

APLICACIÓN DE UN ANÁLISIS CDM PARA SOPORTAR LA DECISIÓN DE INCORPORAR ELEMENTOS QUE INCREMENTEN PRODUCTIVIDAD

ELY ALEXANDRO FLORES MOYA

Universidad Simón Bolívar. Departamento de Procesos y Sistemas. e-mail: elyfloresm@usb.ve

RESUMEN

Esta investigación presenta la aplicación metodológica de un análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad (CDM), en un sistema de producción que pretenda incorporar máquinas o elementos para incrementar la productividad, con el fin de ofrecer una ponderación de cada posible escenario, con énfasis en el efecto producido por dicha incorporación en el desempeño global del sistema productivo, específicamente en su confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad. Esto permitirá exponer las ventajas y desventajas del posible comportamiento en el sistema luego de tomar alguna decisión bajo el escenario de incorporar elementos adicionales y/o cambios en la arquitectura del sistema. Consecuentemente con la información generada con el análisis CDM será posible soportar decisiones referentes a la solicitud de recursos de inversión y/o presupuestos, brindando mayor seguridad, confianza y respaldo al momento de tomar alguna decisión alrededor del sistema. En el caso particular de este trabajo se aplica dicha metodología en la evaluación de incorporar un elemento que permita aumentar la producción de una empresa manufacturera, desprendiéndose de este conocimiento que el funcionamiento del sistema está íntimamente relacionado a las decisiones que deben o se toman alrededor de los mismos.

Palabras Clave: Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad, Análisis CDM, Incrementar Productividad, Incorporación Productiva, Soporte de Decisiones, Ingeniería en Confiabilidad.

APPLICATION OF A CDM ANALYSIS TO SUPPORT THE DECISION TO INCORPORATE ELEMENTS THAT INCREASE PRODUCTIVITY

ABSTRACT

This research presents the methodological application of an analysis of Reliability, Availability and Maintainability (RAM), in a production system that aims to incorporate machines or elements to increase productivity, in order to offer a weighting of each possible scenario, with emphasis in the effect produced by said incorporation in the overall performance of the productive system, specifically in its reliability, availability and maintainability. This will allow to expose the advantages and disadvantages of the possible behavior in the system after making some decision under the scenario of incorporating additional elements and/or changes in the system architecture. Consequently, with the information generated with the RAM analysis, it will be possible to support decisions regarding the request for investment resources and/or budgets, providing greater security, confidence and support when making a decision around the system. In the particular case of this work, this methodology is applied in the evaluation of incorporating an element that allows to increase the production of a manufacturing company, from this knowledge that the operation of the system is intimately related to the decisions that must or are made around the same.

Keyword: Reliability, Availability, Maintainability, CDM Analysis, Increase Productivity, Productive Incorporation, Decision Support, Reliability Engineering.

INTRODUCCIÓN

La dinámica de los negocios competitivos, exige de las industrias producir con la mayor rentabilidad económica, con la más alta calidad, con un mayor nivel de confiabilidad y disponibilidad de los sistemas de producción; es decir, con mayor productividad para poder satisfacer los requerimientos exigidos actualmente. Para poder cumplir dichos requerimientos

y permanecer competitivos en el mercado, en ocasiones se toman decisiones basadas en información parcial, incierta o imprecisa (Yañez, Semeco y Medina, 2008).

De igual forma existen empresas que carecen de estrategias para determinar con precisión las alternativas que se les presentan además de sus ventajas o desventajas entre cada una de ellas. Es decir, las organizaciones actuales frente a la avalancha de

situaciones y alternativas, tienen poco claro por dónde empezar para alcanzar el estado productivo deseado (Yañez, Gómez, Agüero y Rojas, 2006). Esto con la premisa de no incurrir en grandes riegos o grandes consecuencias, es decir, cuentan con un plan débilmente soportado por un análisis que considere factores como: confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad a posteriori, y de esta forma ver el camino a seguir al momento de implementar una mejora en el sistema productivo.

Santos y Strefezza, (2015), afirman que aquellas sociedades que destinan esfuerzos en el desarrollo del conocimiento, la confiabilidad operacional y el mantenimiento, han logrado importantes mejoras en la productividad, minimizado riesgos y promovido calidad de vida, en contraste con aquellas sociedades que no lo hacen y por tanto se rezagan afectando negativamente en la vida y desarrollo de sus ciudadanos y sociedades.

Por tal razón se propone aplicar un esquema basado en herramientas de la ingeniería de confiabilidad, que permita visualizar los escenarios probables y de esta forma comenzar a diagnosticar el estado actual y hacia dónde se dirige la organización, al momento de introducir algún elemento o configuración que permita una mayor productividad y finalmente tomar decisiones basadas en un análisis con mayor información además de ajustada al caso particular y poder dar respuesta a preguntas, tales como; ¿Qué tan productivo se es o se puede ser como organización?, ¿En qué lugares de la organización se puede mejorar?, ¿Qué trabajos faltan por hacer?, ¿Dónde es más importante comenzar a trabajar? y ¿Dónde enfocar las acciones y/o recursos?, entre muchas otras preguntas (Yañez y otros, 2006).

La ingeniería en confiabilidad ofrece metodologías y técnicas necesarias para alcanzar estados de mayor rentabilidad, calidad, confiabilidad, disponibilidad y seguridad. Entre las metodologías se encuentra el análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad (CDM), conocido y aceptado también como análisis RAM por sus siglas en inglés (Reliability, Availability and Maintainability) el cual permite pronosticar; la producción que pudiera perderse; la indisponibilidad de un sistema de producción; el nivel de mantenibilidad del sistema y de los distintos elementos que lo componen. Lo anterior es posible, mediante un estudio de diagnóstico que busca caracterizar el estado actual de un equipo, sistema o proceso en particular y predecir su comportamiento para un periodo determinado de tiempo, es decir, es una visión de desempeño del sistema a futuro, en el caso de este trabajo se pretende usar para diversos escenarios y situaciones, que se le presentan en una empresa manufacturera de producción de jabón líquido. Con

posibilidad de ser aplicable a otros tipos de sistemas. Finalmente aplicando el análisis CDM se obtendrán más alternativas e indicadores importantes con los cuales comparar y posteriormente tomar una decisión con mayor rango de rentabilidad y además sustentada con esta información. (Yañez y otros, 2006; Yañez y otros, 2008; Melo, Lara y Jacobo, 2009; Agüero y otros, 2013; Flores, 2017; Santos, 2018)

MATERIALES Y MÉTODOS

Se aplicó un análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad en una línea de producción de jabón líquido, la cual, presenta una caída en su producción de producto terminado y se requiere conocer la viabilidad de la inversión y/o alternativas posibles que promuevan el incremento en la producción (Flores, 2017), ponderando cada escenario para poder sustentar las posibles decisiones a tomar con respecto a dichas alternativas. Permitiendo evaluar distintos escenarios de operación, cuando se incorporan elementos al sistema y determinar su impacto en el desempeño en el sistema ante distintas posibilidades y de esta forma evaluar el impacto de la decisión con respecto a otra y soportando la posible intención de invertir en algunas de las alternativas. Particularmente se evaluarán cambios en los eventos de etiquetado, llenado, taponado y codificado a instalarse en una línea de producción de jabón líquido. Los aspectos específicos para la comprensión y aplicación de la metodología CDM usada en este trabajo se presentan en el trabajo de Flores, (2017).

En primer lugar, el término de confiabilidad usado ampliamente es posible definirlo como, la probabilidad de que un componente, equipo, sistema o proceso (activo) cumpla con una función específica, en un tiempo determinado y bajo un entorno operacional específico (García, 2006; Gómez y otros, 2013; Santos, 2018).

Teniendo en cuenta que se abarcan sistemas, subsistemas, componentes y en general, cualquier elemento que represente a la unidad lógica bajo análisis, la confiabilidad de un equipo es la probabilidad que desempeñe satisfactoriamente la(s) función(es) para la cual fue diseñado, durante el periodo de tiempo especificado y bajo las condiciones de operación dadas (Ebeling, 1997). Por tanto, dicho elemento puede ser un evento caracterizado que ocasiona problemas en el desempeño del sistema.

La confiabilidad, se puede describir mediante la ecuación (1), donde, $h(t)$ es la función de velocidad de incremento del peligro o tasa de fallas, lo cual, describe

el comportamiento del número de fallas de una población por unidad de tiempo.

$$C(t) = e^{-\int(h(t))dt} \quad (1)$$

Para un comportamiento que siga la distribución exponencial, la ecuación (1) puede ser simplificada en la ecuación (2), en la que TPPF representa el Tiempo Promedio Para Fallar t es el tiempo misión y finalmente λ representa la tasa de falla del elemento a evaluar.

$$C(t) = e^{-\lambda t} = \frac{-1}{e^{TPPF}t} \quad (2)$$

Por otro lado, según Toro y Céspedes (2001), la mantenibilidad de un equipo es la probabilidad de que un dispositivo sea devuelto a un estado en el que pueda cumplir su misión en un tiempo dado, luego de la aparición de una falla y cuando el mantenimiento es realizado en un determinado periodo de tiempo, al nivel deseado de confianza, con el personal especificado, las habilidades, necesarias, el equipo indicado, los datos técnicos, manuales de operación y mantenimiento, y bajo las condiciones ambientales especificadas.

El propósito de la ingeniería de mantenibilidad es incrementar la eficiencia, la seguridad, reducir los costos del mantenimiento de los equipos y el riesgo asociado a la operación, cuando el mantenimiento es ejecutado bajo condiciones dadas y usando procedimientos y recursos preestablecidos (Vergara, 2007; Santos, 2018).

La mantenibilidad se puede calcular usando la ecuación (3) y en este caso TPPR representa el Tiempo Promedio Para Reparar.

$$M(t) = e^{-\mu t} = \frac{-1}{e^{TPPR}t} \quad (3)$$

Según Toro y Céspedes (2001), la disponibilidad es la probabilidad de que el equipo esté operando satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo considerando incluye el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo en mantenimiento preventivo (en algunos casos), tiempo administrativo y tiempo logístico.

La disponibilidad es la medida de cuan frecuente las fallas ocurren y el mantenimiento correctivo es requerido, cuan frecuente el mantenimiento preventivo es ejecutado, cuán rápido las fallas indicadas pueden aislarse y repararse, cuán rápido las tareas de mantenimiento preventivo pueden ejecutarse y cuan largo pueden ser los retrasos en los soportes de logística que contribuyen a los tiempos fuera de servicio

(Vergara, 2007). Es decir, la disponibilidad o la indisponibilidad (complemento de la disponibilidad) reflejaran el efecto combinado que tendrá la Confiabilidad y la Mantenibilidad para las tareas de mantenimiento (Santos, 2018).

La ecuación (4) define la disponibilidad de la siguiente manera, en la cual, se tiene TPEF que representa Tiempo Promedio Entre Fallas.

$$A = \frac{TPEF}{TPEF+TPPR} \quad (4)$$

Finalmente, se define el análisis CDM como aquel que permite prever para un período determinado de tiempo la disponibilidad de un sistema de producción, tomando muy en cuenta su configuración, la confiabilidad de sus componentes y las filosofías de operación y mantenimiento (Agüero y otros, 2013). Asimismo, el análisis CDM (RAM) es una metodología para analizar un sistema, vía modelo y es empleado para pronosticar estableciendo un determinado período de tiempo, el valor de producción perdida y la indisponibilidad de un proceso de producción (Santos, 2018). Adicionalmente, considera la configuración del proceso o sistema, la confiabilidad de sus componentes, las fallas y su carácter aleatorio, las políticas de mantenimiento, así como paradas parciales o totales, los recursos disponibles y la orientación o filosofía operacional, es decir el contexto operacional (Parra, 2010).

Sin embargo, el análisis CDM está directamente relacionado con los TPEF (Tiempos Promedio Entre Falla), los TPPR (Tiempos Promedio Para Reparar) y los TPPF (Tiempos Promedio Para la Falla), estos datos son las bases imprescindible y de mucha importancia para la construcción correcta del análisis CDM, si estos datos carecen de veracidad y precisión, el análisis CDM no resultará con información útil para la resolución de los problemas del sistema, ya que, los resultados estarán alejados del problema real y carecerán de sentido para el sistema bajo estudio.

La obtención de los TPEF, los TPPR y los TPPF según Agüero y otros (2013) para todos los diversos componentes que interactúan e influyen en el sistema de producción en estudio, se pueden obtener mediante información proveniente de bases de datos propias, bancos de datos genéricos de la industria y opinión de expertos. Luego de obtener estos datos se hace necesario depurar dicha información y hasta obtener el mejor valor que represente el sistema bajo estudio.

La calidad del análisis del sistema según Yañez y otros (2006) depende del conocimiento de las instalaciones, es decir, del contexto operacional del sistema o procesos

bajo estudio, así como la política de operación, los parámetros de operación y los requerimientos de entrada y salida, además existen otras variables a considerar que robustecen el estudio, retrasos logísticos, disponibilidad de repuesto u otros eventos estocásticos para lograr resultados más precisos. Con esta información es posible realizar un modelo del sistema y sus iteraciones denominado DBC (Diagramas de Bloques de Confiabilidad).

El método de Monte Carlo permite estimar la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de los equipos. El modelo de simulación por Monte Carlo se puede resumir en la completa caracterización probabilística de las variables de entrada, es decir, debe definirse cuál es la distribución de probabilidades que mejor representa cada una de estas variables; entonces, luego de aplicado el modelo de simulación, se puede obtener la distribución completa de la variable de salida, (Melo y otros, 2009). Así, la simulación estocástica es análoga a efectuar las pruebas o corridas, generando resultados que permiten visualizar el desempeño del sistema y las incertidumbres que pueden ocurrir en el contexto operacional bajo estudio, es decir, es un sistema del tipo *que pasa sí...*

Para el análisis CDM es necesario ejecutar múltiples tareas de la metodología CDM interrelacionadas durante cada etapa del proyecto. Según los autores Goel (2004), Yañez y otros (2006), Vergara (2007), Yañez y otros (2008), Melo y otros (2009), Agüero y otros (2013), Flores (2017) y Santos (2018), las tareas principales que involucra la realización de un estudio CDM aplicado a un sistema, se puede establecer como la ejecución de las tres etapas propuestas a continuación.

Etapas I o Comprender, documentar y recopilar los datos de las necesidades de los usuarios y limitaciones

En el presente trabajo se analizó mediante un estudio CDM, la disponibilidad del sistema de producción del ramo manufacturero, en particular una empresa dedicada a la fabricación de jabón líquido. El proceso operativo para la fabricación del producto terminado dentro de la empresa, se divide en cuatro grandes fases: Recepción y almacenamiento de materia prima; Pesado y medición del volumen de la materia prima; Disolución, mezclado y adición del espesante (Proceso de Homogenización, en este paso se controla además el pH de la mezcla); Envasado y almacenamiento.

Los encargados de la empresa informan que la producción ha caído al menos 35% y desconocen estrategias claras y efectivas que permitan elevar la producción del sistema, también, se debe a que en estas

fases se presenta mucha incertidumbre. La principal limitación encontrada en el sistema bajo estudio es la escasa información histórica del sistema, es decir, no existen registros del comportamiento de los diferentes elementos del sistema o la información histórica propia fue insuficiente, sin embargo existen metodologías que permiten la recolección de información a partir de la opinión de los expertos. Un experto es aquella persona de probado conocimiento y experiencia sobre el sistema bajo análisis y por lo tanto la información que maneja es de gran valor para el estudio CDM. Sin embargo dicha información tiene que ser debidamente recolectada y tratada, para que se convierta en una fuente de información muy importante.

Este es el tipo de dato en el cual se centra esta investigación, ya que la empresa manufacturera no poseía registro alguno de mantenimiento. Por lo tanto, se procede a recabar la información pero con la limitante de no tener registro de datos históricos de ningún equipo, por lo tanto se procede a entrevistar al encargado del sistema productivo, el cual proporcionó información valiosa para comprender el funcionamiento del sistema y su comportamiento en el pasado, obteniendo de dicha entrevista la información mínima, probable y máxima de cada elemento del sistema. De esta forma se puede mostrar la Tabla 1 donde se puede apreciar los valores en los tiempos de espera correspondientes a un cada evento presente en el análisis CDM.

Tabla 1. Recopilación de TPPF y TPPR de los eventos relevantes del sistema.

Equipo	C	Opinión de Experto TPPF			Opinión de Experto TPPR		
		B	M	A	B	M	A
Monta Cargas	2	240	530	1020	2,5	8	14
Homogenización	1	40	42	52	8	13	36
Motor Mezclador	1	1120	1460	1950	4	8	24
Bomba diafragma	3	1120	1560	2020	4	8	24
Llenadora	3	18	160	520	0,16	2	12
Tapadora	2	18	160	520	0,16	2	12
Etiquetado	1	3	5	8	0,17	0,34	1
Codificadora	1	1750	1870	2500	8	40	120
Empaquetadora	2	160	480	960	8	24	56
Camión Distribuidor	1	280	480	1120	2	8	24

C: Cantidad.

B: Valor Bajo/Mínimo.

M: Valor Medio

A: Valor Alto/Máximo.

Etapa II o Diseño y comprobación de la arquitectura del modelo

Está relacionada con construcción del modelo y verificación de la arquitectura del modelo tomando muy en cuenta el contexto y la filosofía operacional, de esta forma tomar en consideración todas las características reales del sistema bajo estudio y construir un DBC que represente el sistema bajo estudio lo mejor posible, ya que de esto dependen los resultados y su validez, es decir, que verdaderamente corresponda a la realidad y los distintos escenarios que pueda arrojar la simulación de dicho DBC pertenezcan a una realidad posible y poder confiar en los pronósticos obtenidos, para poder proponer soluciones basadas en esos resultados. Para la correcta construcción del DBD debe siempre recordarse que, para ser elaborado el sistema debe verse desde el punto de vista de confiabilidad y no desde el punto de vista del proceso.

Etapa III o Simulación de escenarios y monitoreo

Se procede a combinar las Etapas I y II para a comenzar con el proceso de simulación para cada uno de los escenarios pre-establecidos, obteniéndose de esta manera el pronóstico del factor de disponibilidad, mantenibilidad, confiabilidad, entre otros resultados, para el periodo de tiempo requerido, los cuales, pueden ser fácilmente comparables entre distintos escenarios propuestos. Con la información proveniente del análisis CDM se puede ir mejorando las acciones a tomar y los recursos para dichas acciones, lo que se convierte en mayores márgenes de rentabilidad y operaciones cada vez más seguras. Igualmente la retroalimentación permite construir una fuerte y solida base de conocimiento, permitiendo desarrollar procedimientos y planes cada vez más confiables y estratégicamente acertadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Etapa I o Comprender, documentar y recopilar los datos de las necesidades de los usuarios y limitaciones

Los valores en la Tabla 1 no discriminan el tipo de evento que ocasiona el tiempo fuera de servicio, por lo tanto, dichos valores incluyen valores de tiempo fuera de servicio indistintamente si se trata de labores por: mantenimiento preventivo o correctivo; retrasos logísticos; políticas administrativas y/o de operaciones, entre otros. Es decir, los datos incluyen intrínsecamente información relevante al comportamiento del sistema bajo estudio, pero deben ser caracterizados de forma probabilística todas las variables de entrada, es decir, debe definirse cuál es la distribución de probabilidades

que mejor representa cada una de estas variables. En este caso se usó la distribución de probabilidades Lognormal, la cual, es usada para variables que muestran valores que tienen un alto sesgo o tendencia (Gómez y otros, 2013). Finalmente se obtienen los valores TPPF de los eventos en el sistema y son presentados en la Tabla 2.

Tabla 2. Datos Recolectados por medio de la opinión de Experto TPPF en forma de distribución Lognormal.

Equipo	Media Logarítmica	Desv. Est. Logarítmica
Monta Cargas	567,06	244,58
Homogenización	43,53	5,11
Motor Mezclador	1487,76	256,09
Bomba diafragma	1563,70	273,64
Llenadora	200,67	168,94
Tapadora	200,67	168,94
Etiquetado	5,19	1,55
Codificadora	1968,17	327,17
Empaquetadora	509,61	247,7
Camión Distribuidor	562,64	300,89

Desv. Est.: Desviación Estándar.

Etapa II o Diseño y comprobación de la arquitectura del modelo

En la construcción de DBD en este caso solo no solo se evaluarán los equipos del sistema, sino también existe un elemento llamado “Homogenización” el cual, no es un equipo, sin embargo, este factor tenía que ser simulado y por lo tanto fue incluido, debido a que representa a un elemento que influye considerablemente en el comportamiento del sistema. Considerando esto, finalmente la arquitectura general del sistema se presenta en la Figura 1.

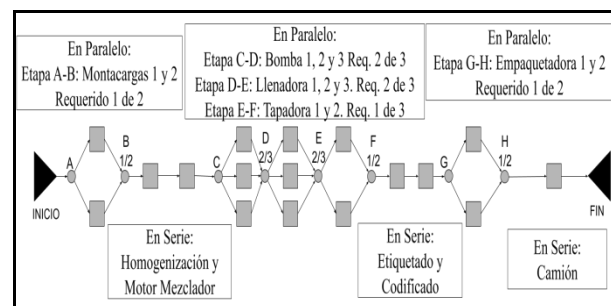


Figura 1. DBC de la Planta Manufacturera bajo estudio.

Luego de desarrollar el DBC del sistema nuevamente se sometió a la revisión y aprobación por parte del equipo de trabajo, el cual, confirmó la similitud entre el modelo y el sistema real bajo los límites previamente establecidos. Se realiza una simulación del sistema para un año de operación (1920 horas) para determinar el comportamiento del sistema en ese lapso de tiempo, obteniendo los siguientes resultados

Disponibilidad: Se espera que para el caso base de 1 año una disponibilidad de 65,27% con una desviación de 2,28E-02.

TPPE: Se espera que el sistema falle cada 4,55 horas.

TPPR: Se espera que el sistema permanezca indisponible durante 2,43 horas.

Fallas del Sistema: Se espera que el sistema falle 276 veces, con un valor optimista de 249 fallas y pesimista de 301 fallas.

Estos valores se corresponden con las experiencias vividas en planta, donde el equipo de trabajo reporta aproximadamente los mismos valores, por tanto se valida el DBD. Ahora se realiza la simulación del sistema para un tiempo misión de 5 años operativo, lo que igual a 9600 horas operando. De esta simulación se obtienen los siguientes resultados para el sistema de producción manufacturera bajo estudio:

Disponibilidad: Se espera que para el tiempo misión de 5 años (9600 horas) una disponibilidad de 64,53% con una desviación de 1,02E-02.

TPPE: Se espera que el sistema falle cada 4,55 horas.

TPPR: Se espera que el sistema permanezca indisponible durante 2,50 horas.

Fallas del Sistema: Se espera que el sistema falle 1360 veces, con un valor optimista de 1314 fallas y pesimista de 1407 fallas.

De igual forma se obtienen los valores detallados de la cantidad de falla para cada elemento que compone el sistema bajo estudio, representados en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados obtenidos para cada evento del sistema para un tiempo de 9600 horas.

Componente	Cantidad de Reparaciones			Desv. Est.
	Mín.	Prom.	Máx.	
Bomba 1	5	5,65	7	0,59
Bomba 2	4	5,60	7	0,68
Bomba 3	5	5,65	6	0,49
Camión	12	16,90	22	2,67
Codificadora	4	4,30	5	0,47
Empaquetadora 1	15	18,30	21	1,81
Empaquetadora 2	13	17,45	21	1,96
Etiquetado	1682	1707,90	1738	15,28
Llenadora 1	36	45,70	52	4,51
Llenadora 2	39	48	57	5,33
Llenadora 3	34	44,80	52	5,48
Monta Carga 1	12	16,50	20	1,70
Monta Carga 2	11	15,85	21	2,58
Motor Mezclador	5	6	7	0,46
Homogenización	157	159,85	163	1,73
Tapadora 1	35	44,6	54	5,73
Tapadora 2	33	47	55	6,04

Desv. Est.: Desviación Estándar.

Min.: Valor Mínimo.

Prom.: Valor Promedio.

Máx.: Valor Máximo.

El primer paso para mejorar el desempeño del sistema consiste en centrar el esfuerzo en los elementos que generan indisponibilidad y mayor cantidad de reparaciones, para desarrollar soluciones que permitan disminuir su influencia en la indisponibilidad del sistema.

Etapa III o Simulación de escenarios y monitoreo

Se incluye un evento en paralelo para estudiar el comportamiento del sistema, dicho evento se ubica en paralelo al bloque de etiquetado y presentará el mismo comportamiento que el original, es decir, es el mismo evento duplicado y colocado en paralelo en el sistema. Realizado dicha modificación se aumentó la disponibilidad 5,29% con respecto al caso base con un tiempo misión de 9600 horas, lo cual implica en un aumento de producción de 5,29% y por ende un aumento en la rentabilidad del negocio de 5,29%, así como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados obtenidos para un tiempo de 9600 horas, con una configuración en paralelo del evento Etiquetado.

Parámetro	Mín.	Prom.	Máx.	Desv. Est.
Disponibilidad	0,67	0,70	0,72	0,01
Tiempo Para la Falla (hr)	30,06	33,05	35,17	1,23
Tiempo Para Reparar (hr)	12,74	14,29	16,49	0,93
Confiabilidad	0,00	0,00	0,00	0,00
Fallas del Sistema	189	203,1	223	8,35

Desv. Est.: Desviación Estándar.

Mín.: Valor Mínimo.

Prom.: Valor Promedio.

Máx.: Valor Máximo.

La anterior cantidad representa el ingreso no percibido debido a la ineficiencia en el proceso de etiquetado, no obstante cabe acotar que la información contenida en el bloque etiquetado contiene intrínsecamente; retrasos logísticos; políticas administrativas y/o de operaciones; entre otros. Particularmente, en este caso, el dato contiene información acerca de micro eventos provocados por las actuales prácticas del proceso. Es decir, el proceso tiene gran intervención manual, tales como; colocación de botellas, colocación de tapas, agrupación de botellas, colocación de etiquetas, colocación de empaquetado, entre otros.

Estos micro eventos son representados por el bloque etiquetado, por lo tanto, con un estudio profundo de dichos micro eventos, se podría mejorar aun más la rentabilidad del sistema, sin embargo, este tipo de estudio necesitaría un registro de información de la mejora implementada (monitoreo de las condiciones), para ajustar cada vez más las mejores prácticas para operar el sistema y disminuir finalmente el impacto en el negocio y elevar la disponibilidad del sistema.

Por lo tanto, siguiendo la metodología desarrollada a lo largo del trabajo, se plantea la inclusión de eventos en distintos puntos del sistema de forma individual, obteniendo la Tabla 5, la cual, muestra distintos elementos comparativos los cuales, podrían ser sustento para alguna posible decisión de inversión en alguna de ellas (Romero, Agüero y Rojas, 2014; Solórzano, 2019).

Tabla 5. Resultados del análisis RAM para distintas configuraciones y alternativas.

Caso	D	F	%M	ΔF	TPPR (hr)	TPPF (hr)
Caso Base	64,53	1360	N/A	N/A	2,50	4,55
Evento en paralelo	69,82	203	5,29	-1158	14,29	33,04
Máquina etiquetadora	75,64	163	11,11	-1197	13,45	40,32
Máquina llenadora	64,53	1395	0	+35	2,58	4,50
Máquina codificadora	70,13	1364	5,6	+4	2,52	4,57
Máquina tapadora	64,58	1393	0,05	+33	2,57	4,56
Máquina de empaquetado	64,54	1374	0,01	+14	2,49	4,54

D: Disponibilidad Esperada.

F: Número estimado de Fallas.

%M: Porcentaje de Mejora.

ΔF: Variación en la cantidad de fallas.

Igualmente se evidencia que los problemas con mayor repercusión son: el proceso de homogenización, por ser el elemento que ejerce mayor influencia en la indisponibilidad del sistema; y el elemento de etiquetado, por ser el que presenta mayor cantidad de fallas. Además ambos elementos representan en el DBC un “Cuello de botella”, ya que, no existe un elemento equivalente para la realización de su función, y por lo tanto, una falla de estos elementos representará irremediamente en la interrupción en la producción del sistema entero.

En el elemento denominado etiquetado intervienen varios factores, el de mayor influencia es el factor humano, el proceso de etiquetado de las botellas es realizado de forma manual, es decir, un operario coloca y adhiere la etiqueta de la botella, para luego devolverla a la línea de producción para su codificación. El problema en este punto es que los elementos anteriores son realizados por maquinas muy rápidamente, por lo que la capacidad del proceso de etiquetado se ve sobresaturado y por lo tanto se debe detener el proceso por acumulación excesiva de botellas sin etiquetar.

En ese mismo orden de ideas el elemento etiquetado es, en sí mismo, un “cuello de botella”, por lo tanto, una solución podría ser integrar al sistema un elemento paralelo que cumpla igualmente la función de etiquetado. Tal como se puede apreciar en la Tabla 5, al realizar modificaciones en la estructura o sustitución del mismo permite un incremento en la disponibilidad/rentabilidad del sistema de 5,29% u 11,11% respectivamente, por tanto el análisis de dichos resultados permitirá disminuir la incertidumbre con relación a dicha inversión.

Asimismo se tiene un aumento del 5,6% si coloca un evento paralelo en la máquina codificadora, en contraste a lo que se podría esperar al aumentar las máquinas llenadoras, aumente la producción, sin embargo esto se ve desmentido con el estudio CDM, demuestra que si se incrementen la cantidad de máquinas llenadoras la disponibilidad/rentabilidad del sistema permanece inmutable. Además esto solo incrementará la cantidad de fallas en el sistema, en consecuencia aumento de la inversión en mantenimiento de los equipos, es decir, disminución de rentabilidad.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos mediante el análisis CDM permiten obtener resultados probables para cada escenario tomando en cuenta diversas variables, como retrasos, filosofía operacional, entre otros, adicionalmente este análisis permite comparar diversas alternativas e igualmente estas alternativas pudieran ser analizadas a mayor profundidad y con mayor detalle. Asimismo, es posible plantear más alternativas y más variables a comparar (impacto ambiental, riesgo, disponibilidad de repuestos, etc), sin embargo, para trabajos posteriores es posible desarrollar un sistema que tome mayor cantidad de variables y/o escenarios, además con elementos más variados de fabricantes específicos en contraposición de las bases de información genéricas.

Los resultados presentados permiten obtener una comparación dependiendo de cada posible alternativa, de una manera más confiable y segura. No obstante, este análisis puede modificarse por el decisor y presentar valores que pudieran ser importantes para este e irrelevantes para otro, es por ello la importancia del contexto operacional y que los encargados de tomar y ejecutar decisiones tengan claro el objetivo de la organización.

Finalmente se evidencia que promover los factores de confiabilidad, mantenimiento, automatización y mantenibilidad en forma combinada, permite hacer avances en forma segura y con bajo riesgo. Asimismo las investigaciones acerca de la gestión de mantenimiento y la toma de decisiones alrededor de los mismos adquieren un gran interés debido a las ventajas que ofrece, tanto que existen trabajos, investigaciones y desarrollos en los cuales se implementan lógica difusa, inteligencia artificial y técnicas de auto detección y diagnóstico, para mejorar los niveles de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, convirtiéndose en herramientas, técnicas y metodologías que mejoran el desempeño de los sistemas productivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÜERO, M.; GÓMEZ, H.; GÓMEZ, B.; GUTIERREZ, E.; LECCESE, M.; MATERÁN, E.; MEDINA, N.; NUCETTE, G.; SEMECO, K.; TREJO, E.; YAÑEZ, M. (2013). *Confiabilidad integral @ sinergia de disciplinas tomo II: Metodologías*. Reliability and Risk Management México S.A de C.V. México.
- EBELING, C. E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. New York, NY, USA. Editorial McGraw -Hill Companies, Inc.
- FLORES, E. (2017). *Aplicación y esquematización de un análisis RAM en un sistema productivo del tipo manufacturero*. (Trabajo Especial de Grado). Universidad Simón Bolívar.
- GARCÍA, G. (2006). *Introducción a la teoría de la confiabilidad y su aplicación en el diseño y mantenimiento de equipos industriales de un proceso de renovación*. Trabajo de Ascenso a la categoría Asociado. Facultad de Minas, Escuela de Ingeniería eléctrica y mecánica. Medellín. Universidad Nacional de Medellín.
- GOEL, H. D. (2004). *Integrating Reliability, Availability and Maintainability (RAM) in Conceptual Process Design. An Optimization Approach*. (Tesis Doctoral). Technische Universiteit Delft.
- GÓMEZ, H.; MEDINA, N.; NUCETTE, G.; SEMECO, K.; YAÑEZ, M. (2013). *Confiabilidad integral @ sinergia de disciplinas tomo I: Disciplinas*. Reliability and Risk Management México S.A de C.V. México.
- MELO, R.; LARA, C.; JACOBO, F. (2009). Estimación de la confiabilidad-disponibilidad-mantenibilidad mediante una simulación tipo Monte Carlo de un sistema de compresión de gas amargo durante la etapa de ingeniería. *Tecnol. Ciencia Ed. (IMIQ)* 24(2): 93-104.
- PARRA, C. (2010). *Modelo Integral para Optimizar la Confiabilidad en instalaciones Petroleras*. Universidad de Sevilla.
- ROMERO, M.; AGÜERO, M.; ROJAS, E. (2014). *Experiencias en el Desarrollo de Análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad (Análisis RAM)*. Reliability and Risk Management México S.A de C.V. México.
- SANTOS, J. (2018). *Estrategia para diagnóstico en mantenibilidad de sistemas productivos/servicios*. Trabajo de Ascenso a la categoría Titular. Departamento de Procesos y Sistemas, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela.
- SANTOS, J. Y STREFEZZA, M. (2015). Una visión en la evolución de las nociones de confiabilidad y mantenimiento en la civilización occidental

desde la antigüedad hasta finales de los años cuarenta del siglo XX. *Universidad, Ciencia y Tecnología*. Vol. 19, N° 76: 138-153.

SOLÓRZANO, G. (2019). Aplicación de un análisis RAM en un sistema de bombeo de agua cruda. *Predictiva 21*. Año 6. N° 27: 89-104.

TORO, J. Y CÉSPEDES, P. (2001). *Metodología para medir confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad en Mantenimiento*. Universidad EAFIT.

VERGARA, E. (2007). *Análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad del sistema de crudo diluido de Petrozuata*. (Trabajo Especial de Grado). Universidad Simón Bolívar.

YAÑEZ, M.; GÓMEZ, H.; AGÜERO, M.; ROJAS, E. (2006). *Redimensionamiento de Instalaciones como aplicación metodológica para la mejora de la confiabilidad y los procesos en la Industria Petrolera*. Reliability and Risk Management, S.A. (R2M, S.A.).

YAÑEZ, M.; SEMECO, K.; MEDINA, N. (2008). *Enfoque Práctico para la Estimación de Confiabilidad de Equipos basados en Datos Genéricos*. Reliability and Risk Management, S.A. (R2M, S.A.).