estuvo operando la cosechadora).

T.E.C.: Tiempo Efectivo de Corte. (Tiempo en el cual estuvo cortando caña la cosechadora).

T.Man.: Tiempo perdido por Maniobras giros etc, dentro del campo de caña durante el corte.

T.Emb.: Tiempo total perdido por causa del Embuchamiento.

%T.Emb.: Se refiere al % que representa el embuchamiento respecto al T.E.C.

El formato del tiempo en la tabla esta en la forma: días: horas: minutos: segundos.

2.1 COMPORTAMIENTO TÍPICO DE LAS VARIABLES DURANTE EL EMBUCHAMIENTO.

Al ocurrir el embuchamiento, las cuchillas de corte de la cosechadora no pueden girar y por ende la presión hidráulica de las bombas de aceite (en lo adelante presión de corte) que las hacen girar, se eleva considerablemente llegando a un valor por encima del 90% de la presión máxima. Una vez que la cosechadora cae en este estado la forma de salir de dicho estado es haciendo girar las cuchillas en sentido contrario, lo cual es

medido por los sensores como una presión igual a 0 o muy cercana a 0. Paralelamente a esto el operador tiene que detener la cosechadora antes o durante este proceso. En ocasiones con esto es suficiente y al comenzar a cortar de nuevo el equipo sale del atoro, sin embargo en la mayoría de las ocasiones esto no es suficiente y el operador tiene que mover hacia atrás la cosechadora, lo que se interpreta en la fig. 2 como una velocidad negativa, y repetir la operación de hacer girar las cuchillas en sentido contrario. Una vez que la máquina sale de dicho estado, la presión de corte vuelve a sus valores nominales de trabajo y la cosechadora vuelve a desplazarse hacia adelante a la velocidad de trabajo nominal.

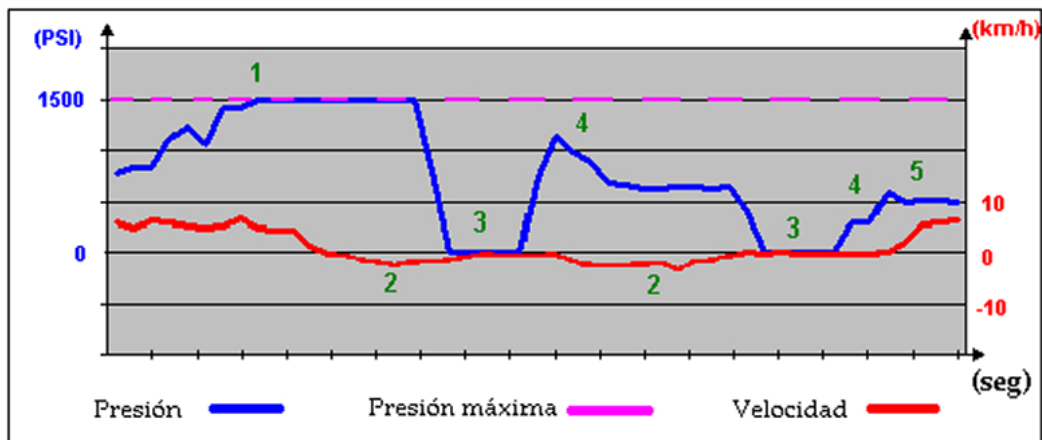


Figura 1: Comportamiento de la velocidad, la presión durante el embuchamiento.

En el punto 1 se da inicio el embuchamiento, en este punto la presión de corte se aproxima a la presión máxima (1500 psi). En el punto 2 el operador da marcha atrás a la cosechadora para intentar sacarla del embuchamiento, lo que se interpreta como una velocidad negativa, y casi a la vez como se muestra en el punto 3 hace girar las cuchillas en sentido contrario, por tanto la presión de corte se aproxima a 0. En el punto 4 intenta nuevamente continuar el corte. De no ser posible vuelve nuevamente a dar marcha atrás (punto 2 nuevamente) y nuevamente hace girar las cuchillas en sentido contrario (punto 3 nuevamente). Esta operación entre los puntos 2 y 3 puede repetirse varias veces o podría salir del embuchamiento en la primera iteración. Una vez que la cosechadora salió del embuchamiento la presión y la velocidad vuelven a sus valores nominales de trabajo (punto 5).

3. COMPUTADOR DE A BORDO.

Una definición de computador de a bordo puede ser hallada en [12] la cual plantea que un computador de a bordo es: Un Dispositivo o conjunto de dispositivos adicionados a, o formando parte de, un sistema móvil, capaz de realizar de forma automática una serie de operaciones regulatorias, de chequeo y registro de parámetros y variables del sistema móvil y/o su entorno, para su procesamiento en tiempo real o diferido.

Los datos registrados por los computadores de a bordo pueden ser utilizados posteriormente para diferentes usos, entre los que se cuenta el trazado de mapas de rendimiento, registro automático del tiempo de trabajo y de parada, consumo de combustible, tiempo de uso real de las máquinas etc. Estos datos son muy valiosos en manos de expertos para tomar medidas que permitan elevar la productividad y la eficiencia. En el caso de las cosechadoras cañeras además de los parámetros antes mencionados comúnmente se registran también los tiempo efectivo de corte, tiempo de maniobras, tiempo de la estera conectada entre otros.

Sin embargo en momento de escribir este trabajo ninguna de las firmas constructoras de estos equipos en Brasil y Australia había logrado realizar un computador de a bordo capaz de registrar de forma automatizada el tiempo perdido por causa de los atascos.

4. UNA SOLUCIÓN PARA LA DETECCIÓN DEL EMBUCHAMIENTO EN MAQUINAS COSECHADORAS DE CAÑA.

El algoritmo que a continuación se presenta fue desarrollado como parte de un proyecto de colaboración entre la CUJAE, las empresas cubano brasilera y cubano Australiana TechAgro[13]. El algoritmo es completamente válido para analizar los datos recolectados por otros autómatas, siempre y cuando se registren las variables apropiadas y de la forma adecuada.

4.1 VARIABLES USADAS PARA DETECTAR EL EMBUCHAMIENTO .

El algoritmo que se propone se basa principalmente en el análisis del comportamiento de la presión de corte.

En el tópico 2.1 se explica el comportamiento típico en el tiempo de las variables presión, velocidad y spin (dirección y sentido del movimiento). Al analizar el comportamiento de la presión, la velocidad y el spin, los especialistas de mecanización agrícolas de TechAgro encontraron regularidades que podían ser usadas para de detección y registro automático del tiempo de embuchamiento.

El algoritmo aquí propuesto hace uso de dichas regularidades para la detección y registro del embuchamiento.

4.2 COMPORTAMIENTO TÍPICO DE LAS VARIABLES DURANTE EL EMBUCHAMIENTO.

El algoritmo se basa en una máquina de estados [14] donde con el análisis de cada nueva trama se realiza un chequeo de las variables para realizar la transición de un estado a otro y poder determinar cuando se ha producido un embuchamiento.

4.3 DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO.

La figura 2 muestra el diagrama de estado que describe el algoritmo propuesto. Las abreviaturas usadas en la figura 2 se detallan a continuación.

EC: Tiempo Efectivo de Corte.

!X: Negación de **X**.

&: Operador lógico AND.

Pmax: Presión Máxima.

PA: Presión Alta.

PC: Presión de Corte.

At: Atoro (Embuchamiento).

V1: Verificación 1.

V2: Verificación 2.

ID: Identificador de una trama.

Vn: Velocidad Nominal de trabajo.

Pn: Presión Nominal de trabajo.

Cp: Código de parada teclado.

Pca: Presión de corte $> 0.9P_{max}$.

Pcb: Presión de corte $< 0.2P_n$.

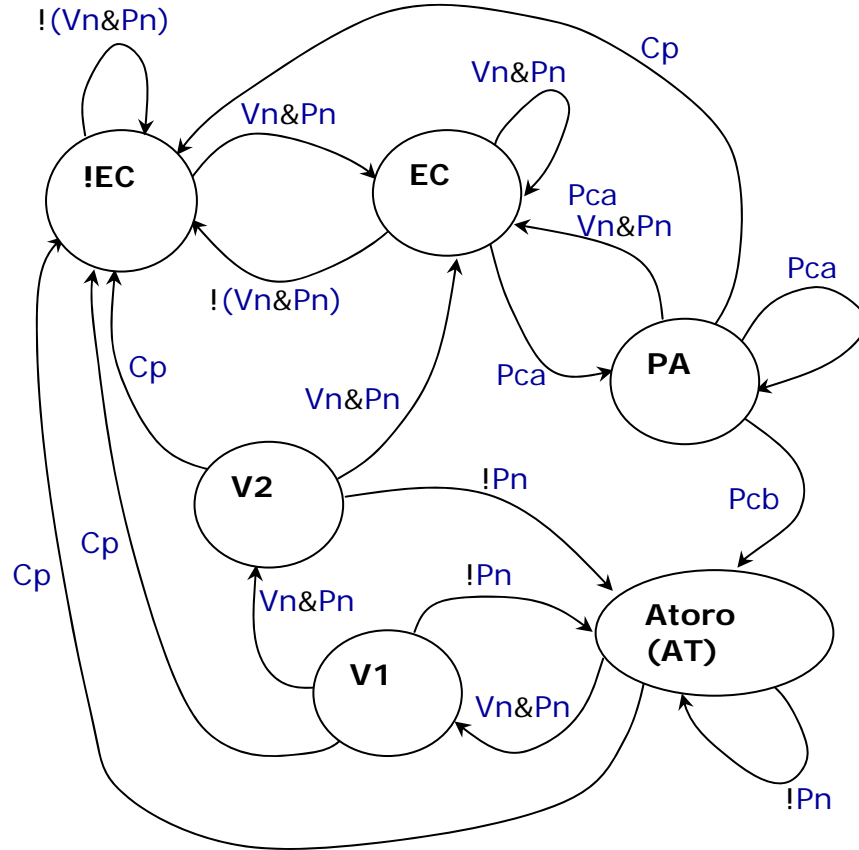


Figura 2: Diagrama de estados que describe el algoritmo propuesto.

Tabla 2: Tabla descriptiva de las posibles acciones a realizar en cada estado.

De:	A:	Condición	Acción	Comentario
!IEC	!IEC	No estar en Tiempo Efectivo de Corte.	Analizar próxima trama.	Si no se encuentra cortando no analiza el posible embuchamiento.
!IEC	EC	Comenzó a cortar.	Pasar al estado EC. Analizar próxima trama.	Se entró en "Tiempo Efectivo de Corte".
EC	!IEC	Dejó de cortar.	Pasar al estado !IEC. Analizar próxima trama.	Se salio de "Tiempo Efectivo de corte". Ya sea hacia tiempo de maniobra, de parada, desplazamiento etc.
EC	EC	Se mantenga en Tiempo efectivo de corte y $PC < 0.9 P_{Max}$.	Analizar próxima trama.	Mientras se este realizando el corte con una presión no muy alta se mantiene en este estado.
EC	PA	$PC \geq 0.9 P_{Max}$.	Pasar al estado PA. Insertar en una lista un ID de la trama. Analizar próxima trama.	Si la PC se eleva por encima del 0.9% de la P_{Max} es un indicio del posible comienzo de un atoro.

PA	PA	$PC \geq 0.9 P_{Max}$	Insertar en una lista un ID de la trama. Analizar próxima trama.	La PC elevada se mantiene por lo cual existe un indicio de que ya la cosechadora ha caído en un atoro y el operario aun no ha realizado maniobras para salir del atoro.
PA	EC	$PC = PN$ $V \geq V_{MinC}$	Vaciar la lista con los ID de las tramas insertadas previamente. Analizar próxima trama.	Significa que por alguna razón hubo una elevación de la presión de corte, pero que no conllevó finalmente a un embuchamiento.
PA	!EC	El operador tecleo un código de parada, apago el motor o la cosechadora.	Vaciar la lista con los ID de las tramas insertadas previamente. Analizar próxima trama.	Si el operador tecleo un código de parada, apagó el motor o la cosechadora, entonces no se podrá caer en atoro.
PA	At	$PC \leq 0.2 P_n$	Insertar en una lista un ID de la trama. Analizar próxima trama.	Si $PC \leq 0.2 P_n$ significa que la cosechadora esta embuchada y que el operador ha comenzado a maniobrar para salir del embuchamiento. El giro en sentido contrario de las cuchillas es registrado como $PC = 0$ o muy cercana a 0.
At	At	$PC \neq PN$	Insertar en una lista un ID de la trama. Analizar próxima trama.	Mientras la $PC \neq PN$ significa que la cosechadora no ha salido del embuchamiento.
At	V1	$PC = PN$ $V \geq V_{MinC}$	Insertar en una lista un ID de la trama. Analizar próxima trama.	Posible finalización del embuchamiento. Al estado V1 se pasa como un filtraje a la posibilidad de lectura de un valor puntual de PC y Velocidad dentro de los rangos nominales pero que realmente solo se trate de valores puntuales y no de valores mantenidos.
V1	Em	$PC \neq PN$	Insertar en una lista un ID de la trama. Analizar próxima trama.	La transición a V1 fue producto del muestreo de un valor puntual y no de valores mantenidos.
V1	V2	$PC = PN$ $V \geq V_{MinC}$	Insertar en una lista un ID de la trama. Analizar próxima trama.	Una segunda validación. Idem a los explicado para V1.
V1	!EC	El operador tecleo un código de parada, apago el motor o la cosechadora.	Se marcan todas las tramas cuyas ID se habían almacenado en la lista de ID como tramas embuchadas. Limpiar la lista de ID.	Si el operador tecleo un código de parada, apagó el motor o la cosechadora se da por terminado el embuchamiento. Esto ocurre solamente en los casos en que durante el embuchamiento ocurrió una avería de la cosechadora.
V2	At	$PC \neq PN$	Insertar en una lista un ID de la trama. Analizar próxima trama.	La transición a V2 fue producto del muestreo de un valor puntual y no de valores mantenidos.
V2	EC	$PC = PN$ $V \geq V_{MinC}$	Se eliminan de la lista de ID a los últimos 2 elementos insertados. Se marcan todas las tramas cuyas ID se habían almacenado en la lista de ID como tramas durante la cual	Fin del atoro. Se entra nuevamente en Tiempo Efectivo de Corte pues la Presión de Corte y la Velocidad de la cosechadora retornaron a sus valores nominales.

			estaba ocurriendo un atoro. Limpiar la lista de ID.	
V2	IEC	El operador tecleo un código de parada, apago el motor o la cosechadora.	Se marcan todas las tramas cuyas ID se habían almacenado en la lista de ID como tramas durante la cual estaba ocurriendo un atoro. Limpiar la lista de ID.	Si el operador tecleo un código de parada, apagó el motor o la cosechadora se da por terminado el embuchamiento. Esto ocurre solamente en los casos en que durante el embuchamiento ocurrió una avería de la cosechadora.

4.4 SOLUCIÓN DE SOFTWARE.

El algoritmo antes descrito ha sido implementado utilizando el Borland Development Studio 2006. La detección del embuchamiento puede ser vista por el usuario del sistema de tres formas distintas.

En primer lugar puede observar el tiempo que se ha perdido debido al embuchamiento. Estos datos se pueden mostrar por día, por un rango de tiempo seleccionado, por cosechadora, por operario o puede verlo como una suma de todos los tiempos de embuchamiento donde se incluyen los operarios seleccionados usando las cosechadoras seleccionadas en un rango seleccionado de tiempo (días) a voluntad del usuario, de forma similar a lo mostrado en la tabla 1. Se puede también observar en un mapa cuales fueron los lugares donde se detectó el embuchamiento y conocer de cada punto la velocidad de desplazamiento en ese instante, la presión de corte, la fecha y hora exacta en que ocurrió además de otros parámetros de la cosechadora. Por último se puede observar en forma de gráfico los valores de las distintas variables que se registran y su valor en el tiempo durante un embuchamiento.

4.5 APLICACIÓN DE LA SOLUCIÓN.

El algoritmo anteriormente explicado forma parte del software de análisis de los datos recolectados por computadores de a bordo de la serie AGM-200X, los cuales han sido comercializados con éxito en Brasil y Australia. El sistema en su conjunto tiene un precio de 4000.00 Reales (Aproximadamente 2000.00 USD en el 2006) por unidad. El sistema ha sido vendido también con éxito en Australia. El sistema en su conjunto permite conocer de forma detallada el tiempo utilizado en cada operación lo cual permite a los gerentes agrícolas tomar las medidas adecuadas para incrementar la eficiencia de la cosecha.

Hasta la fecha de finalización del proyecto (Septiembre 2007), era el único producto comercial, en el mercado de Brasil y Australia (países que son referencia mundial en el cultivo de la caña), que registra de forma automatizada el tiempo perdido por embuchamiento en las cosechadoras de caña.

5. CONCLUSIONES.

Según las pruebas de campo realizadas al algoritmo se llegó a la conclusión que detecta el 100% de los casos en los cuales la cosechadora se embucha y el operador tiene que detenerla por dicha causa.

En estos momentos la detección del embuchamiento no se realiza in situ, sino que se detecta un tiempo después cuando son procesados los datos recolectados por el computador de a bordo, lo cual permite evaluar la calidad del trabajo realizado.

6. RECOMENDACIONES.

Después del estudio realizado se recomienda intentar llevar al computador de a bordo un algoritmo preventivo de detección del embuchamiento de forma tal que se le pueda avisar al operador cuando están dadas las condiciones para la ocurrencia del embuchamiento. Un análisis de las tramas, entiéndanse variables registradas por el AGM-200A, segundos antes de cada embuchamiento ha arrojado como resultado que en el 60% de los casos entre 3 y 4 segundos antes de embucharse la cosechadora la presión de corte se había elevado por encima de la presión

nominal aunque sin llegar al 90% de la presión máxima. Por tanto si en este instante se detiene a la cosechadora, o se disminuye su velocidad se podría evitar el embuchamiento.

7. REFERENCIAS:

1. Tan, S.Y. and J.A. Joyce, *A comparison of China's sugar cane technology with Australian industry standards.*, in *2004 Conference of the Australian Society of Sugar Cane Technologists*, D.M. Hogarth, Editor. 2004, PK Editorial Services Pty Ltd: Brisbane, Queensland, Australia.
2. Galiana, T., *Cosechadora*, in *Pequeño Larousse de Ciencias Técnicas.* . 1998, Editorial Científico técnica. Ministerio de cultura. Habana Cuba.
3. Encarta, M., *Maquinaria agrícola*, in *Encarta® 2007 [DVD]*. 2007, Microsoft Corporation.
4. Corona, Z., *Evaluación general de la cosechadora KTP-2M.*, in *Dpto. Mecanización Agrícola*. 1996, Universidad Central de las Villas: Santa Clara. Cuba.
5. Willcox, T., et al. (2004) *Working towards payment methods for harvesting that provide incentive for good farming practice.* PROCEEDINGS- AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS (ASSCT), p. 18-49
6. Agnew, J.R., et al. *Increased sugar industry profitability through harvesting best practice.* in *2002 Conference of the Australian Society of Sugar Cane Technologists*. 2002. Cairns, Queensland, Australia.: PK Editorial Services Pty Ltd.
7. Agnew, J.R., *A participatory approach towards improving industry sector profits through improved harvesting efficiency.* 2002, Sugar Research and Development Cooperation (SRDC): Mackay, Queensland, Australia.
8. Markley, J., A. Raines, and R. Crossley. *The development and integration of remote sensing, GIS and data processing tools for effective harvest management.* in *Australian Society of Sugar Cane Technology*. 2003.
9. Powell, J.G., G.T. Stainlay, and G. Dore. *A study of the factors affecting harvesting productivity and best practice in the wet tropics.* in *Australian Society of Sugar Cane Technologists (ASSCT)*. 2001.
10. Ochoa, R. and M.S. I. *Aspectos teóricos sobre el desgaste abrasivo en los elementos de trabajo de las máquinas agrícolas en Cuba.* 2007 [cited 12 Octubre 2007]; Available from: www.monografias.com.
11. COSAN. *Sitio Web Oficial del Grupo COSAN.* [cited 5 Enero de 2008.]; Available from: <http://www.cosan.com.br/>
12. Sepúlveda, J.C., et al. *Modelo de referencia para sistemas de análisis de datos de computadores de a bordo.* in *Evento UCIencia 2008*. 2008. Universidad de Ciencias Informáticas. C. Habana.
13. TechAgro. *Sitio Web oficial de la empresa Techagro Pacific Pty Ltd.* [cited 5 Enero de 2008.]; Available from: www.techagro.com.au.
14. Jonhsonbaugh, J., *Capítulo 10: Autómatas, Gramáticas y Lenguajes.*, in *Matemáticas Discretas*. 1999, Prentice-Hall Hispanoamericana S.A.

Authorization and Disclaimer

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.