

EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE LA AUDITORÍA A LA GESTIÓN DE LA CALIDAD EN EL MANTENIMIENTO CON ENFOQUE MULTICRITERIO

Por M. Sc. Ángel Eugenio Infante Haynes*, Ing. Zoilo Bienvenido Suárez Pérez**, M. Sc. Hiovanis Castillo Pantoja*** e Ing. Alexei Leyva Velázquez****

Universidad de Holguín, Holguín, Cuba.

* E-mail: ehaynes@uho.edu.cu; ainfantehaynes@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6462-5339>

** E-mail: zsuarezp@uho.edu.cu

<https://orcid.org/0000-0002-4196-0513>

*** E-mail: sotosilva@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0091-0904>

**** (Autor independiente)

Resumen

El objetivo de la investigación es mostrar una metodología para cuantificar los resultados que permiten identificar las principales deficiencias de la gestión del mantenimiento con la aplicación de la modelación matemática multicriterio Análisis Jerárquico de Procesos (AHP). Hasta el presente, la auditoría de calidad y el modelo matemático solo evalúan como salidas los requisitos declarados del sistema y sus correspondientes hallazgos y las no conformidades.

Las bases de datos fueron obtenidas en las propias instalaciones mediante entrevistas, revisión de documentos y observación de los procesos por los expertos. Se realizó el proceso de ponderación matemática, que aporta la evaluación de resultados cuantitativos de la actuación y desempeño de las áreas clave con la gestión del sistema, con el propósito de mejorar y redireccionar los recursos humanos, materiales y financieros en la toma de decisiones de la dirección de la Unidad Empresarial de Base Producciones Especiales de la Empresa Cárnica de Holguín.

Palabras clave: gestión, auditorías al mantenimiento, método multicriterio.

AUDIT AND EVALUATION OF QUALITY MANAGEMENT IN MAINTENANCE WITH A MULTICRITERIA APPROACH

Abstract

The aim of the research is to show a methodology to quantify the results that allow the identification of the main deficiencies in maintenance management with the application of the multi-criteria mathematical modelling Hierarchical Process Analysis (AHP). So far, the quality audit and the mathematical model only evaluate as outputs the declared system requirements and their corresponding findings and non-conformities. The databases were obtained on site through interviews, document review and observation of the processes by the experts. The mathematical weighting process was carried out, which gives the evaluation of quantitative results of the performance of the key areas with the management of the system, with the purpose of improving and redirecting the human, material and financial resources in the decision making of the management of the UEB Special Productions of the Meat Company of Holguín.

Keywords: management, maintenance audits, multi-criteria method.

I. Introducción

El mantenimiento en la Industria 4.0 surge en Alemania durante el 2011, cuando el gobierno y el sector empresarial, encabezado por Basco (2018), conforman un grupo de investigación para encontrar un marco común que permitiera la aplicación de las nuevas tecnologías, entregando su primer informe en 2012, que luego fue presentado en público durante la Feria de Hannover en 2013. Así inicia el paradigma de lo que hoy se conoce como la Cuarta Revolución Industrial (Candanedo *et al.*, 2018).

En la industria, se estima que la identificación temprana y la solución de problemas antes de que ocurran pueden ahorrar 40 % en costes de mantenimiento (Zhang *et al.*, 2019). La Industria 4.0 se refiere a un nuevo modelo de organización y de control de la cadena de producción, permitiendo incrementar el ciclo de vida del motor o de la máquina, apoyado por las nuevas tecnologías de la información.

Entre los aspectos principales para apostar por la industria 4.0 encontramos la reducción, hasta 50 %, del tiempo dedicado al mantenimiento, la aplicación de técnicas sofisticadas en el monitoreo y el uso de sensores como método para controlar los equipos e incrementar la rentabilidad a corto plazo.

La aplicación de este tipo de mantenimiento permite a las empresas procesos más eficientes, incrementar el valor agregado de sus productos y servicios, y mayor competencia nacional e internacional (Dueñas *et al.*, 2021).

La auditoría en procesos de gestión en una organización se reconoce hoy como una parte indispensable de las buenas prácticas del gobierno corporativo en función de sus objetivos. Se comprobó que los trabajos se realizarán en el tiempo planificado, con la calidad requerida y uso adecuado de los recursos materiales, humanos, financieros y tecnológicos asignados acorde a las actividades programadas. De igual forma se verificó la operación de equipos e instalaciones bajo una gestión segura y ambientalmente aceptable con la máxima eficiencia, eficacia y funcionalidad.

Surge entonces la necesidad de un procedimiento de auditoría para la evaluación cuantitativa de la calidad del mantenimiento, puesto que los criterios tomados en cuenta para esa actividad son insuficientes, verificándose solamente las listas de chequeo de los equipos y aplicándose solo tres indicadores: eficiencia del taller, porcentaje de órdenes rechazadas y satisfacción del cliente; además se desconocen por la entidad las herramientas para evaluar la gestión del mantenimiento.

Es objetivo del estudio el diseño y realización de una auditoría a la gestión del mantenimiento mediante un procedimiento con enfoque multicriterio para la toma de decisión y manejo eficiente de los recursos humanos, materiales y financieros en la UEB Producciones Especiales de la Empresa Cárnica de Holguín.

II. Materiales y métodos

Mediante revisión en la investigación de los fundamentos teóricos del proceso de auditoría tanto internas como externas a los sistemas de mantenimiento, se seleccionó el procedimiento de Acosta (2011), profesor del Centro de Estudios de Ingeniería del Mantenimiento de la Universidad Tecnológica de La Habana (Cujae), con la modificación de la introducción de métodos matemáticos multicriterio, primero la utilización de

la media geométrica propuesta por Saaty (1986), para unificar los criterios y luego el Análisis Jerárquico de Procesos, para la evaluación de las dimensiones, según el juicio de expertos. El procedimiento propuesto está compuesto de varias etapas de trabajo, como se muestra a continuación:

1. Estudio y familiarización de la organización objeto de estudio.
2. Organización del trabajo.
3. Obtención de la información.
4. Evaluación cuantitativa y cualitativa.
5. Introducción de los métodos matemáticos multicriterios (AHP) para la nueva propuesta en las áreas funcionales.
6. Análisis de resultados.
7. Informe final y recomendaciones.

Descripción de las etapas de trabajo del proceso de la auditoría:

1. Estudio y familiarización: Constituye el trabajo de terreno que permitirá a los inspectores conocer in situ la instalación y su situación real, recopilando los conocimientos que modelarán el cuestionario valorativo y las encuestas a realizar, así como trazar la estrategia y dirección de las acciones.

2. Organización del trabajo: Proceso de planificación donde se elabora un Plan de Trabajo y un Cronograma de Ejecución, los cuales se analizan con el gerente de la organización o su representante, y una vez aprobados, son de estricto cumplimiento por todas las partes.

3. Obtención de información: Consiste en desarrollar, a través de la técnica de recolección de información, las entrevistas personales, encuestas, comprobaciones, observaciones y revisión de documentos (planes de trabajo, Plan de Mantenimiento Preventivo, Plan de reparaciones, Análisis de costos, etc.). Esta etapa brindará la información necesaria para evaluar el estado de la gestión del mantenimiento en la instalación.

4. Evaluación cuantitativa y cualitativa: Una vez, debidamente organizada y clasificada la información obtenida producto de las encuestas, entrevistas, observaciones y revisión de documentos, el equipo controlador procederá a evaluar el trabajo, tanto cuantitativa como cualitativamente.

5. Introducción de métodos matemáticos multicriterio AHP: Se utilizarán los métodos matemáticos para la nueva ponderación de cada área funcional, siendo esta una nueva meta, estableciéndose un nivel de comparación con la meta o patrón evaluado en las dos corridas.

6. Análisis de resultados: Con los resultados obtenidos en la evaluación de los problemas que presenta la organización, se analiza el estado de la gestión del mantenimiento. Se establecen comparaciones con patrones estandarizados de sectores líderes, normativas tanto nacionales como internacionales y si procediera, con la propia organización en etapas anteriores u otras evaluaciones similares.

7. Informe final y recomendaciones: El informe indica, con expresión numérica, las áreas que requieren mayor atención, en las que se agrupan los puntos débiles y se apuntan las acciones correctivas, de manera que sirvan de ayuda a los

directivos de la organización para establecer sus objetivos y las oportunidades de mejora.

Evaluación cuantitativa

Esta impone hacer un alto para escrutar en lo más profundo, de tal manera que permita identificar las deficiencias que frenan el desarrollo de la actividad. Para convertir estas debilidades en oportunidades de mejora, primero hay que estar convencido de ellas y no hay mejor instrumento que una evaluación cuantitativa en que la causalidad es un concepto objetivo y la casualidad no funciona como argumento holístico.

Modelo matemático propuesto

Para la evaluación cuantitativa, en la Tabla 1 se muestra una propuesta de modelo que facilita la operación de cálculo. En la columna A se ponderan sobre 100 la importancia y repercusión relativas de cada área respecto al total de la gestión del mantenimiento, como se muestra en las ecuaciones 1 y 2.

$$D = \frac{B \times C}{10} \dots\dots\dots(1)$$

$$E = \frac{A \times D}{100} \dots\dots\dots(2)$$

Ponderación de las funciones

En la columna B de la Tabla 1 se ponderan sobre 100 las funciones dentro de cada área según su importancia y repercusión relativas.

Tratamiento de datos

A continuación se operan los datos de las columnas A, B y C en las columnas D y E según se indica en los respectivos encabezamientos de cada columna de la Tabla 1. Para su cálculo se utilizan las funciones 1 y 2 respectivamente, los resultados se presentan en la Tabla 2. Los valores de la columna C se obtienen calculando el porcentaje de cumplimiento de los componentes de cada función, para ello se tiene en cuenta la calificación obtenida y el patrón propuesto. Por ejemplo, un área de actuación que tenga cuatro componentes y en cada uno de ellos se pueden obtener cómo máximo 5 puntos, significa que 100 % es 20, si la calificación real suma 18 puntos, entonces se calcula el porcentaje de cumplimiento que sería 85 %; como la columna C presenta una escala de uno a diez, donde 1 es pésimo y 10 es excelente, entonces el porcentaje obtenido se divide entre diez y ese es el valor que se coloca en la columna C.

Tabla 1. Ponderación de las funciones de cada área de actuación y sus funciones (Fabres, 1991)

A	Áreas de Actuación	B	C										D	E
25	Organización general	100	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
	Política	20												
	Informática	10												
	Reportes	40												
	Almacenes	30												

Con las valoraciones obtenidas para cada área en la columna D y del total final de la columna E de la Tabla 1 se tiene una medición en expresiones numéricas del resultado de la auditoría. Estas calificaciones constituyen un análisis espectral y pueden servir tanto para identificar áreas y funciones de mejora, como para comparar resultados con sucesivas auditorías.

En la Tabla 2 se muestra un ejemplo de cómo se refleja el resultado de cada área de actuación en el informe final, y en la Figura 1 se muestra tal como se refleja el resultado graficado de cada área de actuación.

Tabla 2. Ejemplo de resultado de un área de actuación después de la evaluación

Valor del área (A)	Área de actuación/Funciones	% Ponderaciones (B)	Calificación de cada función	% Calificación Áreas D=B*C/10	% Calificación Mantenimiento E=A*D/100
9	Organización general del mantenimiento	100	-	-	6,38
	Política general	15	9	13,50	Bien
	Medios informáticos	36	4	14,40	Mal
	Informes y reportes	15	6	9,00	Regular
	Almacenes	34	10	34,00	Excelente

Definición de las áreas de actuación, sus funciones y sus respectivos pesos

Acosta (2011) encontró más apropiado para la definición de los pesos, el método Delphi, que consiste en la selección de un grupo de expertos a los que se les pregunta su opinión sobre cuestiones referidas a aspectos de su competencia. Las estimaciones de los expertos se realizan en rondas anónimas con el objeto de tratar de conseguir consenso, pero con la máxima autonomía por parte de los participantes. Posteriormente se presenta de manera clara una descripción de cada una de las áreas de actuación que integran la función mantenimiento y las funciones asociadas a cada una de ellas. Estas son: Organización general, Recursos humanos, Control económico, Planificación y control e Ingeniería del mantenimiento.

Una vez concluida esta fase, se introducen los métodos matemáticos multicriterios para la nueva evaluación lingüística, convocando nuevamente a los expertos, por lo que se utilizó el método Análisis Jerárquico de Procesos (AHP), con el objetivo de encontrar nuevas ponderaciones y comparar con lo propuesto (Acosta, 2011).

A continuación (Tabla 3) se presenta la descripción de cada una de las áreas de actuación que integran la función mantenimiento y las funciones asociadas a ellas. Una vez concluida, se introdujeron los métodos matemáticos multicriterios para la evaluación, convocando nuevamente a

los expertos, utilizándose nuevamente el método AHP, con el propósito de reunir nuevas ponderaciones y comparar (Acosta, 2011).

Tabla 3. Áreas de actuación o dimensiones, con sus diferentes funciones para la gestión del mantenimiento

VARIABLES	ÁREAS DE ACTUACIÓN	FUNCIONES
D1	Organización general	<ul style="list-style-type: none"> Política Informática Informes Almacenes
D2	Recursos humanos	<ul style="list-style-type: none"> Capacitación Entrenamiento Estimulación
D3	Control económico	<ul style="list-style-type: none"> Costos Indicadores económicos Presupuesto Plan económico
D4	Planificación, programación y control	<ul style="list-style-type: none"> Planificación Programación Control Órdenes de trabajo Tercerización
D5	Ingeniería del mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> Mantenimiento preventivo Tecnologías Documentación Calidad Medioambiente Seguridad

La jerarquía Saaty como modelo (Figura 1) quedaría de la forma siguiente:

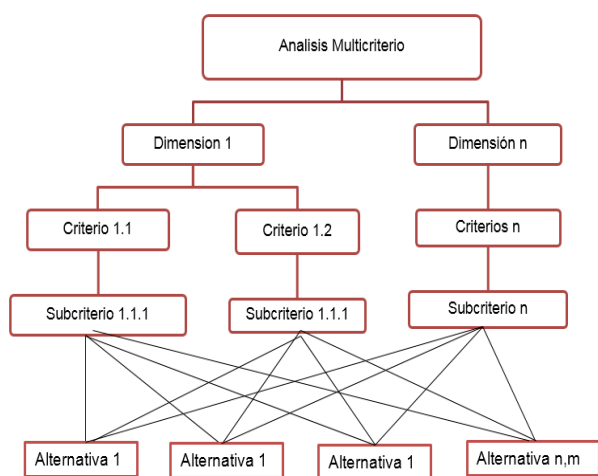


Fig. 1. Jerarquía propuesta por Saaty (2006).

En la evaluación de cada dimensión en busca del peso o ponderación para evaluar cada alternativa, donde se aplicó

la escala Saaty (Tabla 4) obtenemos los resultados expuestos en la Tabla 5.

Tabla 4. Escala Saaty (2006)

Wi/Wj	DEFINICIÓN	EXPLICACIÓN
1	Igual	Ambos criterios se consideran <i>igualmente importantes</i>
3	Moderada	El criterio i <i>es ligeramente más importante</i> que el criterio j
5	Fuerte	El criterio i <i>es fuertemente más importante</i> que el criterio j
7	Muy fuerte o demostrada	El criterio i <i>es mucho más importante</i> que el criterio j
9	Extrema	El criterio i <i>es incuestionablemente más importante</i> que el criterio j
2,4,6,8	Valores intermedios	Valores intermedios

Posteriormente se desarrollan las siguientes etapas del método:

1. La evaluación de cada dimensión en busca del peso o ponderación para evaluar cada alternativa, donde se aplicó la escala Saaty con las categorías de Igual, Moderada, Fuerte, Muy fuerte o demostrada y Extrema (Escala Saaty 2007). (Ver Figura 1).
2. Se define previamente el Índice de Consistencia, $IC = (\lambda_{max} - n) / (n-1)$ y la Relación de Consistencia, $RC = IC / RI$; donde RI es un promedio de los índices de consistencia de una gran muestra de matrices cuyas entradas se escogen de forma aleatoria.

La experiencia de Saaty y Vargas (2006) y Saaty (2005) sugiere que la Relación de Consistencia debe ser menor a 0,1 para que los resultados sean confiables, así como la evaluación pareada de cada dimensión (Tabla 5).

Tabla 5. Evaluación pareada de cada dimensión o criterio según escala Saaty

Dimensiones	Metas	D1	D2	D3	D4	D5
D1	Organización general del mantenimiento	18	1	D12	D13	D14
D2	Recursos humanos	9	1/D	1	D23	D24
D3	Control económico	13	1/D	1/D	1	D34
D4	Planificación, programación y control	28	1/D	1/D	1/D	1
D5	Ingeniería del mantenimiento	32	1/D	1/D	1/D	1

III. Resultados y discusión

Se enuncian los resultados finales de cada una de las áreas de estudios y el consolidado de todas las entidades de las empresas. Siguiendo el algoritmo del procedimiento, se consolidó el instrumento realizado y la encuesta, para ello se utilizó la media geométrica, antes propuesta por Saaty (1986).

Esta técnica es mucho más eficiente que utilizar la media o el promedio, se introducen los resultados de la media geométrica en la columna C, consolidándose el resultado final de las áreas seleccionadas para las cinco dimensiones solicitadas y las áreas de actuación de cada dimensión. En la Tabla 6, se muestra la puntuación obtenida por cada una de las alternativas de acuerdo a cada dimensión; estos datos cuantitativos servirán para la evaluación pareada en la aplicación del método AHP.

Tabla 6. Datos cuantitativos de las alternativas en dependencia de las dimensiones

Dimensiones	Metas	Áreas objeto de auditorías		
		Empacadora	Comercializadora	Orestes Acosta
Organización general del mantenimiento	18	16,75	17,4	12,77
Recursos humanos	9	7,98	8,64	6,88
Control económico	13	12,84	12,63	11,11
Planificación, programación y control	28	25,69	27,02	21,87
Ingeniería del mantenimiento	32	28,36	30,51	24,06

A partir de este proceso de la valoración de los datos se procede a aplicar la selección multicriterios según el «Método Análisis Jerárquico de Procesos», teniendo en cuenta que existen tres alternativas con múltiples criterios: Área de Empacadora, Área de Comercialización y el Área de Producción Orestes Acosta. Las dimensiones a tener en cuenta para su evaluación fueron las siguientes:

1. Organización general del mantenimiento
2. Recursos humanos
3. Control económico
4. Planificación, programación y control
5. Ingeniería del mantenimiento

Siguiendo el proceso, en la Tabla 7, se puede apreciar la ponderación dada por los expertos de cada dimensión, todo ello comparado con la media. El objetivo es encontrar la mejor combinación en la evaluación, que garantice un índice de consistencia menor que 0,10; de esta forma encontraremos los pesos de cada elemento, que será comparado con la meta o patrón antes elegido. Esta nueva meta será propuesta para estudios posteriores en este procedimiento, debido a que supera el alcance antes declarado.

Tabla 7. Evaluación pareada de las dimensiones para la nueva meta

Dimensiones	Metas	D1	D2	D3	D4	D5
D1 Organización general del mantenimiento	18	1	1/5	1/3	3	1/7
D2 Recursos humanos	9	5	1	2	3	1/3
D3 Control económico	13	3	1/2	1	3	1/3
D4 Planificación, programación y control	28	1/3	1/3	1/3	1	1/5
D5 Ingeniería del mantenimiento	32	7	3	3	5	1

En la Tabla 8 se muestra cómo la evaluación dada es introducida al Mini-Expert choice para buscar cuál de las evaluaciones dadas por los expertos tiene un menor Índice de Consistencia, menor que 0,10; de igual forma, mediante el uso de la media geométrica también es posible encontrar un valor próximo, no al promedio, sino al óptimo para ser introducido al software.

Tabla 8. Mini-Expert choice para la introducción de los datos

EVALUACIÓN DE LAS DIMENSIONES					
MATRIZ DE COMPARACIÓN PAREADA					
	D1	D2	D3	D4	D5
D1	1	1/5	1/3	3	1/7
D2	5	1	2	3	1/3
D3	3	1/2	1	3	1/3
D4	1/3	1/3	1/3	1	1/5
D5	7	3	3	5	1

En la Tabla 9 se puede observar el valor de los datos normalizados por la suma.

Tabla 9. Normalización de los datos

	16,333	5,0333	6,6667	13,0000	2,1429
	Cw (normalizado)				
1	0,06122449	0,039735099	0,05	0,230769231	0,066666667
2	0,306122449	0,198675497	0,03	0,230769231	0,155555556
3	0,183673469	0,099337748	0,15	0,230769231	0,155555556
4	0,020408163	0,066225166	0,05	0,076923077	0,155555556
5	0,428571429	0,59602649	0,45	0,2300769231	0,466666667

Como se puede apreciar en las tablas 10 y 11, luego de encontrar los pesos de cada dimensión, se pudo garantizar el nivel de consistencia en los juicios de los expertos, dado que su resultado fue de 10 %, es decir, menor o igual a 0,10.

Tabla 10. Evaluación de la consistencia de los expertos

	AHP	Análisis de consistencia
1	0,084	8,4 %
2	0,234	23,4 %
3	0,160	16,0 %
4	0,061	6,1 %
5	0,461	46,1 %

Análisis de resultados 10 %

Tabla 11. Resultado de cada elemento para la consistencia

AHP-1	CA	LAMBDA	CI	CI/RI
0,084	1,378695	5,457453059	0,11436326	0,102110058
0,234	1,178479	RANDOMNESS INDEX, RI		
0,160	1,065184	3	0,58	1,12
0,061	0,908478	4	0,9	
0,461	0,926616	5	1,12	

Tomando como referencia nuevamente los resultados obtenidos en la evaluación de cada encuesta (Tabla 12) se debe destacar que la dimensión Organización disminuye en la nueva evaluación en diez unidades; para los expertos tiene mucha importancia el hombre, quien finalmente se encarga de la producción estando en el centro- de los procesos. Aumenta igualmente el Control económico; sin economía certificada no existe credibilidad en los resultados de la producción. Disminuye la Planificación y la programación; sin embargo, se le concede gran importancia igualmente a la Ingeniería del mantenimiento.

Tabla 12. Propuesta de nueva meta para nuevos análisis

Dimensiones	Meta	Meta nueva	Empacadora	Comercializadora	Orestes Acosta
Organización general del mantenimiento	18	8,4	16,75	17,4	12,77
Recursos humanos	9	23,4	7,98	8,64	6,88
Control económico	13	16	12,84	12,63	11,11
Planificación, programación y control	28	6,1	25,69	27,02	21,87
Ingeniería del mantenimiento	32	46,1	28,36	30,51	24,06

Para concluir con el método, se evaluaron las alternativas respecto a cada criterio y obtenemos los datos siguientes, primero para la dimensión Organización general del mantenimiento, tablas 13 y 14.

Tabla 13. Evaluación pareada de las dimensiones respecto a cada criterio

Organización general del mantenimiento				
Áreas	Alternativas	A1	A2	A3
A1	Empacadora	1	1/3	5
A2	Comercializadora	3	1	5
A3	Producción Orestes Acosta	1/5	1/5	1

Tabla 14. Introducción en el Mini-Expert choice

ORGANIZACIÓN GENERAL			
MATRIZ DE COMPARACIÓN PAREADA			
	A1	A2	A3
A1	1	1/3	5
A2	3	1	5
A3	1/5	1/5	1

Al introducir los datos a la herramienta informática se obtuvieron los resultados siguientes (tablas 15, 16 y 17) con un nivel de consistencia de 0,16, bien cercano al ideal 0,10.

Tabla 15. Normalización del dato

	4,2000	1,5333	11,0000
	CW (normalizado)		
1	0,238095238	0,217391304	0,4545455
2	0,714285771	0,652173913	0,4545455
3	0,047619048	0,130434783	0,0909090

Tabla 16. Valores de cada elemento y los pesos resultantes

AHP-1	CA	LAMBDA	CI	CI/RI
0,303	1,274045	3,19097814	0,09548905	0,164636297
0,607	1,178479	RANDOMNESS INDEX, RI		
0,090	1,065184	3	0,58	0,58

Tabla 17. Resultado de los pesos o ponderación de cada alternativa

	AHP	Análisis de consistencia
1	0,303	30,3 %
2	0,607	60,7 %
3	0,090	9,0 %

Análisis de resultados 16 %

Para la dimensión Recursos humanos (Tabla 18) se realizó la evaluación pareada de las dimensiones respecto al criterio Recursos Humanos.

Tabla 18. Evaluación pareada de las dimensiones respecto al criterio Recursos Humanos

Recursos Humanos				
Áreas	Alternativas	A1	A2	A3
A1	Empacadora	1	1/5	3
A2	Comercializadora	5	1	5
A3	Producción Orestes Acosta	1/3	1/5	1

Al introducir los datos a la herramienta informática se obtuvieron los resultados siguientes (tablas 19, 20, 21 y 22).

Tabla 19. Introducción del dato al Mini-Expert choice

RECURSOS HUMANOS			
MATRIZ DE COMPARACIÓN PAREADA			
	A1	A2	A3
A1	1	1/3	3
A2	5	1	5
A3	1/3	1/5	1

Tabla 20. Coeficiente para el cálculo de la consistencia

AHP-1	CA	LAMBDA	CI	CI/RI
0,211	1,338624	3,129437483	0,10971874	0,189170244
0,686	0,961014	RANDOMNESS INDEX, RI		
0,102	0,919799	3	0,58	0,58

Tabla 21. Normalización del dato

	6,3333	1,4000	9,0000
CW (normalizado)			
1	0,157894737	0,142857143	0,3333333
2	0,789473684	0,714285714	0,5555556
3	0,052631579	0,142857143	0,1111111

Tabla 22. Resultado final y análisis de consistencia

	AHP	Análisis de consistencia
1	0,211	21,1 %
2	0,686	68,6 %
3	0,102	10,2 %
		Análisis de resultados 19 %

Luego de encontrar los pesos de las dimensiones respecto al criterio Recursos humanos, podemos apreciar cómo su consistencia respecto a lo que se declara es de 0,19, cercano a lo óptimo que es 0,10. Para la dimensión Control económico, Tabla 23.

Tabla 23. Análisis de la consistencia por los expertos

Control económico				
Áreas	Alternativas	A1	A2	A3
A1	Empacadora	1	1/7	1/5
A2	Comercializadora	7	1	5
A3	Producción Orestes Acosta	5	1/5	1

Al introducir los datos en la herramienta informática se obtuvieron los resultados siguientes (tablas 24, 25, 26 y 27). En la evaluación de las alternativas respecto al criterio Control económico, se llegó a los pesos de cada alternativa, aunque su nivel de consistencia aumentó desfavorablemente.

Tabla 24. Introducción del dato al Mini-Expert choice

CONTROL ECONÓMICO			
MATRIZ DE COMPARACIÓN PAREADA			
	A1	A2	A3
A1	1	1/7	1/5
A2	7	1	5
A3	5	1/5	1

Tabla 25. Normalización del dato

	13.0000	1.3429	6.2000
CW (normalizado)			
1	0,076923077	0,106382979	0,03225806
2	0,538461538	0,744680851	0,80645161
3	0,384615385	0,14893617	0,16129032

Tabla 26. Coeficiente para el cálculo de la consistencia

AHP-1	CA	LAMBDA	CI	CI/RI
0,072	0,934111	3,30545981	0,15272991	0,263327424
0,697	0,935342	RANDOMNESS INDEX, RI		
0,232	1,436007	3	0,58	0,58

Tabla 27. Resultado final y análisis de consistencia

	AHP	Análisis de consistencia
1	0,072	7,2 %
2	0,697	69,7 %
3	0,232	23,2 %
		Análisis de resultados 26 %

Para la dimensión Planificación, programación y control, Tabla 28.

Tabla 28. Análisis de la consistencia por los expertos

Planificación, programación y control				
Áreas	Alternativas	A1	A2	A3
A1	Empacadora	1	1/5	3
A2	Comercializadora	5	1	5
A3	Producción Orestes Acosta	1/3	1/5	1

Al introducir los datos a la herramienta informática se obtuvieron los resultados siguientes (tablas 29, 30, 31 y 32).

Tabla 29. Introducción del dato al Mini-Expert choice

PLANIFICACIÓN Y CONTROL			
MATRIZ DE COMPARACIÓN PAREADA			
	A1	A2	A3
A1	1	1/5	3
A2	5	1	5
A3	1/3	1/5	1

Tabla 30. Normalización del dato

	6,3333	1,4000	9,0000
CW (normalizado)			
1	0,157894737	0,142857143	0,333333333
2	0,789473684	0,714285714	0,555555556
3	0,052631579	0,142857143	0,111111111

Tabla 31. Coeficiente para el cálculo de la consistencia

AHP-1	CA	LAMBDA	CI	CI/RI
0,211	1,338624	3,21943748	0,10971874	0,189170244
0,686	0,961014	RANDOMNESS INDEX, RI		
0,102	0,919799	3	0,58	0,58

Tabla 32. Resultado final y análisis de consistencia

	AHP		Análisis de consistencia
1	0,211	21,1 %	Análisis de resultados 19 %
2	0,686	68,6 %	
3	0,102	10,2 %	

Para la dimensión Ingeniería del mantenimiento, Tabla 33.

Tabla 33. Análisis de la consistencia por los expertos

Ingeniería de mantenimiento				
Áreas	Alternativas	A1	A2	A3
A1	Empacadora	1	1/5	5
A2	Comercializadora	5	1	7
A3	Producción Orestes Acosta	1/5	1/7	1

Al introducir los datos a la herramienta informática se obtuvieron los resultados siguientes (tablas 34, 35, 36 y 37).

Tabla 34. Introducción del dato al Mini-Expert choice

INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO			
MATRIZ DE COMPARACIÓN PAREADA			
	A1	A2	A3
A1	1	1/5	5
A2	5	1	7
A3	1/5	1/5	1

Tabla 35. Normalización del dato

	6,2000	1,3427	13,0000
CW (normalizado)			
1	0,161290323	0,14893617	0,384615385
2	0,806451613	0,744680851	0,538461538
3	0,032258065	0,106382979	0,076923077

Tabla 36. Coeficiente para el cálculo de la consistencia

AHP-1	CA	LAMBDA	CI	CI/RI
0,232	1,436007	3,305459811	0,15272991	0,263327424
0,697	0,935342	RANDOMNESS INDEX, RI		
0,072	0,934111	3	0,58	0,58

Tabla 37. Resultado final y análisis de consistencia

	AHP		Análisis de consistencia
1	0,232	23,2 %	Análisis de resultados 26 %
2	0,697	69,7 %	
3	0,072	7,2 %	

En resumen, para evaluar el método se analizaron las alternativas en las tres áreas. Respecto a cada criterio obtenemos los datos para la dimensión y la consistencia en la gestión del sistema de mantenimiento, dando resultados que juegan un papel preponderante en todas las actividades ligadas al desempeño del capital humano como se muestra a continuación:

- Organización general del mantenimiento, que da un nivel de consistencia de la gestión de 0,16.
- De los Recursos humanos con nivel de consistencia de la gestión de 0,18.
- De la Planificación, programación y control con nivel de consistencia de la gestión, de 0,19.

Con la aplicación del método AHP, se estableció claramente la consistencia numérica en el proceso de gestión del sistema de mantenimiento, los índices de consistencia de las dimensiones, áreas de actuación y sus funciones declaradas.

IV. Conclusiones

El método propuesto, ejecutado y probado en la Empresa Cárnica de Holguín, contribuye al proceso de calidad y

fiabilidad de las auditorías de los sistemas de gestión del mantenimiento por la cuantificación de los resultados. Se estandarizó su aplicación también en otras organizaciones a partir del aporte de la transversalidad administrativa, lo cual promovió la innovación organizacional en los sistemas de gestión empresarial y gobierno corporativo.

Se validó el diseño y la aplicación del procedimiento con enfoque multicriterio que permitiera la toma de decisión para ejecutar una auditoría y evaluación de la gestión de la calidad del mantenimiento. El mismo expuso el estado de la gestión y sus fortalezas y debilidades en las áreas auditadas, calificando de mejor resultado por el comportamiento en sus dimensiones en la gestión de mantenimiento al área Comercializadora, seguida de Empacadora y Producciones Oreste Acosta.

V. Referencias bibliográficas

- Acosta Palmer, H. R., y Troncoso Fleitas, M. (2011). Auditoría integral de mantenimiento en instalaciones hospitalarias, un análisis objetivo. *Ingeniería Mecánica*, volumen 14, 107-118.
- Basco, A. I., Beliz, G., Coatz, D., y Garnero, P. (2018). *Industria 4.0: fabricando el futuro*. Inter-American Development Bank, 647.
- Candanedo, I. S., González, S. R., y Muñoz, L. (2018). Diseño de un modelo predictivo en el contexto Industria 4.0. *KnE Engineering*, 543-551.
- Dueñas Ramírez, L. M., Villegas López, G. A., Castiblanco Tique, S., y Castaño Restrepo, C. A. (2021). Casos de éxito en la implementación del mantenimiento predictivo mediante el uso de tecnologías de la industria 4.0 en empresas colombianas.
- Fabres Díaz, J. L. (1991). Auditoría de gestión de mantenimiento. *Revista Mantenimiento volumen 6*.
- Saaty, T. L. (1986). Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Management Science*, volumen 32, 841-855.
- Saaty, T. L. (2005). Theory and applications of the analytic network process: decision making with benefits, opportunities, costs, and risks. *RWS publications*.
- Saaty, T. L., Vargas, L. G. (2006). Decision making with the analytic network process *Springer*, 282.
- Saaty, T. L. (2007). Theory and applications of the analytic network process: decision making with benefits, opportunities, costs, and risks. *RWS publications*.
- Zhang, S., Zhou, E., Pi, B., Sun, J., Yamashita, K., y Nomura, Y. (2019). A solution for the risk of non-deterministic transactions in hyperledger fabric. *Paper presented at the 2019 IEEE International Conference on Blockchain and Cryptocurrency (ICBC)*.

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores: Ángel Eugenio Infante Haynes, conceptualización, curación de datos, investigación y supervisión; Zoilo Bienvenido Suárez Pérez, análisis formal, supervisión y redacción-borrador original; Hiovanis Castillo Pantoja, curación de datos, análisis formal e investigación; y Alexei Leyva Velázquez, redacción-revisión, edición.

Recibido: 6 de agosto de 2022

Aceptado: 27 de agosto de 2022