

Indisponibilidad industrial en la etapa de elaboración del mosto cervecero

Industrial unavailability of the must elaboration stage at a brewery

Dr.C María de Lourdes de la Cruz-Aragonese I, maria.delacruz@reduc.edu.cu , Dr.C. Martha Nápoles-García I , Dr. C. Erenio González-Suárez II , Dr.C Marlén Morales-Zamora II

I Universidad de Camagüey, Cuba; II Universidad Central "Martha Abreu de Villa Clara", Cuba

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un estudio de la indisponibilidad de la etapa de elaboración de mosto cervecero, teniendo en cuenta las interrupciones ocurridas en un tiempo de muestreo prolongado de 20 meses, dividido en cinco cuatrimestres. El objetivo es detectar los puntos débiles o críticos, las causas que lo originan y la intensidad del riesgo para incidir sobre ellos. Se introduce el análisis de la tríada Fiabilidad-Disponibilidad-Mantenimiento. El estudio indicó dos zonas críticas: la de recepción y preparación de la materia prima y la de fabricación, con la torre de grano, el mezclador-sedimentador y el enfriador de mosto como los componentes de mayor incidencia. Los indicadores de fiabilidad demostraron que no se ejecuta el mantenimiento preventivo con una tendencia creciente de ocurrencia de fallos en flujo no homogéneo de Poisson, señalando al mezclador-sedimentador como un componente crítico dentro del proceso. Se detectó que la indisponibilidad debida a factores externos es de 58 %, indicando la necesidad de un estudio profundo, atendiendo a que están provocados por causas ajenas al sistema investigado. Lo anterior provocó pérdidas de 3 211,75 h, de ellas 1 863 h por indisponibilidad externa y 1 349 h por indisponibilidad industrial, equivalentes a 409 032 \$/mes y 293 664 \$/mes respectivamente, dejados de ganar por indisponibilidad externa e industrial.

Palabras clave: *fiabilidad operacional, mantenimiento preventivo, indisponibilidad externa, indisponibilidad industrial.*

ABSTRACT

In this paper a study of the unavailability of the must elaboration stage at a brewery is carried out, keeping in mind the interruptions that occurred during the long sampling period of 20 months, divided in to five quarters. The objective is to detect the weak or critical points, the causes that originate them and the intensity of the risk to impact on them. It is introduced the analysis of the triad Reliability-Readiness-Maintenance. The study indicated two critical areas: reception and

preparation of the raw material area and production area, prevails with the grain tower, the mixer-sedimentation and the must cooler as components of more incidence. The indicators of reliability demonstrated that the preventive maintenance is not executed and they reflect a growing tendency of failure occurrence in non-homogeneous Flow of Poisson pointing out to the mixer-sedimentation like a critical component inside the process. The unavailability analysis shown an incidence of 58 % of external factors, what indicates the necessity of a deep study, taking into consideration they are caused by external factors to the investigated system. The latest caused that they were lost 3 211, 75 hours in the analyzed period, among of them 1 863 hours for external unavailability and 1 349 hours for industrial unavailability. They were equivalents to 409 032 \$/ month and 293 664 \$/ month respectively and they were not gaining for external and industrial unavailability.

Keywords : *operational reliability, preventive maintenance, external unavailability, industrial unavailability.*

INTRODUCCION

Históricamente, la ingeniería química ha abordado el diseño del proceso fijando su vida útil y llevando a cabo los análisis previos de rentabilidad, sin prestar la atención adecuada a la parte operacional del mismo.

Sin embargo, la calidad del producto y la disminución del costo de producción están estrechamente relacionados con la operación correcta de la planta y la utilización plena de su capacidad de diseño, la que depende fundamentalmente del control adecuado del proceso, la fiabilidad de los equipos y dispositivos y la adecuada organización de las facilidades auxiliares, que constituyen la sinergia del proceso.

El ahorro de energía, de materias primas y otros insumos está estrechamente ligado al funcionamiento eficiente, continuo y seguro del proceso, donde las facilidades del sistema constituyen un elemento esencial. Es obvio que las interrupciones por roturas inesperadas (además de su incidencia en relación con la seguridad del proceso) afecta los costos y la calidad del producto, aspectos que no han sido tratados de manera sistémica como una estrategia integrada para la industria, fundamentalmente dirigida a los países de menor desarrollo[5].

El objetivo general que se persigue con la aplicación de la teoría y las técnicas de fiabilidad se logra diseñando bien, produciendo mejor, explotando dentro de las condiciones previstas y ejecutando un excelente servicio de operación y mantenimiento, [10,16].

De esto se desprende que es necesaria la toma de datos realizando un muestreo adecuado según se reporta por [9] para el estudio de los fallos en equipos reparables de la industria a través del cual se valora la calidad del mantenimiento preventivo.

Para alcanzar los mejores resultados con el estudio y aplicación de la teoría de la fiabilidad, uno de los primeros pasos a dar por el especialista es la completa clasificación de los fallos, de manera que la mayor atención se prestará a aquellos que sean dependientes, peligrosos y súbitos, ya que son los más problemáticos. Menor interés se le prestará a aquellos que sean independientes, no peligrosos y graduales.

Por esta razón, durante varias décadas, el estudio de los fallos asociados a los procesos en general y a los procesos de la industria química en particular, se le ha dedicado especial atención, debido entre otros factores, a la necesidad de hacer más confiable la operación de los mismos, lo que redundaría en un mayor beneficio económico, ecológico y humano. Conceptos como seguridad, fiabilidad y riesgo por indisponibilidad, íntimamente relacionados han adquirido importancia en el análisis

de los procesos para lograr mayor fiabilidad operacional, previéndose pérdidas económicas, ecológicas y humanas, debido a fallos no previstos y de consecuencias catastróficas [2, 3, 11, 14].

Los estudios relacionados con la fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad operacional en el campo industrial han experimentado un desarrollo vertiginoso en los últimos años, llegándose a obtener metodologías y proyectos de análisis cada vez más integrados y eficaces. Entre estos últimos, podemos mencionar el análisis FDM (Fiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad) [5, 8,12].

El RCM (*Reliability Centered Maintenance*) es una de las tendencias de dirección del mantenimiento más atractivas de la actualidad. No en vano algunos autores lo clasifican como la tercera generación de mantenimiento, [6, 7, 9, 10, 13]. La disponibilidad representa la probabilidad de que, en un momento dado de tiempo, el artículo: industria, línea de producción, equipo, etcétera, se encuentre en funcionamiento o al menos apto para su funcionamiento, [9-10]. Puede utilizarse en la práctica su complementario: la indisponibilidad.

Se evidencia que en una primera fase se detectan los puntos débiles a través de los estudios de fiabilidad y en una segunda la intensidad de los mismos a través del análisis de riesgos por indisponibilidad para incidir en las modificaciones.

Teniendo en cuenta lo anterior se define como objetivo general del trabajo: Evaluar la indisponibilidad operacional en la etapa de elaboración del mosto cervecero utilizando técnicas del análisis de procesos basadas en la determinación de la efectividad del mantenimiento para detectar los puntos débiles y las causas de mayores incidencias.

MATERIALES Y METODOS

Se introducen en este estudio los procedimientos o algoritmos desarrollados por [9,10] sobre fiabilidad e indisponibilidad en la industria de la caña de azúcar.

La disponibilidad puede ser medida de diferentes formas, las más sencilla y empleada en la práctica es la disponibilidad promedio, la cual se denota por A.

$$A = \frac{TT}{TC + TPT} \quad (1)$$

Donde:

TT: es el tiempo que ha funcionado el sistema en un período de tiempo calendario.

TPT: es el tiempo perdido total debido a cualquiera de las causas de interrupciones en los diferentes sitios del sistema durante el mismo período

TC: es el tiempo calendario.

Algunos autores plantean que es más conveniente el trabajo con la indisponibilidad, la cual representa el evento complementario de la disponibilidad.

La indisponibilidad promedio se representa por U:

$$U = \frac{TPT}{TC + TPT} \quad (2)$$

Donde:

TPT: es el tiempo perdido total debido a cualquiera de las causas de interrupciones en los diferentes sitios del sistema durante el mismo período

TC: es el tiempo calendario.

Teniendo en cuenta lo relacionado anteriormente se fracciona el proceso en caliente

en tres zonas principales:

Zona 1: Recepción y preparación de la materia prima agrupando en ella todas las interrupciones dadas por el almacén de recepción de las materias primas fundamentales y la torre de grano.

Zona 2: Todas las facilidades auxiliares agrupando en ella todas las interrupciones relacionadas con los generadores de vapor, sala de máquinas y planta de tratamiento de agua.

Zona 3: Proceso en caliente de elaboración de cervezas y maltinas, considerando las interrupciones dadas desde la etapa de molinado hasta el enfriamiento del mosto para inyectar a los reactores.

La información necesaria para implementar los estudios de fiabilidad centrada en la efectividad del mantenimiento y el cálculo de la indisponibilidad se realiza período a período durante un tiempo prolongado ascendente a 5 cuatrimestres, utilizando los registros de incidencias sobre la población de fallos, sus causas y el tiempo perdido por interrupción.

La información se organiza de acuerdo a las zonas de fraccionamiento industrial detalladas anteriormente y se registran los aspectos que se reflejan en la tabla 1.

Tabla 1

Registro de incidencias sobre los fallos, su clasificación y tipo de interrupciones

Zonas de fraccionamiento industrial	Fecha de ocurrencia	Tiempo de Duración	Descripción de las causas que propician el evento	Clasificación del fallo según las categorías establecidas	Clasificación de las interrupciones
-------------------------------------	---------------------	--------------------	---	---	-------------------------------------

La clasificación de los fallos se realiza según las siguientes categorías, de acuerdo a la teoría de fiabilidad:

Según su interrelación De acuerdo al carácter de aparición

Dependientes. 1. Súbitos.

Independientes. 2. Graduales

3. Intermitentes

Según sus consecuencias De acuerdo al ciclo de vida

Peligrosos. 1. Diseño.

No peligrosos. 2. Tecnológico.

3. De explotación.

4. De envejecimiento normal.

Caracterización de las variables aleatorias: tiempo entre fallos (TEF), tiempo de duración del fallo (TDF) y número de fallos (NF)

El Excel se utiliza para caracterizar las variables aleatorias tiempo entre fallo y tiempo de duración del fallo. En el Arena se realizan los ajustes y la prueba de la concordancia con la herramienta *Input Analyzer*. El procedimiento se describe por [15, 11, 1] el cual se implementa en todos los períodos objeto de estudio.

Análisis de vida remanente a través de la efectividad del mantenimiento preventivo centrado en la determinación de los indicadores de fiabilidad

El procedimiento de cálculo que se emplea es reportado por [9] y los principales indicadores aparecen reflejados en la NC: 99-31,1981.

Estudios de indisponibilidad en las instalaciones y sus sistemas auxiliares

Para emprender estos estudios referidos a la indisponibilidad, es necesario completar la clasificación, la cual se refiere en las publicaciones de [10] según:

Indisponibilidad externa

Falta de materia prima, falta de agua, falta de electricidad, falta de insumos.

Indisponibilidad industrial

Roturas, interrupciones operativas, limpieza y mantenimiento.

La detección de puntos débiles se realiza de acuerdo a los resultados en los indicadores de fiabilidad, y el nivel de riesgo se detecta por el comportamiento de los indicadores que influyen en la indisponibilidad: **TMPI (tiempo medio perdido por interrupción) y W (t) (frecuencia media de fallos)**, según las siguientes relaciones reflejadas en la tabla 2 y referidas por [10].

Tabla 2
Posibles valores de los factores del análisis de la indisponibilidad, clasificación de las interrupciones y medidas a tomar

Frecuencia	Tiempo medio perdido por interrupción.	Clasificación	Medida a tomar
Alta	Alto	Muy peligrosa	Evitar a todo costo
Alta	Bajo	Peligrosa	Reducir frecuencia dentro de un límite razonable de costo
Baja	Alto	Poco impactante	Mejorar el soporte tecnológico
Baja	Bajo	Insignificante.	No tomar medidas.

Las relaciones que se precisan con anterioridad permiten establecer de acuerdo a la intensidad del riesgo un orden de prioridad al implementar las modificaciones a realizar, sin dejar de tener en cuenta que muchas de estas decisiones están relacionadas con la política estratégica del gobierno en los territorios.

Análisis y discusión de los resultados

Análisis de los fallos. Su clasificación

Se realizó el análisis de los fallos en las diferentes áreas del proceso de elaboración del mosto, relacionándose los ocurridos durante 20 meses dividiendo el análisis en cinco cuatrimestres y detallando sus principales causas. Resultando en este caso: independientes: 75 %, no peligrosos: 97 %, súbitos: 70 % y por explotación.

De forma general en el período estudiado hubo 199 interrupciones, de ellas 69 constituyen fallos, lo que representa el 34, 69 %. Se realiza el cálculo de los indicadores de fiabilidad en las zonas en que se desarrollaron el mayor número de interrupciones, siendo estas la zona 1 de recepción y preparación de la materia prima con la torre de grano como componente más crítico y la zona 3 de fabricación con el mezclador-sedimentador (tina) y el enfriador de mosto como los más críticos.

Análisis de la efectividad del mantenimiento preventivo en las zonas más críticas y dentro de ellas los equipos o componentes de mayor conflicto.

Aplicando la metodología, en la tabla 3 aparece la cantidad de fallos asociados a la

torre de grano (considerada el componente más crítico en la zona 1) y su distribución en el tiempo.

Tabla 3
Número de fallos distribuidos en el tiempo

Tiempo(t)	20	40	60	80	100	120
Fallos	4	9	2	1	0	2

De esta forma se determinan los valores reales de N (t) por la siguiente ecuación:

$$N(t) = \frac{1}{z} * \sum(m_z) \quad (3)$$

Obteniéndose los valores registrados en la tabla 4.

Tabla 4
Valores reales del flujo de fallos N (t)

N(t)	0	0,8	2,6	3	3,2	3,2	3,6
t(días)	0	20	40	60	80	100	120

Donde:

N (t): flujo de fallos, (fallos / unidad de tiempo).

Z: cantidad de cuatrimestres analizados (5), (adimensional).

m z : número de fallos en cada cuatrimestre desde t = 0 hasta t = 120, (adimensional).

Con estos valores se realiza el ajuste a una distribución Weibull biparamétrica teórica, utilizando el software Curve Expert 1.3 en su versión V1.34, el cual es un sistema de ajuste para Windows con el siguiente registro: Copyright Ó 1995 – 1997 by Daniels Hyams, All Rights Reserved. Portions copyright Microsot Corpration, 1993.

Este software brinda la posibilidad de ajustar diferentes tipos de curvas, dentro de ellas la función potencial de estructura:

$$Y = a * x^b \quad (4)$$

De esta forma por analogía se pueden obtener los valores de los parámetros de Weibull, una vez determinados por el ajuste a y b. Los resultados aparecen a continuación:

$$a = 0,312 \ 6 \ b = 0,520 \ 0$$

Así entonces los valores de θ y β se determinan por:

$$\theta = \text{anti log} \left(\frac{1}{b} * \log \frac{1}{a} \right) \quad (5)$$

En la tabla 5 se presentan los valores teóricos del flujo de fallos N (t)

Tabla 5
Valores teóricos del flujo de fallos N (t)

N(t)	0	1,48	2,13	2,63	3,05	3,43	3,77
t(días)	0	20	40	60	80	100	120

Obteniendo por el ajuste:

$$\theta = 9,39, \beta = b = 0,5209$$

Con estos resultados se procede al cálculo de los indicadores de fiabilidad para la evaluación del mantenimiento preventivo, los cuales según la bibliografía consultada se determinan como sigue: [9, 10]. Ver tabla 6.

Tabla 6
Indicadores de fiabilidad para torre de grano

Probabilidad de no ocurrencia de fallos	R(t)	$\exp\left(-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right)$	0,023
Frecuencia media de fallos.	w(t)	$\frac{t^{\beta-1}}{\theta^\beta}$	0,0314
Tiempo medio entre fallos (d).	TMEF(t)	$t^{1-\beta} * \theta^\beta$	31,83

Aplicando la misma metodología se procede al cálculo de los indicadores de fiabilidad para la evaluación del mantenimiento preventivo en los puntos débiles de la Zona 3: el enfriador de mosto y la tina. Ver las tablas 7 y 8.

Tabla 7
Indicadores de fiabilidad en el enfriador de mosto

Probabilidad de no ocurrencia de fallos	R(t)	$\exp\left(-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right)$	0,25
Frecuencia media de fallos.	w(t)	$\frac{t^{\beta-1}}{\theta^\beta}$	0,0117

Tiempo medio entre fallos (d).	TMEF(t)	$t^{1-\beta} * \theta^\beta$	85,75
--------------------------------	---------	------------------------------	-------

Tabla 8
Indicadores de fiabilidad en el mezclador-sedimentador (Tina)

Probabilidad de no ocurrencia de fallos	R(t)	$\exp-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta$	0,12
Frecuencia media de fallos.	w(t)	$\frac{t^{\beta-1}}{\theta^\beta}$	0,017 6
Tiempo medio entre fallos (d).	TMEF(t)	$t^{1-\beta} * \theta^\beta$	56,91

Se detecta de acuerdo al comportamiento de la frecuencia de fallos en flujo no homogéneo de Poisson creciente, según [11] al mezclador-sedimentador (tina) como punto crítico y de gran influencia en el sistema por ser la etapa intermedia entre el proceso en caliente y el proceso en frío, éste resultado aparece la figura 1.



Fig. 1 Comportamiento de la frecuencia media de fallos $W(t)$ (1/d) para el mezclador-sedimentador, (tina) en el proceso de elaboración del mosto.

- Clasificación y determinación de la indisponibilidad del proceso de elaboración del mosto (proceso en caliente)

La indisponibilidad en una industria se puede clasificar según [10]. Esta clasificación fue elaborada para el proceso azucarero por lo que para clasificar en la industria objeto de estudio se adicionaron dos nuevas categorías a la indisponibilidad externa, que sería por falta de capacidad en zonas receptoras, denominándose zona receptora a los reactores del proceso en frío y por falta de insumos.

La indisponibilidad industrial ocupa un 42 % del tiempo total perdido y el 58% corresponde a la indisponibilidad externa. Ver figura 2.

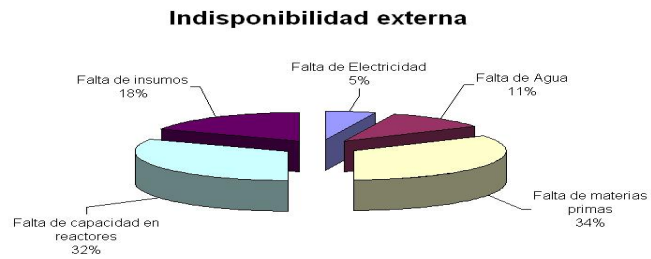


Fig. 2 Distribución de la indisponibilidad externa en el proceso de elaboración del mosto cervecero.

Se infiere la necesidad de estudiar a profundidad estos factores externos ajenos al control del sistema en estudio (etapa en caliente) ya que representan más del 50 % de la indisponibilidad.

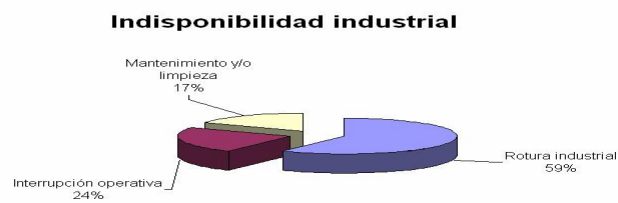


Fig. 3 Distribución de la indisponibilidad industrial en el proceso de elaboración del mosto cervecero (proceso en caliente).

En la indisponibilidad industrial (figura 3) el mayor por ciento lo ocupan las roturas industriales (fallos), siguiéndole las interrupciones operativas con un 24 %, las cuales deben valorarse ya que normalmente están influenciadas por la vigilancia tecnológica. El mantenimiento y la limpieza representan solo el 17 % no existiendo correspondencia entre ellos, debido a que se espera que el por ciento de

mantenimiento debería ser mayor a las roturas e interrupciones operativas, de esta forma se evidencia su falta de programación.

- Cálculo de la indisponibilidad industrial promedio en las zonas de mayor conflicto.

Como se ha referido anteriormente en el proceso de elaboración del mosto cervicero, se detectaron dos áreas de gran conflicto, el área o zona 1, que es la zona de recepción y preparación de la materia prima, dentro de ella se encuentra la torre de grano como el equipo o componente de mayor número de fallos o averías y la otra zona de conflicto la constituye la zona 3 de fabricación reportándose con problemas el mezclador-sedimentador (la tina) y el enfriador de mosto. En la tabla 9 aparecen los resultados de la indisponibilidad para las zonas o puntos débiles y los componentes de mayor conflicto.

Tabla 9
Indisponibilidad industrial promedio por zona y
por componentes averiados

Zona		U promedio	Componente averiado	U promedio
1	Recepción y preparación de las materias primas	0,022	Torre de grano	0,022
3	Elaboración del proceso en caliente	0,042	Intercambiador de calor de mosto	0,004 5
			Tina	0,008 5

Se observa que $U_p=0.022$ está entre 0 y 1 y se considera un valor lógico, interpretándose que existe un 2,2 % de indisponibilidad dada por la zona 1 y a su vez por la torre de granos como el componente más crítico dentro de la zona objeto de análisis, lo mismo sucede en la zona 3 de elaboración del mosto donde la indisponibilidad promedio asciende a 4,2 % señalando como componentes de mayor conflicto al mezclador-sedimentador (la tina) y el enfriador de mosto.

5. Evaluación económica

Considerando la elaboración de los cocimientos como 10 o 70/30 y que un cocimiento con esta formulación concluye el proceso con 760 hL como promedio con un precio de 23 \$/hL y que la sala de cocción fabrica 6 cocimientos como promedio diario, serían 4 560 hL/d. Los resultados por indisponibilidad se reflejan en la tabla 10.

Tabla 10
Repercusión económica debido a indisponibilidad

Parámetro	Indisponibilidad externa	Indisponibilidad industrial
Tiempo perdido en horas	1 863	1 349
Tiempo perdido en días	78	56
Hectolitros dejados de	355 680	255 360

producir en los 20 meses		
\$ dejados de ganar en los 20 meses	8 180 640	5 873 280
\$ dejados de ganar por mes	409 032 \$/mes	293 664 \$/mes

CONCLUSIONES

- En el proceso de elaboración del mosto cervecero, los fallos resultan ser clasificados de acuerdo a las diferentes categorías establecidas por la teoría de la fiabilidad.
- En el proceso, el enfriador de mosto refleja los mejores resultados en cuanto a los indicadores de fiabilidad, mostrando un Flujo no Homogéneo de Poisson decreciente.
- El equipo de mayor incidencia en la fiabilidad, es el mezclador-sedimentador mostrando un Flujo no Homogéneo de Poisson creciente, constituyendo un punto crítico para el proceso de elaboración del mosto cervecero.
- Los indicadores de fiabilidad permiten precisar las áreas o equipos tecnológicos que resultan ser puntos débiles o críticos dentro del sistema.
- La indisponibilidad unido a los estudios de fiabilidad permiten precisar las causas y factores de mayor influencia, la intensidad del riesgo y poder establecer hacia dónde dirigir las modificaciones en el proceso.
- Se corrobora por ambos estudios que el mantenimiento preventivo resultó ser ineficaz debido a la falta de programación.
- Se precisan las pérdidas económicas por indisponibilidad externa e industrial evidenciando el impacto sobre una industria en explotación.

BIBLIOGRAFIA

1. BETANCOURT, M. "Efecto de la magnetización sobre la fiabilidad del generador de vapor de la Empresa Mielera Siboney"/ Maremy Betancourt. *Et. al*, Trabajo de Diploma. Camagüey, Universidad de Camagüey, 46p, 2006.
2. BOIZÁN, M. A., "Optimización"/ M. Boizán.- Cuba: Ed. Pueblo y Educación, 1988.
3. BONET, B. CARLOS. "Fiabilidad de las máquinas automotrices e industriales"/ Carlos M. Bonet Borjas. -Santiago de Cuba: ISPJAE, 66p, 2000.
4. BOSTON, J.F. "Process simulation and its use by the Chemical Process Industries"/ Chemical Technique International, p 47, 1989.
5. DIAZ DE LOS RIOS, M. "La integración de procesos en la industria azucarera para la formulación de esquemas óptimos durante la operación de Complejos Agroindustriales" en Conferencia Magistral en el Evento Internacional "Diversificación 2000". Vicedirector ICIDCA, Cuba, 2000.
6. DUNN, A. "Integrating RCM with effective planning and scheduling." West australian Optimising Maintenance Conference. Perth, Australia, 1999.
7. GONZÁLEZ, E. "Consideración de la incertidumbre en la aplicación de tecnologías para la diversificación de la industria de la caña de azúcar". Evento Internacional de Medio Ambiente 2001/ Erenio González Suárez e Hilda Oquendo Ferrer. - Cuba, 2001.
8. HUERTA, R. (2006). "Proceso de análisis integral de confiabilidad y disponibilidad como soporte para el mejoramiento continuo de empresas". Recuperado el

10/3/2008 , <http://www.noria.com/sp/rwla/conferencias/mem/Paper20Rosendo.pdf>

9. MOJÍCAR, S y col. "Estimación de los índices de fiabilidad mediante el Análisis del flujo de fallo en los artículos reparables de la Industria azucarera"/ Centro Azúcar vol 28 No 4, p 58- 63, Octubre- Diciembre, 2001.

10. MOJÍCAR, S. y col. "Procedimiento para el análisis de la indisponibilidad en la Industria azucarera"/ Centro Azúcar, vol 31 N°. 1, p 51-57, enero - Marzo, 2004.

11. NÁPOLES, M. "Análisis del impacto de la incertidumbre de los balances de masa y energía de las fábricas de azúcar en los estudios previos inversionistas". Tesis para la obtención del grado científico de doctor en ciencias técnicas/ Martha Nápoles García. - Universidad de Camagüey, 2004.

12. NETHERTON, DANA: "RCM tasks." Applied Technology Publications Inc. 1998

13. RAUSAND, M.: " Reliability Centered Maintenance." *Elsevier Science Ltd.* No. 60.North Ireland, 1998.pp. 121-131.

14. RIVERA, A. "Análisis de la fiabilidad operacional en la Empresa Mielera Siboney". Tesis presentada en opción al título académico de Master en Análisis de Procesos/ Abdel Rivera Martín. - Universidad de Camagüey, 2007.

15. ROSA, E. "Análisis de alternativas de inversión en la industria química considerando la fiabilidad de los equipos". Tesis para la obtención del Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas/ Elena Rosa , 1996.

16. SALAZAR, M. C. (2008). "La Función del Mantenimiento. Un reto para la empresa del futuro ". [En línea]. Recuperado el 10 de marzo de 2009, <http://www.monografias.com/ingeniería/mantenimiento>

Recibido: Septiembre 2017

Aprobado: Enero 2018

Dr.C María de Lourdes de la Cruz-Aragonese I, maria.delacruz@reduc.edu.cu , I Universidad de Camagüey, Cuba; II Universidad Central "Martha Abreu de Villa Clara", Cuba