

MANTENIMIENTO PREVENTIVO: ASIGNACIÓN GRUPAL DE PRIORIDADES CON METODOLOGÍA PROCESOS DRV

PREVENTIVE MAINTENANCE: GROUP ASSIGNMENT OF PRIORITIES WITH METHODOLOGY PROCESS DRV

Magdalena Dimitroff^{1,*}, Daniel Pontelli², José Francisco Zanazzi^{1,2}, José Conforte²,
José Luis Zanazzi^{1,2}

RESUMEN

El trabajo presenta una aplicación de toma de decisiones en equipo orientada a la elaboración de un referencial que permita establecer prioridades en tareas de mantenimiento preventivo. El método aplicado se denomina Procesos DRV. Esta aproximación combina procedimientos de Apoyo Multicriterio a la Decisión y de Probabilidad y Estadística. Entre sus ventajas se encuentra la posibilidad de reducir el ruido que afecta a la información en problemas de decisión grupal, además de arribar a una decisión consensuada. En general, el método utilizado, permite mejorar el nivel de conocimiento compartido y contribuye a evitar conflictos dentro de los equipos de trabajo. La aplicación se realiza en una importante planta productora de medicamentos. En la experiencia se verifica una reducción del ruido del proceso a un veinte por ciento del valor original. Además el artículo describe evidencias de mejora en las relaciones interpersonales.

Palabras Clave: Mantenimiento Preventivo, Toma de Decisiones en Grupo, Procesos DRV.

ABSTRACT

This paper presents an application of group decision making, aimed at developing a referential scheme to help define priorities in preventive maintenance activities. The method applied is called DRV Processes. It combines procedures of Multicriteria Support to Decision Making and of Statistics and Probability. Among the advantages of this method we can mention the possibility of reducing the noise that affects information in problems of group decision making and also of helping to arrive at a consensus decision. In general, this method improves the level of shared knowledge and contributes to avoiding conflicts in work groups. It is being applied in an important drug production plant. The results obtained so far show eighty percent of noise reduction compared to original values. This article also provides evidence of improvement in interpersonal relationships.

Keywords: Preventive Maintenance, Group Decision Making, DRV Processes

¹Departamento de Matemática, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

²Laboratorio de Mantenimiento e Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

*Autor para correspondencia: magdadimitroff@gmail.com

Recibido: 28.10.2015 Aceptado:10.03.2016

INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Gestión de Mantenimiento son un asunto relevante en las organizaciones que aplican estrategias de tipo Lean Manufacturing (Bhasin & Burcher, 2006; Chiarini, 2014; Jasiulewicz-Kaczmarek, 2014). Para que estos sistemas funcionen adecuadamente, es importante que las personas vinculadas se encuentren comprometidas, sin embargo, a menudo es difícil alcanzar el nivel de acuerdo necesario. Hay al menos dos cuestiones básicas que deben establecerse en conjunto: por un lado la definición de prioridades en la atención de modos de falla y por el otro, la selección de estrategias de mantenimiento adecuadas para cada equipo. El presente artículo propone aplicar un método de toma de decisiones grupales, para resolver estos requerimientos y presenta una aplicación sobre la definición de prioridades.

Entre las cuestiones que se deben analizar en la actividad productiva, se encuentra la adopción y gestión de adecuados sistemas de mantenimiento de los medios o activos necesarios para la producción (Manzini *et al.*, 2009). Un requerimiento para estos sistemas es la determinación de niveles de criticidad que permitan ordenar el desarrollo del mismo y establecer prioridades para la aplicación de acciones (Rausand, 1998; Chopra *et al.*, 2016). Además es importante la identificación de la estrategia de mantenimiento más adecuada para cada recurso (Arunraj & Maiti, 2010).

En general, estas cuestiones se definen con un enfoque único o individual, sin considerar de modo explícito las posibles diferencias entre las personas o áreas vinculadas al problema. Sin embargo, para toda iniciativa de este tipo, es deseable que exista un cierto consenso en torno a esas prioridades.

Ahora bien, conforme a Yolles (2010), los problemas de toma de decisiones que son condicionados por las preferencias y relaciones entre diferentes personas, se caracterizan por tener un elevado nivel de complejidad. No atender esas cuestiones, conduce habitualmente a una falta de compromiso con los planes de acción desarrollados y resta posibilidades de éxito a cualquier iniciativa (Franco & Hämäläinen, 2016).

Coincidente con esos conceptos, la realidad enseña que son frecuentes las fallas en la implementación de todo tipo de sistemas gestión, de hecho el porcentaje de organizaciones que tiene dificultades e incumplimientos parciales, puede superar el noventa por ciento (Robson *et al.*, 2007). Entre las complicaciones habituales se encuentra la resistencia de la gente a participar en el desarrollo o la falta de compromiso para aplicar correctamente las componentes del sistema (Aviles & Dent, 2015; Bano & Zowghi, 2015, Franco *et al.*, 2016).

Con esa lógica, no debe sorprender que en las entidades que implementan sistemas de mantenimiento preventivo, surjan diferentes debilidades relacionadas con el desarrollo y gestión de estos sistemas, como la resistencia de los empleados o la falta de convencimiento de los roles gerenciales (Gupta & Mishra, 2016). La variedad de perspectivas que presenta la literatura específica dificulta seriamente a los administradores decidir sobre el enfoque a utilizar en el momento de implementar un sistema de mantenimiento. Existen marcos de referencia que tienen una gran aceptación y que, además de los aspectos de gestión, se apoyan en el mejoramiento continuo con base en el trabajo en grupo. Esto surge como una oportunidad a ser desarrollada, lo que requiere de estrategias para lograr el consenso y el conocimiento compartido.

Tampoco debe resultar extraño que un factor importante a la hora de encontrar causas de problemas, sea la utilización de juicios expertos en la definición de prioridades, o dicho de otro modo, la tendencia a establecer prioridades a partir de la opinión o preferencias de una sola persona o de un único sector (Braaksma *et al.*, 2013).

Medina-Oliva *et al.*, (2015) remarca la importancia que tiene el tratamiento común de los problemas, tanto por quien utiliza el equipo (área de producción) como por quien lo asiste

(área de mantenimiento). La toma de decisiones conjunta en mantenimiento, según los autores citados, registra escasos aportes en la literatura.

Ante esa evidencia, este artículo propone realizar la asignación de prioridades en las tareas de mantenimiento, como un proceso de toma de decisiones en grupo. Con esa finalidad, se sugiere la aplicación del método Procesos DRV (Decisión con Reducción de Variabilidad), (Zanazzi & Gomes, 2009; Zanazzi *et al.*, 2010; Zanazzi, 2016).

Debido al impacto de las actividades de mantenimiento sobre la productividad, existen diversos aportes orientados a la elaboración de posibles alternativas de acción que mejoren los resultados de este tipo de iniciativas (Ding & Kamaruddin, 2015). Una posibilidad es operar con el denominado Mantenimiento a Rotura o Correctivo, esto es, reparar los equipos cuando interrumpen su normal funcionamiento. Otra opción que generalmente resulta más atractiva desde el punto de vista económico, es aplicar el Mantenimiento Programado, enfoque bajo el cual las actividades son planificadas de modo que perjudiquen al mínimo los tiempos de producción.

Entre las estrategias más conocidas de Mantenimiento Programado, se encuentran el Mantenimiento Basado en el Tiempo (TBM) y el Mantenimiento Basado en las Condiciones (CBM). El primero se caracteriza por hacer controles, reemplazos o reparación de piezas o componentes a intervalos regulares de tiempo, aun cuando se encuentren funcionando correctamente. Mientras que el segundo, también llamado Mantenimiento Predictivo, busca predecir las fallas potenciales a través de la detección anticipada de niveles anormales de parámetros operativos o de funcionamiento, mediante el uso de la tecnología específica.

Una estrategia que complementa a las anteriores es el Mantenimiento Autónomo, caracterizado por compartir la responsabilidad primaria con los operadores. Éstos toman el compromiso del cuidado elemental de la máquina y son quienes se encargan de tareas simples como la limpieza, lubricación, ajuste y sustitución de piezas (Chen, 2013).

También se han planteado aproximaciones que combinan varias herramientas. Entre las más conocidas se encuentran el Mantenimiento Total Productivo (TPM), que frecuentemente se reconoce como una componente clave de la Lean Production, e incluye entre sus herramientas al Mantenimiento Autónomo. Otra opción ampliamente difundida es el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) (Rausand, 1998., Chopra *et al.*, 2016., Gupta & Mishra, 2016), originado en la industria aeronáutica (Moubray, 1997).

Ahora bien, la implementación de sistemas de gestión del mantenimiento requiere resolver al menos dos tipos de problemas de decisión. Por un lado, es necesario determinar el tipo de mantenimiento a utilizar en cada equipo, para lo cual algunos autores proponen aplicar métodos de Decisión Multicriterio Discreta (Bevilacqua & Braglia, 2000; Bertolini & Bevilacqua, 2006; Arunraj & Maiti, 2010).

Por otra parte, es importante definir el nivel de criticidad de los equipos o de los modos de falla, que es concretamente el problema de interés del presente artículo. Entre las herramientas más conocidas para este fin se encuentra el Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (AMFE) (Braaksma *et al.*, 2013; Carlson, 2012) y el Análisis de Causa Raíz (RCA), que propone realizar una búsqueda sistemática del origen profundo de cada tipo de falla (Bhaumik, 2010; Ramzan *et al.*, 2011). Por otro lado, Chen (2013) combina los enfoques del FMEA y el RCA, en un método que tiene en cuenta la reducción de costos de manufactura y la productividad obtenida con el equipamiento.

Asimismo, se han realizado diferentes sugerencias de mejora, fundamentadas en modelos de decisión multicriterio discreta. Ejemplos de esas variantes pueden encontrarse en Braglia (2000) y Alencar *et al.* (2012). Este enfoque puede potenciarse mediante la incorporación del análisis de sensibilidad de los criterios más significativos en situaciones donde la información disponible es parcial o incompleta (Ríos Insúa, 1990; Ríos Insúa & French, 1991). Esta

posibilidad ha sido extendida a las prácticas de decisión grupal con carencias de información (Sabio Flores, 2015).

En definitiva, existe una gran variedad de propuestas que facilitan la elección de la estrategia de mantenimiento más adecuada, pero en general estas aproximaciones trabajan sobre el supuesto de un punto de vista experto, único e individual. De esta manera, no se consideran las aparentes o reales diferencias entre los intereses y percepciones de las personas, o de las áreas que se vinculan con el mantenimiento. Sin embargo, estas diferencias son esperables en todas las organizaciones y pueden conspirar contra el éxito de cualquier sistema de gestión.

MATERIALES Y MÉTODOS

En esta sección se analizan dos cuestiones. En primer término se describe el método que se utilizó: Procesos DRV. Finalmente, se detalla la modalidad con que se aplicó dicha metodología.

Descripción de los Procesos DRV

Esta metodología se aplicó con un equipo de trabajo de quince miembros. El grupo estructuró el problema de decisión y lo representó en un diagrama de árbol, donde se reconocieron distintos subproblemas. Un subproblema fue la comparación de los criterios entre sí, los otros consistieron en la comparación de las alternativas a la luz de cada criterio, como se representa en la figura 1.

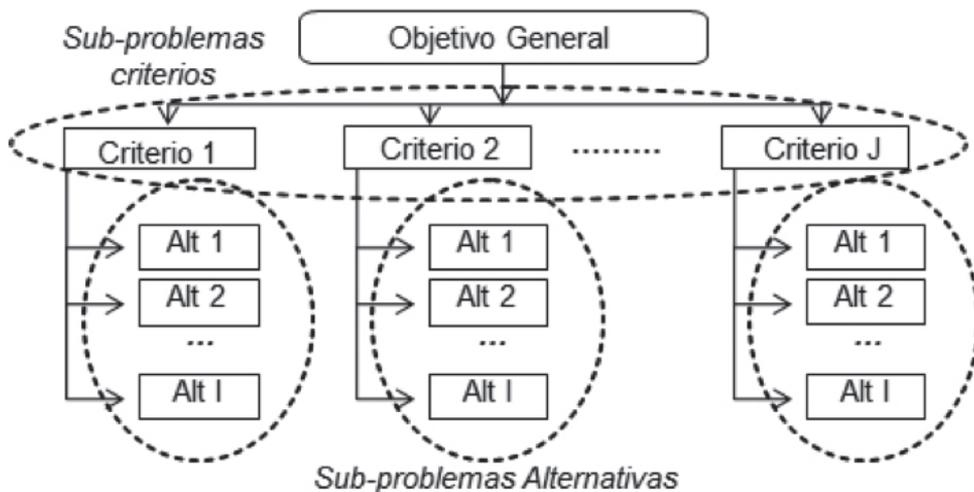


Figura 1. Árbol del proceso de decisión y subproblemas asociados

El método ha sido diseñado para facilitar la toma de decisiones en grupos integrados por personas que pertenecen a la misma organización, por lo que comparten sus objetivos. Se asume que todos los participantes tienen la misma importancia a los fines de la agregación. Por otro lado, no se consideran escenarios de negociaciones o de conflictos.

La aplicación de los procesos DRV se realiza en tres fases: estabilización de los subproblemas, agregación y ordenamiento. La primera es la que permite reducir tanto la imprecisión como la incertidumbre del proceso. Al iniciar el estudio de un subproblema, es posible que los conocimientos, las preferencias y por ende, las prioridades del grupo, sean completamente diferentes. Para alcanzar el acuerdo se realiza un ciclo iterativo de análisis que permite el intercambio de conocimientos y experiencias. Se contribuye de ese modo, a la reducción de

las diferencias de posturas entre los miembros. La condición estable se consigue cuando las posturas de los integrantes del grupo ya no pueden variar demasiado, aun cuando se prolongue el análisis.

Para verificar si se ha arribado a esa condición, se solicita a los integrantes que asignen utilidades de tipo subjetivo a los elementos comparados (Keeney & Raiffa, 1993). Las utilidades asignadas pueden considerarse como observaciones de una variable aleatoria multidimensional, con una distribución marginal para cada elemento analizado.

Con esta lógica, una situación de falta de acuerdo puede ser reflejada por Distribuciones Marginales Uniformes. En cambio, si los integrantes acercan sus posiciones, las utilidades asignadas son similares y la Distribución de Probabilidad es la Normal.

Por ese motivo, la condición de estabilidad se verifica mediante el análisis de normalidad de las valoraciones de cada subproblema y mediante el indicador IVR (Índice de Variabilidad Remanente), definido por

$$IVR = \frac{SCD}{SCU} * 100\% \tag{1}$$

donde:

SCD (suma de cuadrados dentro de los elementos) representa las diferencias entre las utilidades individuales asignadas al elemento k.

SCU (suma de cuadrados uniforme) aproxima la sumatoria que se obtendría en una situación de total falta de acuerdo, es decir, cuando las utilidades asignadas al elemento k han sido extraídas de una distribución de probabilidad uniforme.

Puede suponerse que al iniciar el análisis en la rama, la peor condición posible es que las medias verdaderas de los elementos sean iguales y que las distribuciones sean uniformes. Por esta razón, SCD es la que debe disminuir a medida que progresa el análisis (Zanazzi & Gomes, 2009).

En la práctica, valores de IVR inferiores a 25%, son propios de una condición de consenso estable. Si no se alcanza la estabilidad, el grupo debe retomar el análisis del subproblema en plenario, para identificar y si es posible, eliminar los puntos de disenso.

Cuando todos los subproblemas han sido estabilizados, comienza la segunda fase, denominada agregación. Es entonces factible determinar valores globales para cada alternativa. El método Procesos DRV ofrece la posibilidad de agregar utilizando ponderación lineal o por medio de la formulación del método TODIM (Tomada de Decisão Interativa Multicritério).

En la primera variante, si W_j representa los pesos de los criterios, y U_{ij} las utilidades asignadas a los candidatos bajo el criterio j , la contribución parcial de una alternativa genérica i , a la luz del criterio j , se obtiene como el producto de las dos variables aleatorias mencionadas conforme a la expresión (2).

$$Z_{ij} = W_j * U_{ij} \tag{2}$$

Las distribuciones de las variables Z_{ij} , pueden ser formuladas mediante la integral de la expresión (3).

$$P(W_j * U_{ij} < z) = \iint_{(w,u) \in \{W_j * U_{ij} < z\}} \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sigma_{W_j} \sigma_{U_{ij}}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{w_j - \mu_{W_j}}{\sigma_{W_j}} \right)^2} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{u_{ij} - \mu_{U_{ij}}}{\sigma_{U_{ij}}} \right)^2} dw du \tag{3}$$

Los valores globales de una alternativa genérica (V_i), se obtienen como se indica en la expresión (4).

$$V_i = \sum_{j=1}^J W_j * U_{ij} = \sum_{j=1}^J Z_{ij} \quad (4)$$

En Zanazzi (2016) se demuestra que cuando las distribuciones de las variables W_j y U_{ij} , son gaussianas, entonces las distribuciones marginales de los valores globales de las alternativas genéricas (V_i), también pueden considerarse Normales. Es decir que, cuando se desarrolla consenso en todos los subproblemas, también se alcanza consenso en el problema general.

En la segunda variante, es posible lograr la agregación mediante las expresiones del método TODIM (Gomes & Zanazzi, 2012). Para ello se adopta uno de los criterios como referencial (criterio r) y se calculan matrices de dominancia parciales y una matriz de dominancia final. De este modo, la dominancia global de la alternativa número i , se obtiene como la suma de las dominancias parciales.

En la fase de ordenamiento, se analizan las muestras de valoraciones globales obtenidas, con el objeto de definir relaciones de orden entre las alternativas, para lo cual se aplican pruebas de hipótesis de comparación de medias de variables dependientes. Además, el método utiliza un algoritmo (Benjamini & Yekutieli, 2001), para controlar la probabilidad de Error de Tipo I.

Modalidad adoptada

Para valorar los modos de falla y generar conocimiento y consenso en torno a las prioridades de mantenimiento, se organizó un taller en el que participaron quince personas, que desempeñaban roles de liderazgo en las áreas vinculadas al sistema de mantenimiento. El subíndice n (con $1 \leq n \leq 15$), permitió identificar a los participantes.

Se definieron los J criterios (el subíndice j identificó a cada criterio, donde $1 \leq j \leq J$). Se analizaron y ponderaron los criterios, con la fase de estabilización de los Procesos DRV, hasta lograr un resultado satisfactorio. Como simbología, la ponderación asignada al criterio j , por el individuo n , se expresó como W_j .

Para cada criterio, el grupo construyó en forma conjunta una tabla orientadora para las evaluaciones. Los valores de la tabla se definieron en la escala uno a nueve, donde uno se asoció al menor impacto y nueve al efecto extremo.

Dentro de un sector de la planta, se identificaron los equipos del área y diferentes modos de falla para cada equipamiento. La identificación se realizó en forma grupal.

Para cada criterio, se asignaron utilidades a los modos de falla, con la fase de estabilización de los Procesos DRV, hasta lograr un resultado satisfactorio. Este ejercicio propició que los participantes desarrollaran puntos de vista similares para la aplicación de las escalas. Es decir, se orientó a entrenar al grupo y simultáneamente, a desarrollar alguna verificación del sistema de medición.

A continuación, se determinaron valores globales para cada modo de falla, con la expresión (5). En cuanto a la notación, la utilidad asignada bajo el criterio j , para el modo de falla i , por el individuo n , se expresó como $U_{i,j,n}$.

$$v_{i,n} = \sum_{j=1}^J w_{j,n} * u_{i,j,n} \quad \forall 1 \leq i \leq I \wedge 1 \leq n \leq 15 \quad (5)$$

Luego, se aplicaron promedios para obtener estimaciones del peso de cada criterio (expresión 6) y para determinar el valor global de cada modo de falla (expresión 7).

$$\bar{w}_j = \sum_{n=1}^{15} w_{j,n} / 15 \quad (6)$$

$$\bar{v}_i = \sum_{n=1}^{15} v_{i,n} / 15 \quad (7)$$

Es de destacar que los \bar{w}_j fueron adoptados para todas las valoraciones de criticidad a realizar en el futuro.

RESULTADOS

La aplicación se realizó en una importante planta productora de medicamentos, interesada en el diseño e implementación de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo, que contemple los requisitos de los sectores involucrados, estos son: mantenimiento, calidad y producción.

En las entrevistas preliminares con los participantes, se detectaron diferencias de criterios entre las áreas, particularmente entre mantenimiento, donde operan ingenieros y técnicos, con las restantes, donde trabajan farmacéuticos y bioquímicos. Incluso algunos precedentes evidenciaban desencuentros entre los actores.

La tarea inició con capacitación sobre sistemas de mantenimiento y planteó la necesidad de desarrollar un referencial que permitiera establecer prioridades para el mantenimiento preventivo. Se organizaron grupos interdisciplinarios para analizar un proceso en particular. La posterior discusión en plenario resultó enriquecedora, porque la descripción de las operaciones permitió adoptar criterios e intercambiar conocimientos y experiencias. Entre los productos de este intercambio se encuentran los criterios a considerar, que se reproducen en la Tabla 1.

Tabla 1. Definición de criterios utilizados para decidir criticidad

Código	Criterio	Explicación
1	Impacto sobre el Producto	Considera calidad como cumplimiento de las especificaciones, costos por no conformidades y por rechazos y calificación de equipos. Además tiene en cuenta a la seguridad de los consumidores.
2	Impacto sobre el Proceso	Metas de eficiencia y productividad, tasas de producción, disponibilidad de los medios, disponibilidad de métodos alternativos de producción o back up.
3	Mantenibilidad	Capacidad para ser mantenido. Considera facilidades para la reparación a partir de la disponibilidad de repuestos y acceso al servicio técnico.
4	Frecuencia de Falla	Cantidad de fallas anuales
5	Impacto sobre Medio Ambiente y Seguridad	Considera impactos sobre el medio ambiente por generación de residuos y la seguridad del personal de la planta

Durante el trabajo en plenario, el grupo pareció alcanzar un buen nivel de acuerdo. Para verificar esa condición y conforme a los requerimientos del método Procesos DRV, se solicitó a los participantes la asignación de pesos en forma individual. En este caso, al terminar el primer ciclo de análisis, el indicador IVR alcanzó el 57,74%. Este valor hizo necesario retomar la discusión y poner énfasis en aquellos aspectos en los cuales se detectaron las mayores discrepancias.

En el segundo ciclo de análisis se obtuvo un IVR del 22,62%, resultado que fue considerado aceptable y que representa una importante disminución de variabilidad en los posicionamientos de los decisores.

Ahora bien, es interesante observar como variaron los resultados en este subproblema. Con esa finalidad, la Tabla 2 resume los valores de los parámetros y de los IVR obtenidos en las dos evaluaciones realizadas. Como se advierte, no son similares, particularmente para el criterio Producto.

Tabla 2. Parámetros obtenidos e Índice IVR

Valoración	Criterio					IVR
	Producto	Proceso	Mantenibilidad	Frecuencia de Falla	MAyS	
Primera	0,5826	0,2008	0,089	0,073	0,0546	0,578
Segunda	0,4653	0,2263	0,1288	0,1055	0,074	0,226

Del mismo modo, la Tabla 3 reproduce los valores de las sumas de cuadrados, para la condición inicial extrema y para las dos valoraciones.

Tabla 3. Evolución de la Suma de Cuadrados Dentro

Ciclo	Suma de Cuadrados Dentro	Porcentaje del original %
0	0,933	100,00
1	0,539	57,80
2	0,211	22,60

Los resultados de la Tabla 3 permitieron verificar que es factible lograr la disminución efectiva del ruido que afecta a la información. La actividad anterior resultó relevante porque permitió obtener los siguientes subproductos:

- Pesos adoptados para los criterios. Resultan determinantes del nivel de criticidad de cada modo de falla.
- Participación activa en las asignaciones. Mejora la posibilidad de que sean sostenidas posteriormente por los integrantes.

El estudio prosiguió con la asignación de utilidades a cada uno de los modos de falla, de acuerdo a los distintos criterios considerados. Como ejemplo de esta fase, las especificaciones elaboradas para asignar utilidades bajo el criterio Mantenibilidad (código 3), se reproducen en la Tabla 4.

Tabla 4. Especificaciones para utilidades bajo el criterio Mantenibilidad

Explicación	Puntaje
Acción simple más cambio de pieza que se encuentra en stock en almacén de mantenimiento.	1
Acción simple más cambio de pieza que no se encuentra en stock en almacen de mantenimiento.	2
Acción con tercerista habitual y con repuesto en mercado local.	3
Acción con tercerista habitual y con repuesto en mercado externo.	4
Acción externa sin cambio de pieza.	5
Acción externa con cambio de pieza fácil de conseguir.	6
Acción externa especializada. Repuesto difícil de conseguir.	7
Acción externa especializada. Repuesto a fabricar por proveedor.	8
No disponibilidad de repuesto ni de personal técnico de reparación.	9

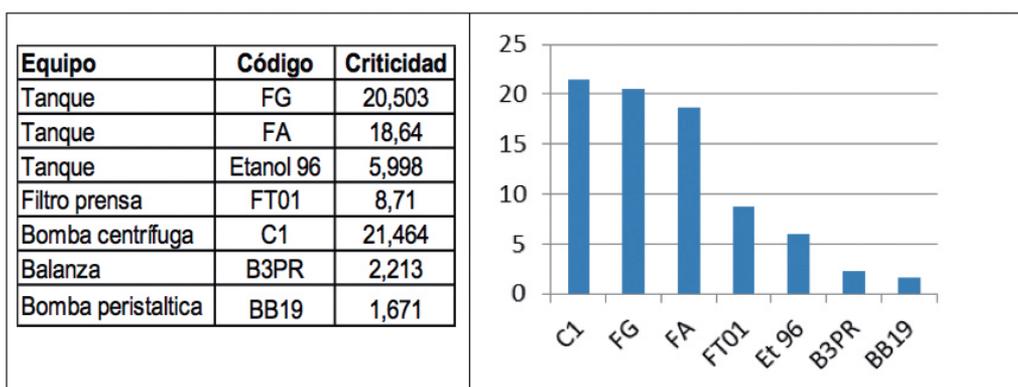
Una vez estimados los ponderadores de los criterios y asignadas las utilidades a cada modo de falla bajo cada criterio, corresponde aplicar la expresión que permite determinar el valor global de las cuestiones consideradas. Estas valoraciones se reproducen en la Tabla 5. Cabe precisar que por cuestiones de espacio, la tabla recorre sólo parcialmente las unidades consideradas. El valor global obtenido por ponderación lineal permite adoptar diferentes niveles de prioridad. Así las fallas con valores globales más grandes tienen un impacto más fuerte que las otras, por lo que deberían ser consideradas en el Plan de Mantenimiento Preventivo con mayor atención.

Tabla 5. Cálculo de valoraciones de criticidad, por falla y por equipo.

Equipo	Comp.	Modo de Falla	CRITERIOS					Puntos	TOTAL EQUIPO
			Prod 0,465	MAyS 0,074	Mant 0,129	Proc 0,226	Frec 0,106		
Tanque	Ruedas	Se traban	2	1	1	2	7	2,327	5,295
	Tapa Superior	Se puede desoldar	1	2	2	1	7	1,839	
	Valvula inferior	Se tapa	1	1	2	1	1	1,129	
Filtro Prensa	40 Placas	Se deforman	1	1	2	2	1	1,355	8,71
	40 Marcos	Se deforman	1	1	5	1	2	1,516	
	Armazon	Se deforman	1	1	1	1	1	0,894	
	Tornillo sin fin	Se puede trabar	1	1	2	1	2	1,129	
	Bomba hidraulica	Falta de lubricacion	1	1	2	1	7	1,765	
		Se puede correr el oring y perder compresion en el cierre	1	2	2	1	9	2,051	

Por otro lado, es factible agregar estas prioridades por equipamiento. Por ejemplo, en la Tabla 6 se reproduce una vista parcial de las unidades incluidas en el Plan y de las sumas de las valoraciones de los modos de falla detectados en cada medio productivo. Además, se agrega el correspondiente diagrama de barras, que resume los niveles de criticidad de los diferentes medios. De esta manera, el grupo de trabajo pudo establecer de modo objetivo y consensuado las prioridades de mantenimiento: Bomba Centrífuga C1, Tanque FG y Tanque FA, son los equipos que requieren mayor atención.

Tabla 6. Niveles de criticidad para el mantenimiento



DISCUSIÓN

El artículo propone una metodología orientada a facilitar las fases iniciales de un proyecto de implantación de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo, en una planta productora de medicamentos. La organización registraba intentos previos, que no prosperaron. Entre las razones de esos fracasos, se encontraban las diferencias de posturas y preferencias

de las áreas usuarias de ese sistema (Producción, Calidad y Mantenimiento) y las diferentes perspectivas profesionales (ingenieros, técnicos, farmacéuticos y bioquímicos). Problemáticas similares han sido descritas en la literatura especializada en gestión (Weick, 2010).

Respecto al origen de esta cuestión, diversos autores acuerdan que los problemas derivados de la diversidad de roles y enfoques, se potencian cuando existe un escaso desarrollo de significados compartidos (Sandberg & Tsoukas, 2015; Yolles, 2010). Esto es, aunque se dispone de una estructura de gestión, los fundamentos no son firmes en las personas operadoras del sistema. Por ello, frente a situaciones no contempladas, el grupo de trabajo se disocia y sobrevienen las fallas. Para evitarlo, los grupos operativos deben desarrollar procesos de construcción colectiva de significados (*sensemaking*), que permitan analizar y actualizar, sistemática y permanentemente, la organización interna (*organizing*) (Weick, 2010; Labib, 2015). Es decir, es necesario que los grupos fortalezcan su flexibilidad y confiabilidad, para poder adaptarse fácilmente a las contingencias (Weick *et al.*, 2008).

Con ese razonamiento, las posibilidades de éxito del sistema de gestión se incrementan cuando los actores participan de manera activa en la construcción de los elementos claves, de modo que asignen sentido a sus requerimientos y puedan comprometerse para el éxito de su operación futura. Por el contrario, si ese acuerdo no se logra, las personas resisten la implementación y el sistema se aplica con fallas, que pueden ser parciales o generalizadas (Franco *et al.*, 2016).

Precisamente, una cuestión clave es la asignación de prioridades para el mantenimiento. Ante esa realidad, se propuso iniciar el proyecto con la elaboración grupal de un referencial, que permitiera establecer dichas prioridades. Con esa finalidad, se aplicó un método de toma de decisiones en grupo.

El primer indicio alentador que surge de esta aplicación, es que el equipo de trabajo identificó y definió los cinco criterios que considera necesarios para valorar los modos de falla. No se trata de un resultado trivial, porque a partir de esa definición se dispuso del conjunto de dimensiones que deben considerarse al definir el plan de mantenimiento.

Una cuestión diferente fue la asignación de ponderadores a los criterios adoptados. En este caso se encontró que, a pesar del aparente acuerdo inicial, subsistían significativas diferencias en torno a la importancia relativa de cada dimensión.

Efectivamente, fueron necesarias dos rondas de análisis hasta lograr que el grupo se cohesionara en torno a esta cuestión. El IVR finalmente alcanzado, evidencia que la suma de cuadrados de las asignaciones, pudo reducirse a un veintidós por ciento de la dispersión inicial. Esta suerte de paradoja, se detecta frecuentemente cuando en las dinámicas grupales, las personas se comportan como si existieran acuerdos, pero subsisten diferencias importantes entre los participantes. El problema es que esa dispersión remanente es fuente de incertidumbre para cualquier iniciativa posterior del grupo.

Otro producto interesante es la definición conjunta de las escalas a utilizar. El ejercicio que consiste en desarrollar definiciones para cada elemento, es enriquecedor, más allá de la conveniencia de contar con estas escalas. Dicho de otra forma, la explicación del significado de cada una de las puntuaciones para cada criterio, obliga a establecer acuerdos que pueden aflorar luego en las conductas de los participantes.

Estos elementos, utilidades y ponderadores de los criterios, permitieron asignar valores globales a cada modo de falla. Cabe señalar que la actividad de asignación también fue bien recibida por los interesados.

Un resultado de la experiencia es que la organización pudo avanzar en el proceso de implementación de una gestión de mantenimiento consensuada. De hecho, hoy se dispone

de un sistema simple pero efectivo, que es sostenido por las áreas involucradas. Además, las áreas interactúan en un ambiente colaborativo en el marco de dicho sistema.

CONCLUSIONES

El artículo realiza dos aportes relevantes. Por un lado, plantea una alternativa concreta para incorporar la visión del grupo en la definición del plan de mantenimiento. Por otro, analiza una aplicación exitosa de la propuesta, en una organización que registraba dificultades para la implementación de este tipo de sistemas y evidencia que es factible reducir el nivel de perturbaciones en la información disponible. Al buscar dicha reducción se propician mejoras en el nivel de conocimiento compartido, en el compromiso con la decisión adoptada y en la cohesión del equipo de trabajo.

En la experiencia realizada, fue posible reducir los niveles de ruido que afectaban el proceso a poco más del veinte por ciento de la dispersión inicial. Además, el método de soporte a la toma de decisiones en grupo Procesos DRV, fue aceptado y utilizado sin dificultades por los participantes.

Más aún, con posterioridad al ejercicio, las áreas involucradas pudieron trabajar en conjunto y cohesionarse entorno al objetivo común. De hecho, en la actualidad el sistema de mantenimiento se encuentra en pleno desarrollo como un proyecto conjunto.

Esos resultados son alentadores, sin embargo, no pueden ser extrapolados a la generalidad de los sistemas de mantenimiento. Quedan planteadas diferentes cuestiones, como la posibilidad de efectuar análisis de sensibilidad sobre los parámetros, la necesidad de explorar cuáles son las instancias en donde conviene desarrollar actividades grupales, o el modo de aplicarlas en diferentes estrategias de mantenimiento.

REFERENCIAS

ALENCAR, Marcelo Hazin., DE ALMEIDA FILHO, Adiel Teixeira., and DE ALMEIDA, Adiel Teixeira. Fimeca: *Modelagem Multicritério para Priorização de Causas de Falhas Potenciais em uma termoeletrica*. Em: SOBRAPO–Annals XVI CLAIO–XLIV SBPO–Workshop LIA-SGT–Rio de Janeiro. RJ. [em línea]. Rio de Janeiro. 2012. Disponible en: < <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2012/pdf/arq0183.pdf>, 2012>.

ARUNRAJ, N.S., and MAITI, J. Risk-based maintenance policy selection using AHP and goal programming. *Safety science*, 2010, vol. 48, no. 2, p. 238-247.

AVILES, Peter R., and DENT, E. The Role of Mindfulness in Leading Organizational Transformation: A Systematic Review. *The Journal of Applied Management and Entrepreneurship*, 2015, vol. 20, no. 3, p. 31-55.

BANO, Muneera., and ZOWGHI, Didar. A systematic review on the relationship between user involvement and system success. *Information and Software Technology*, 2015, vol. 58, p. 148-169.

BENJAMINI, Yoav., YEKUTIELI, Daniel. The control of the false discovery rate in multiple testing under dependency. *Annals of statistics*, 2001, p. 1165-1188.

BERTOLINI, Massimo., and BEVILACQUA, Maurizio. A combined goal programming—AHP approach to maintenance selection problem. *Reliability Engineering & System Safety*, 2006, vol. 91, no. 7, p. 839-848.

BEVILACQUA, Maurizio., and BRAGLIA, Marcello. The analytic hierarchy process applied to

- maintenance strategy selection. *Reliability Engineering & System Safety*, 2000, vol. 70, no. 1, p. 71-83.
- BHASIN, Sanjay., and BURCHER, Peter. Lean viewed as a philosophy. *Journal of manufacturing technology management*, 2006, vol. 17, no. 1, p. 56-72.
- BHAUMIK, S. Root cause analysis in engineering failures. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 2010, vol. 63, no. 2-3, p. 297-299
- BRAGLIA, Marcello. MAFMA: multi-attribute failure mode analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 2000, vol. 17, no 9, p.1017-1033.
- BRAAKSMA, A.J.J., KLINGENBERG, W., and VELDMAN, J. Failure mode and effect analysis in asset maintenance: a multiple case study in the process industry. *International journal of production research*, 2013, vol. 51, no. 4, p.1055-1071.
- CARLSON, Carl. *Effective FMEAs: Achieving safe, reliable, and economical products and processes using failure mode and effects analysis*. John Wiley & Sons, 2012
- CHIARINI, Andrea. Sustainable manufacturing-greening processes using specific Lean Production tools: an empirical observation from European motorcycle component manufacturers. *Journal of Cleaner Production*, 2014, vol. 85, p. 226-233.
- CHEN, Chee-Cheng. A developed autonomous preventive maintenance programme using RCA and FMEA. *International Journal of Production Research*, 2013, vol. 51, no. 18, p. 5404-5412.
- CHOPRA, Amit., SACHDEVA, Anish., and BHARDWAJ, Arvind. Productivity enhancement using reliability centred maintenance in process industry. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 2016, vol. 23, no. 2, p. 155-165.
- DING, Siew-Hong., and KAMARUDDIN, Shahrul. Maintenance policy optimization—literature review and directions. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2015, vol. 76, no. 5-8, p. 1263-1283.
- FRANCO, L. Alberto., and HÄMÄLÄINEN, Raimo P. Engaging with Behavioral Operational Research: On Methods, Actors and Praxis. En: *Behavioral Operational Research*. Palgrave Macmillan UK, 2016. p. 3-25.
- FRANCO, L. Alberto., ROUWETTE, Étienne AJA., and KORZILIUS, Hubert. Different paths to consensus? The impact of need for closure on model-supported group conflict management. *European Journal of Operational Research*, 2016, vol. 249, no. 3, p. 878-889.
- GUPTA, Gajanand., and MISHRA, Rajesh P. A SWOT analysis of reliability centered maintenance framework. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 2016, vol. 22 no. 2, p.130-145.
- GOMES, Luiz Flavio Autran Monteiro., and ZANAZZI, José Luis. Análisis multicriterio con multiples decisores: aplicación combinada de los metodos TODIM y procesos DRV. *Revista de Administração do Gestor*, 2012, vol. 2, p. 105-136.
- JASIULEWICZ-KACZMAREK, Malgorzata. Integrating Lean and Green Paradigms in Maintenance Management. *IFAC Proceedings Volumes*, 2014, vol. 47, no. 3, p. 4471-4476.
- KEENEY, Ralph L., and RAIFFA, Howard. *Decisions with multiple objectives: preferences and value trade-offs*. Cambridge university press, 1993.

LABIB, Ashraf. Learning (and unlearning) from failures: 30 years on from Bhopal to Fukushima, an analysis through reliability engineering techniques. *Process Safety and Environmental Protection*, 2015, vol. 97, p. 80-90.

MANZINI, Riccardo, et al. *Maintenance for industrial systems*. Springer Science & Business Media, 2009.

MEDINA-OLIVA, Gabriela., WEBER, Philippe., and IUNG, Benoît. Industrial system knowledge formalization to aid decision making in maintenance strategies assessment. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2015, vol. 37, p. 343-360.

MOUBRAY, John. *Reliability centered maintenance*. Industrial Press, 1997.

RAMZAN, Naveed., NAVEED, Shahid., RIZWAN, Muhammad., WITT Werner. Root Cause Analysis of Primary Reformer Catastrophic Failure A Case Study. *Process Safety Progress*, 2011, vol. 30, no. 1 p. 62-65.

RAUSAND, Marvin. Reliability centered maintenance. *Reliability Engineering and System Safety*, 1998, vol. 60, no. 2, p. 121-132.

RÍOS INSÚA, David. Sensitivity Analysis in Multi-objective Decision Making. En *Sensitivity Analysis in Multi-objective Decision Making*. Springer Berlin Heidelberg, 1990. p 74-126.

RÍOS INSÚA, David., and FRENCH, Simon. A Framework for Sensitivity Analysis in Discrete Multi-objective Decision-Making. *European Journal of Operational Research*, 1991, vol. 54, no. 2, p.176-190.

ROBSON, Lynda S., et al. The effectiveness of occupational health and safety management system interventions: a systematic review. *Safety Science*, 2007, vol. 45, no. 3, p. 329-353.

SABIO FLORES, Pilar. *Toma de decisiones en grupo con información parcial y veto basada en medidas de la intensidad de dominancia*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Informáticos. Madrid, 2015.

SANDBERG, Jörgen., and TSOUKAS, Haridimos. Making sense of the sensemaking perspective: Its constituents, limitations, and opportunities for further development. *Journal of Organizational Behavior*, 2015, vol. 36, no S1, p. S6-S32.

WEICK, K.E. Reflections on enacted sensemaking in the Bhopal disaster. *Journal of Management Studies*, 2010, vol. 47, no 3, p. 537-550.

WEICK, K.E. Organized sensemaking: A commentary on processes of interpretive work. *Human Relations*, 2012, vol. 65, no 1, p. 141-153.

WEICK, K., SUTCLIFFE, K.M., OBSTFELD, David. Organizing for high reliability: Processes of collective mindfulness. *Crisis management*, 2008, vol. 3, no 1, p. 81-123.

YOLLES, Maurice. Exploring complex sociocultural situations through soft operational research. *Pesquisa Operacional*, 2010, vol. 30 no. 2, p. 345-370.

ZANAZZI, J., CONFORTE, J.M., DIMITROFF, M., BOAGLIO, L., and SALAMON, A. Procesos DRV: la toma de decisiones como entrenamiento para equipos de trabajo. *Revista Ingeniería Industrial*, 2010, vol. 9, no. 1, p. 53-66.

ZANAZZI, José Luis., and GOMES, Luiz Flávio Autran Monteiro. La búsqueda de acuerdos en equipos de trabajo: el método decisión con reducción de la variabilidad (DRV). *Pesquisa Operacional*, 2009, vol. 29, no. 1, p. 195-221.

ZANAZZI, José Luis. *Toma de decisiones en grupos de trabajo. El método Procesos DRV*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Córdoba, 2016.