

LA GERENCIA DEL MANTENIMIENTO: UNA REVISIÓN¹

MAINTENANCE MANAGEMENT: A REVIEW

GESTÃO DE MANUTENÇÃO: UMA REVISÃO

Juan Gonzalo Ardila Marín²

María Isabel Ardila Marín³

David Rodríguez Gaviria⁴

Diego Andrés Hincapié Zuluaga⁵

FORMA DE CITACIÓN

Ardila, J.G., Ardila, M.I., Rodríguez, D. & Hincapié, D.A. (2016). La gerencia del mantenimiento: una revisión. *Dimensión Empresarial* 14(2), 127-142

JEL: L21, L38, L65, M14

DOI: <http://dx.doi.org/10.15665/rde.v14i2.480>

RESUMEN

El presente artículo presenta la revisión del estado del arte de la gerencia del mantenimiento, identificando problemas enfrentados por los investigadores del tema, las metodologías aplicadas y los resultados alcanzados; se hizo una contextualización de la problemática que se está abordando dentro del campo investigativo y se conocieron las tendencias de la investigación en la gerencia del mantenimiento. Con la búsqueda realizada se logró identificar, como principal tema de interés, el diseño, implementación y uso del *Sistemas Computarizados de Gestión del Mantenimiento (Computarized Maintenance Management Systems - CMMS)* como herramienta para la optimización de la gerencia de activos físicos, con lo cual se deja abierta la necesidad de investigar en este tema, buscando aplicaciones que den solución a los requerimientos del sector productivo para contribuir con su competitividad.

Palabras clave: Gestión de la calidad total (TQM), Justo a tiempo (JIT), mantenimiento productivo total (TPM), mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), gestión de mantenimiento asistido por computadora (CMMS).

1 El presente es un artículo de revisión de literatura en el tema de la gestión del mantenimiento, correspondiente al proyecto IN201404: "Evaluación tribológica de un lubricante modificado con nanotubos de carbono para aplicación en sistemas rodantes-deslizantes" de la Dirección Operativa de Investigaciones de la Institución Universitaria Pascual Bravo, Medellín, Colombia, www.pascualbravo.edu.co y su Grupo de Investigación IDEGMA (Innovación y Desarrollo en la Gestión del Mantenimiento) en cofinanciación con la Universidad Nacional de Colombia y su línea de Investigación en Materiales y Tribología. Fecha de recepción 15/12/2015. Fecha de aceptación 30/04/2016.

2 Ingeniero Mecánico, Magíster en Gestión Energética Industrial, Docente Tiempo Completo Ocasional, Investigador grupo MATyER, Instituto Tecnológico Metropolitano, www.itm.edu.co, Medellín, Colombia, Tel: (574) 440 52 75, juanardila@itm.edu.co

3 Ingeniera Mecánica, Magíster en Gestión Energética Industrial (candidata), Docente Tiempo Completo Ocasional, Líder grupo IDEGMA, Institución Universitaria Pascual Bravo, Calle 73 No. 73A - 226, Medellín, Colombia, Tel: (574) 448 05 20, isabel.ardila@pascualbravo.edu.co

4 Estudiante de Ingeniería Mecánica, Líder semillero grupo IDEGMA, Institución Universitaria Pascual Bravo, www.pascualbravo.edu.co, Medellín, Colombia, Tel: (574) 448 05 20, dav.rodriguez@pascualbravo.edu.co

5 Ingeniero Mecánico, MSc. Física, PhD (candidato), Docente Tiempo Completo de Carrera, Investigador grupo MATyER, Instituto Tecnológico Metropolitano, www.pascualbravo.edu.co, Medellín, Colombia, Tel: (574) 440 52 95, diegohincapie@itm.edu.co

ABSTRACT

This article presents a review of state of the art about maintenance management, identifying problems faced by researchers in the field, the methodologies applied and results achieved; it became a contextualization of issues being addressed in the field and research trends in maintenance management were identified. With the search was considered as the main topic of interest, design, implementation and use of *Computerized Maintenance Management Systems - CMMS* as a tool for optimizing management of physical assets, which is left open the need for research in this area, looking applications that provide solutions to productive sector requirements to contribute to their competitiveness.

Key words: Total Quality Management (TQM), (Just in time) JIT, total productive maintenance (TPM), Reliability Centered Maintenance (RCM), Computerized maintenance management system (CMMS)

RESUMO

Este artigo apresenta uma revisão de estado da arte sobre o gerenciamento de manutenção, identificação de problemas enfrentados pelos pesquisadores no campo, as metodologias aplicadas e os resultados obtidos; tornou-se uma contextualização das questões a ser abordadas nas tendências de campo e pesquisa em gestão da manutenção foram identificados. Com a pesquisa foi considerada como o principal tema de interesse, design, implementação e utilização de sistemas de gerenciamento de manutenção computadorizado - CMMS como uma ferramenta de otimização da gestão de ativos físicos, que é deixada em aberto a necessidade de investigação nesta área, procurando aplicativos que fornecem soluções para os requisitos do setor produtivo para contribuir para a sua competitividade.

Palavras-chave: Gestão da Qualidade Total (GQT), (Just in time) JIT, manutenção produtiva total (TPM), Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM), sistema de gerenciamento de manutenção computadorizado (CMMS).

1. PROBLEMÁTICA ALREDEDOR DEL MANTENIMIENTO Y SU GERENCIA:

Actualmente la mayoría de las organizaciones se preocupan por adoptar estrategias de mejora de procesos como la calidad y el mejoramiento continuo, y el aprovechamiento de sus beneficios en la optimización de recursos le permite a dichas organizaciones alcanzar sus metas; además, el aumento de la competencia mundial en fabricación también lleva a muchas organizaciones a buscar maneras de obtener ventajas con respecto a costos, calidad y tiempo de entrega; esto ha traído cada vez más atención sobre la gestión del mantenimiento por el papel que juega en contribuir a la productividad general de una organización (T. Luxhej, O. Riis, & Thorsteinsson, 1997); así que hoy, en la búsqueda del mejoramiento continuo, es esencial la implementación de programas de mantenimiento

eficaces para las organizaciones contemporáneas (Eti, Ogaji, & Probert, 2006). La gestión del mantenimiento juega un importante papel en mejorar la eficiencia general de una organización ayudando a mantener la continuidad y evitar los costosos tiempos de inactividad. Y aun así, ha habido pocos estudios sobre mejora de las organizaciones con la gestión del mantenimiento, convirtiéndola en un tema poco investigado (Abreu, Ventura Martins, Fernandes, & Zacarias, 2013).

La misma competencia mundial también lleva a las organizaciones manufactureras a incorporar nuevas tecnologías, destinadas a mejorar sus rendimientos, pero estas nuevas tecnologías son a menudo más difíciles de mantener, y sus averías suelen llegar a ser más costosas y perjudiciales; y de todas formas, los gerentes tienden a dar poca atención a cómo las tecnologías de producción más sofisticadas afectan a la función

mantenimiento de sus organizaciones (Swanson, 1997). Varios estudios de una amplia gama de sectores industriales indican que la baja disponibilidad y la baja productividad, propias de algunos países, causan el cierre de empresas desencadenando una comprensión de los retos estratégicos impuestos a la gestión del mantenimiento, al grado de entender que el entorno de negocios cada vez más competitivo ha aumentado la importancia estratégica de la función mantenimiento, especialmente en organizaciones con importantes inversiones en activos físicos (Eti, Ogaji, & Probert, 2006). Lo que lleva a que la función mantenimiento se encuentre ahora inundada por múltiples herramientas, prácticas y prescripciones, que la vuelven más compleja (Crespo Marquez & Gupta, 2006). Así pues, que los entornos diversificados, la evolución tecnológica, los mercados de externalización y el desarrollo en las *Tecnologías de Información (TI)* son factores que influyen considerablemente en la gestión del mantenimiento industrial actual y futuro, hoy se entiende entonces, que el mantenimiento de los activos físicos requiere un conjunto de habilidades mejoradas y más sofisticadas con una demanda de conocimientos actualizados continuamente; las soluciones en mantenimiento implican el aumento de la colaboración de expertos para resolver problemas complejos que implican el cambio de los métodos de mantenimiento haciendo indispensable la colaboración multidisciplinaria de expertos en la toma de decisiones (Potes Ruiz, Kamsu-Foguem, & Noyes, 2013).

Pero, volviendo al tema inicial, la presión competitiva obliga a mirar posibilidades de mejora, pero como la gestión de activos físicos ahora representa una parte cada vez mayor de los costos operativos, se está dirigiendo mayor atención a ella y se han visto aplicaciones industriales importantes como el *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability Centered Maintenance - RCM)* y el *Mantenimiento Productivo Total (Total Productive Maintenance - TPM)* (Hipkin & De Cock, 2000). Pero todas estas herramientas tradicionalmente se separan, tanto en la investigación como en la práctica en organizaciones, a pesar de que sus objetivos se superponen en gran medida, pues su objetivo común es lograr la calidad óptima del producto, el

menor tiempo de inactividad y la reducción de costos mediante el control de las variaciones en el proceso (Zhou & Zhu, 2008). El reto está en cómo fusionarlas efectivamente de tal manera que potencien sus fortalezas, el apoyo de TI se va volviendo cada vez más indispensable.

Problemática de la información en mantenimiento:

El análisis de confiabilidad, y la gestión por indicadores en general, enfrenta el problema de la imprecisión de los datos que lleva a malas estimaciones de parámetros y a decisiones erróneas acerca de los intervalos de reemplazo y las actividades de mantenimiento (Alkali, Bedford, Quigley, & Gaw, 2009), volviendo imprescindible el uso de sistemas de CMMS para tener una ventaja competitiva en términos de tiempo y costos (Bueno Espindola, Fumagall, Garetti, Pereira, Botelho, & Ventura Henriques, 2013); según lo anterior, el propósito de CMMS debe ser considerado en las organizaciones y debe evaluarse el nivel correcto de TI que contribuirá a la gestión exitosa del mantenimiento, es decir, el nivel que permite una correcta planificación, realización y seguimiento de las actividades de mantenimiento de acuerdo con la estrategia adaptada (Kans, 2008); porque después de años de experiencia operativa, hay compañías que afirman que el uso de CMMS conduce a un mejor sistema de mantenimiento, tal que contribuye con la disminución del tiempo no productivo (Godot, 1998).

También hay que tener en cuenta que *TI* y *CMMS* exigen el uso de equipos electrónicos, motor primario de la era de la información y el mundo automatizado, sin embargo, dichos equipos son muy afectados por algunas variables ambientales como la temperatura, la humedad, el polvo y los insectos, por tanto, se ha hecho necesario examinar cómo algunos de estos factores afectan a la confiabilidad general de la organización (Oyebisi, 2000).

Problemática del mantenimiento a infraestructuras:

Todas las organizaciones cuentan con infraestructura para la fabricación o prestación de servicio, una gran cantidad de investigaciones ha hecho hincapié en la función mantenimiento a

infraestructuras, recordando que la función suele desenvolverse entre ingenierías mecánica, eléctrica, instrumental y civil. Las organizaciones municipales cuentan con elementos de infraestructura como lo son los servicios domiciliarios, sus proveedores son empresas que se ocupan de la infraestructura de redes de distribución como gas, electricidad, teléfono, televisión e internet, excluyendo el agua que se considerará parte de infraestructura civil; la infraestructura de estos servicios requiere el desarrollo de capacidades especiales para la gestión del mantenimiento, con el fin de satisfacer las necesidades de los usuarios; en este sector los sistemas de información de gestión de mantenimiento son esenciales para garantizar el control, la adquisición de datos, y mejorar la toma de decisiones (Gomez Fernandez & Crespo Márquez, 2009).

Otro importante elemento de infraestructura municipal es la infraestructura civil como alcantarillado, acueducto, vías, y demás, que son el apoyo a la estructura de la sociedad como sistema técnico complejo que ofrece una variada gama de servicios esenciales y representa recursos y riquezas heredables a las siguientes generaciones; la gestión de activos tiene una gran influencia en su desarrollo y uso, pero se ha ejecutado sin reconocer plenamente la complejidad, la diversidad y la evolución social y tecnológica del sistema, por lo que, casi inevitablemente, se malgastan los recursos económicos, ambientales, sociales, y culturales, de muchas organizaciones municipales; los retos para la gestión más eficiente de estos activos son sustanciales, las ineficiencias son extensas: tráfico en vías, reparación de vías y acueductos, des-taponamiento de alcantarillado, etc. (Di Sivo & Ladiana, 2011). Se ha llamado la atención sobre el hecho de que la calidad del mantenimiento de puentes y vías debe tener una relación directa con su uso y nivel de servicio que prestan, lo cual debe ser estudiado (Yin, Li, Guo, & Li, 2011), pero en las empresas que gestionan la infraestructura hay sistemas de gestión de activos que requieren, nuevamente, la información de manera eficiente en el proceso de toma de decisiones, lo que, al no hacerse, resulta en una cantidad de tiempo y esfuerzos perdidos (Di Sivo & Ladiana, 2011).

El mantenimiento de las infraestructuras de ferrocarriles metropolitanos (sistemas de transporte urbano) juega un papel crucial en el transporte ferroviario, su objetivo es garantizar la seguridad de las operaciones y la disponibilidad de las vías y el equipo relacionado con la regulación del tráfico, además implica un costo importante para las operaciones de transporte, por lo que aumenta la exigencia por parte de los usuarios del transporte, haciendo necesarias las mejoras del mantenimiento con el objetivo de reducir sus gastos, mientras se mantiene la seguridad de las operaciones (Macchi, Garetti, Centrone, Fumagalli, & Pavirani, 2012). Por otro lado, pero continuando con el tema del transporte urbano, la importancia de la gestión de mantenimiento en el incremento de la eficiencia energética de flotas de vehículos no sólo influye en el proceso mismo de mantenimiento del vehículo, sino también en el proceso de transporte y en el medio ambiente. Con el fin de aumentar la eficiencia energética de una flota por medio de una adecuada gestión de mantenimiento, es indispensable observar: 1. el proceso de mantenimiento, 2. el proceso de transporte, y 3. el medio ambiente; y dado que sus efectos pueden ser representados por diferentes indicadores, se debe analizar la influencia de ellos en las áreas mencionadas a la hora de tomar decisiones (Vujanovic, Momcilovic, Bojovic, & Pagic, 2012).

2. APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS DE INVESTIGACIÓN AL ESTUDIO DE LA GERENCIA DEL MANTENIMIENTO:

Entre las metodologías de investigación aplicadas a la gerencia del mantenimiento, reportadas por diferentes autores en el mundo, se encuentran evaluaciones a estados del arte de la gestión del mantenimiento, uso de encuestas y diferentes técnicas de recopilación de datos, uso de técnicas estadísticas para el tratamiento de datos obtenidos, e incluso la simulación en casos de desarrollo o utilización de algoritmos y modelos numéricos. En cuanto a revisiones bibliográficas se encuentra, por ejemplo, que Crespo y Gupta, pertenecientes a los Departamentos de Administración Industrial de la Universidad de Sevilla (España), y de Contabilidad y Sistemas de Información de la Universidad de Alabama (EEUU), respectivamente, aunaron

esfuerzos en revisar los conceptos, procesos y estándares disponibles para ayudar a mantener los complejos sistemas de hoy, y analizan los aspectos estratégicos, tácticos y operacionales del mantenimiento, esto lo hacen con el fin de proponer un marco de la función mantenimiento en organizaciones que caracteriza los factores que generan complejidad, y establecer una estructura para ayudar a completar las tareas en cada nivel organizacional de cualquier empresa (Crespo Marquez & Gupta, 2006). Con el mismo objetivo, Luxhej, Riis y Thorsteinsson, de las Universidades de Rutgers (EEUU), de Aalborg (Dinamarca), y Técnica de Dinamarca, respectivamente, presentaron una visión general de las tendencias y perspectivas en el mantenimiento industrial tras una evaluación comparativa entre sus países, utilizando estudios de caso en tres empresas manufactureras y examinando sus métodos de mantenimiento, sistemas de conocimiento, organización y sistemas de información (T. Luxhej, O. Riis, & Thorsteinsson, 1997). Por otro lado, O'Donoghue y Prendergast del Departamento de Ingeniería Mecánica y Fabricación del Instituto de Tecnología de Tralee (Irlanda) examinan la base de diversas estrategias de gestión de mantenimiento internacional utilizadas en la fabricación, prestando especial atención a los CMMS, y a cómo esta estrategia particular se implementó con éxito en una empresa de fabricación textil de tamaño mediano en su país (O'Donoghue & Prendergast, 2004). Nótese el interés mundial en el tema, pero es de resaltar el trabajo mancomunado entre países, además cabe anotar que aunque en la sección anterior se informó que la función mantenimiento suele desenvolverse entre ingenierías mecánica, eléctrica, instrumental y civil, sus más asiduos investigadores y teóricos estudian ciencias de la organización en facultades de administración y economía, se seguirá resaltando la proveniencia de los investigadores para notar este hecho.

En la investigación organizacional, la encuesta ha sido una herramienta infalible en la obtención de información para caracterizar diversos fenómenos, es por esto que para proponer un proceso genérico de gestión de mantenimiento que resultara útil en diversas organizaciones en Malasia,

Zawawi de la Facultad de Arquitectura y Planeación de la Universidad Tecnológica de Mara, junto a Kamaruzzaman, Ithnina, y Zulkarnain del Departamento de Construcción de la Facultad de Medio Ambiente de la Universidad de Malaya, investigaron las prácticas actuales de gestión de mantenimiento en las organizaciones de su país, y las estrategias, normas y reglamentos que aplicaba, para proponer el establecimiento de una organización, y unas políticas y normas de calidad; su grupo objetivo para el muestreo de los datos fueron las organizaciones de las autoridades locales en Selangor, los encuestados fueron las personas encargadas del mantenimiento de infraestructura municipal (Zawawi, Kamaruzzaman, Ithnin, & Zulkarnain, 2011). De la misma manera, a través de encuestas a gerentes, pero para estudiar la relación entre las características de la tecnología de producción y las prácticas de mantenimiento, Laura Swason del Departamento de Administración de la Universidad de Edwardsville (EEUU), se basó en las respuestas de una encuesta a gerentes de producción y gerentes de mantenimiento (Swanson, 1997). Otro ejemplo de uso de encuestas lo brindan los investigadores surcoreanos Kwon y Chun del Departamento de Vivienda y Diseño de Interiores de la Universidad de Yonsei, quienes junto a Kwak del Departamento de Ingeniería Arquitectónica de la Universidad de Hannam, llevaron a cabo dos encuestas para investigar la correlación entre el servicio de gestión de mantenimiento de edificios y la satisfacción de sus ocupantes, aplicadas a siete edificios de oficinas en Seúl (Kwon, Chun, & Kwak, 2011).

Por otro lado, apoyándose en la experiencia profesional y valorando la experticia, Gómez y Crespo del Departamento de Administración Industrial de la Universidad de Sevilla (España), aprovechan su experiencia profesional de más de 10 años en este sector y propusieron un marco consistente con los procesos y sistemas para la mejora continua de las actividades de mantenimiento de redes de servicio (Gomez Fernandez & Crespo Márquez, 2009). Los investigadores chinos Xiao, Chen, y Zhong de la Universidad de Chongqing, de las escuelas de Ciencias Económicas y Empresariales, Automatización, y Matemáticas y Ciencias, respectivamente, también valoraron la

experticia y emplearon las decisiones de un panel de expertos para desarrollar y entrenar un modelo de tablas de decisión que demostró ser factible y preciso (Xiao, Chen, & Zhong, 2010).

Una vez recopilada la información de expertos y usuarios, sea por consulta de literatura especializada, por encuesta, por panel, o por cualquier otro medio, los investigadores aplican diversas técnicas estadísticas de inferencia a los datos recolectados, por ejemplo Durán de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile) propone una metodología difusa para la evaluación comparativa de diversas alternativas de CMMS, que se basa en el método de decisión con objetivos múltiples llamado *Proceso Analítico por Jerarquías (Analytic Hierarchy Process – AHP)* con números triangulares, implementa un prototipo de software para la aplicación de este método, e ilustra y valida el enfoque propuesto y el prototipo de software desarrollado (Durán, 2011). Por otro lado, Laura Swason aplicó el modelo de procesamiento de información llamado *Modelo Estrella de Galbraith (Galbraith's Star Model – GSM)* para estudiar cómo la función mantenimiento aplicaba diferentes estrategias para hacer frente a la complejidad del entorno, basándose, como se mencionó antes, en datos de una encuesta a gerentes de planta (Swanson, An information-processing model of maintenance management, 2003). Se ha querido resaltar en toda esta sección, la interdisciplinariedad de los investigadores que abordan la temática, y la interacción de diferentes Departamentos, Universidades, e incluso países, en la investigación acerca de la gerencia del mantenimiento; pero la participación de investigadores y teóricos de facultades de administración y economía, se resaltarán aún más en la próxima sección.

3. INTEGRACIÓN DE TÉCNICAS ADMINISTRATIVAS A LA GERENCIA DEL MANTENIMIENTO:

Hipkin de la Escuela de Estudios Administrativos de la Universidad de Ciudad del Cabo (Sudáfrica), junto a De Cock de la Escuela de Economía y Negocios de la Universidad de Exeter (Reino Unido), estudiaron una serie de postulados tras una revisión de la literatura sobre la implementación en

mantenimiento de *Calidad Total (Total Quality Management – TQM)*, *Reingeniería de Negocios (Business Process Reengineering – BPR)* y *Justo a Tiempo (Just In Time – JIT)*, considerando entre sus principales aplicaciones al RCM y al TPM (Hipkin & De Cock, 2000). Mientras que Duthie de la empresa de consultoría energética y ambiental AEA Technology (Reino Unido) aplicó la *Evaluación Probabilística de Riesgo (Probabilistic Risk Assessment – PRA)* al RCM, discutiendo métodos como los propuestos por la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) sobre Inspección Basada en Riesgo (*Risk-Based Inspection – RBI*) y otros que identifican elementos para la atención de mantenimiento y luego calculan el riesgo (Duthie, Robertson, Clayton, & Lidbury, 1998). Por otro lado, Zhou y Zhu, de la Escuela de Administración de Negocios de la Universidad Tecnológica del Sur de China, analizaron la integración del *Control Estadístico de Procesos (Statistical Process Control – SPC)* a la gerencia del mantenimiento, y proporcionaron un modelo integrado con *Gráficos de Control (Control Chart – CC)*, aplicaron un modelo matemático para analizar el costo del modelo integrado, y utilizaron un enfoque de red de búsqueda para encontrar los valores óptimos de las variables políticas que minimizarían el costo por hora, finalmente, llevaron a cabo un experimento numérico para investigar los efectos de los parámetros de costos en la solución de diseño (Zhou & Zhu, 2008). Aun más, Zawawi y su equipo, integran la herramienta *Factores Críticos de Éxito (Critical Success Factors – CSF)*, que se usa para medir el desempeño de una organización para lograr su misión, al mantenimiento de edificaciones, ya que podrían ayudar a identificar la causa de fallos, así como a mejorar el sistema (Zawawi, Kamaruzzaman, Ithnin, & Zulkarnain, 2011). Otro ejemplo lo dan Gabbar, Suzuki y Shimada del Departamento de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Okayama (Japón) cuando lograron la integración de proceso RCM con el CMMS MAXIMO®, la lógica del proceso aplicó *Estudios de Riesgos y Operabilidad (Hazard and Operability Study – HAZOP)*, *Análisis de Modos y Efectos de Falla (Failure Mode and Effect Analysis – FMEA)* y *Análisis de Árbol de Fallas (Fault Tree Analysis – FTA)* para analizar y evaluar todo tipo de fallo en forma cuantitativa, mientras que combinan las funciones de

distribución de probabilidad: Monte Carlo, algoritmo genético y Weibull, que se emplearon para optimizar las tareas de mantenimiento (Gabbar, Suzuki, & Shimada, 2001).

La intención de integración de metodologías administrativas a la función mantenimiento de las organizaciones fue más allá en manos de Paula Andrea Potes Ruiz y su equipo del Laboratorio de Ingeniería de Producción de la Universidad de Toulouse (Francia), quienes lograron la formalización del vocabulario integrando *Gráficos Conceptuales (Conceptual Graphs - GC)* para mejorar la comunicación y el intercambio de conocimientos entre expertos y personal técnico, lograron la gestión del conocimiento de varios expertos integrando el *Modelo de Creencias Transferible (Transferable Belief Model - TBM)* para apoyar la toma de decisiones, y lograron la solución de problemas de mantenimiento integrando una variante del mecanismo de Razonamiento Basado en Casos (Case-Based Reasoning - CBR) para dar solución a problemas nuevos basados en las soluciones de problemas similares en el pasado (Potes Ruiz, Kamsu-Foguem, & Noyes, 2013). Otra aplicación de técnicas para apoyar la toma de decisiones es la presentada por Xiao y su equipo, que consiste en un modelo que combina las relaciones de equivalencia de la teoría de conjuntos a estructuras algebraicas para la construcción de tablas de decisiones con cierto número de objetos (Xiao, Chen, & Zhong, 2010). Por su parte, los investigadores portugueses Meneses y Ferreira de la Escuela de Tecnología y Gerencia del Instituto Politécnico de Coimbra, y del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Coimbra, respectivamente, presentaron una herramienta que ayuda al *Análisis de Decisión con Objetivos Múltiples (Multi-Objective Decision Analysis - MODA)* para la toma de decisión, y se probó con los datos del Sistema de Gestión de Pavimentos de Portugal considerando tres diferentes objetivos: minimización de los costos de agencia (costos de mantenimiento y reparación); minimización de los costos a los usuarios; y maximización del valor residual de pavimentos (Meneses & Ferreira, 2012). Otra aplicación adicional puede encontrarse en el modelo propuesto por Vujanovic, Momcilovic, Bojovic, y Papic de la Facultad de Ingeniería de Transporte y

Tráfico de la Universidad de Belgrado (Serbia) para evaluar la interdependencia de indicadores teniendo en cuenta sus pesos relativos, los indicadores apropiados fueron definidos y posteriormente utilizados en la gestión de mantenimiento de una flota de vehículos, para determinar los niveles e intensidades de la interdependencia, así como el peso relativo de los indicadores seleccionados, combinaron dos métodos: *Laboratorio de Toma y Evaluación de Decisiones (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory - DEMATEL)* y *Proceso Analítico en Red (Analytic Network Process - ANP)* (Vujanovic', Momcilovic, Bojovic, & Papic, 2012).

Metodologías administrativas: Calidad y JIT:

El concepto de calidad ha evolucionado con el tiempo, a principios del siglo XX significaba inspeccionar los productos para garantizar que se cumplieran las especificaciones, en los 40's, con Walter A. Shewhart adquirió naturaleza estadística por sus CC, y hasta los 60's, con los gurús de la calidad: W. Edwards Deming, Joseph M. Juran, o Armand V. Feigenbaum, comenzó a ser vista como algo que abarcaba toda la organización, no sólo producción, también mantenimiento, Philip B. Crosby introduce el concepto de cero defectos, y desde los 70's cada función organizacional se centra en mejorar su calidad para ser más competitiva, con el cliente interno de Kaoru Ishikawa, quien aporta también sus Diagramas de *Causa Efecto (Cause - Effect Graphs - CEG)*, muy útiles en el *Análisis de Causa Raíz (Root Cause Analysis - RCA)*; desde los 80's y hasta hoy, la calidad se demuestra por certificaciones, el término que se utiliza es TQM, y se caracteriza por el enfoque al cliente, el mejoramiento continuo (Kaizen), la participación de los empleados, el uso de las herramientas de calidad, el diseño del producto (cuando surge el concepto de confiabilidad), la gestión de proceso, y la gestión de calidad de proveedores; desde 1987 se publicó el primer conjunto de normas para la gestión de la calidad: ISO 9000 y su vigencia ha sido actualizada hasta hoy (George & Weimerskirch, 1998).

La ISO 9000 es un conjunto de normas que aplican en cualquier tipo de organización o actividad orientada a la producción de

bienes o servicios y especifica la manera en que debe operar sus estándares de calidad, tiempos de entrega y niveles de servicio, ella pertenece a una interesante familia, la ISO 14000 es un estándar de gestión ambiental que aplica a organizaciones en busca de reducir sus impactos en el ambiente y cumplir con la legislación en materia ambiental, la ISO 18000 orienta a las organizaciones a la gestión de la seguridad y la salud ocupacional permitiéndoles identificar y evaluar los riesgos laborales desde el punto de vista de requisitos legales, la ISO 50000 facilita a las organizaciones la gestión energética para la reducción de sus consumos de energía y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, por último, la ISO 55000 abarca la gestión de los activos físicos y especifica la gestión optimizada de los activos de infraestructura física (ISO, 2015). Ésta última es un modelo gerencial de mantenimiento, tal que en un Sistema de Gestión Integral completo, el Gerente General tendría la responsabilidad de la función mantenimiento, esto resulta en algo similar al modelo de TPM que se tratará más adelante.

JIT es contemporánea a la calidad, pues, aunque hay quienes se lo atribuyeron a Henry Ford a principios del siglo XX, es incorrecto porque su sistema era sin variedad y para grandes volúmenes, realmente *JIT* fue inventado por Taiichi Ohno de Toyota en los 40's, diseñado para manejar volúmenes grandes o pequeños de variedad de piezas, a partir del sistema Kanban trasladando las máquinas a celdas de fabricación con la idea central de eliminar los residuos, y se ha convertido en un sistema totalmente flexible en el que las tasas de producción se determinan por el usuario final en lugar del oferente del servicio; *JIT* es imposible sin calidad, ésta se ve reforzada directamente por *JIT*, aunque es posible sin él; en un entorno *JIT*, cada cliente interno debe ser satisfecho por la operación anterior (AIDT, 2006), conceptos base del *TPM*, y totalmente aplicables al servicio de mantenimiento y a producción como su cliente interno, o técnicas valiosas como *Un Minuto para Cambiar el Formato* (*Single-Minute Exchange of Die - SMED*).

Ciertamente el concepto de *BPR* es más reciente, pero algunos investigadores sostienen que el concepto original de

reingeniería se remonta a las teorías de gestión del siglo XIX cuando Frederick Taylor sugirió aplicar reingeniería para descubrir las mejores formas para realizar el trabajo, y Henri Fayol la propuso para obtener la ventaja óptima de los recursos disponibles; sostienen que lejos de ser nueva, es de hecho una vuelta a la escuela clásica de pensamiento estratégico, popularizada en los 60's; sin embargo, se acordó que *BPR* llegó y atrajo la atención académica e industrial en los 90's por Michael Hammer y Thomas Davenport, propuesto como el cambio radical al asumir el reto, orientado al proceso y la meta, con reestructuración organizacional y explotación de tecnologías de apoyo, en particular TI (Chen, 2001); su metodología de análisis de procesos, eliminación de procedimientos no esenciales o redundantes, y rediseño de operaciones, ha sido particularmente útil a la función mantenimiento.

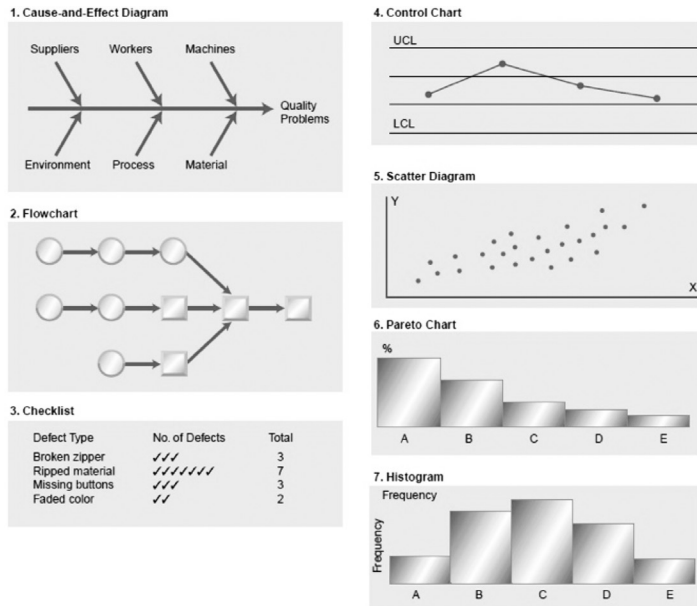
Metodologías administrativas: Estadística y Técnicas Gráficas:

Las siete herramientas de control de calidad, que fueron citadas arriba, se presentan en la Figura 1, y son ampliamente utilizadas en la gestión del mantenimiento. Tal como se mencionó, Shewhart fue el primero en utilizar el SPC, después fue usado por Deming; Shewhart creó la base para el CC y el concepto del SPC durante experimentos diseñados cuidadosamente, inspirado en teorías matemáticas y estadísticas puras, pero descubrió que los procesos físicos raramente producen una distribución normal o gaussiana, así que las variaciones podían ser controladas o no (Howard, 2003).

Otra herramienta gráfica que se ha aplicado a la gestión del mantenimiento es el CG, de desarrollo posterior, porque aunque desde los 60's las representaciones semánticas basadas en grafos eran populares en lingüística teórica y computacional con Margaret Masterman, Silvio Ceccato y David Hays, ninguno de ellos logró expresar la lógica de primer orden completa, solo hasta los 70's, Sowa desarrolló su CG como un lenguaje intermedio para el mapeo de preguntas y afirmaciones de lenguaje natural a una base de datos relacional (van Harmelen, Lifschitz, & Porter, 2008) que, tal como se mencionó anteriormente, ha

sido de utilidad para mejorar la comunicación entre niveles organizacionales de la función mantenimiento alrededor del vocabulario técnico para el aprovechamiento de la experticia, que también se ha logrado con estrategias de toma de decisiones que serán discutidas más adelante.

Figura 1. Las siete herramientas de control de calidad.



Fuente: Tomado de Kesler & Kates (2010).

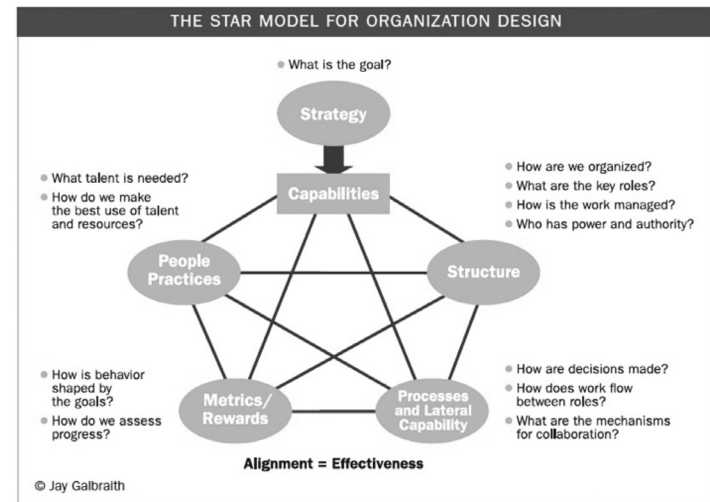
Otro recurso, que podría considerarse gráfico y de cuya aplicación se hizo referencia, fue el GSM que se muestra en la Figura 2, y que ha sido el estándar de oro para la conceptualización de diseño organizacional desde principios de los 70's y ha demostrado ser simple, pero poderoso para guiar gerentes a la coordinación de estructuras, procesos, indicadores y talentos, al apoyo de alguna estrategia; su gran idea es que no hay una configuración "correcta" de los recursos, sino que diferentes estrategias requieren diferentes formas de organización (Kesler & Kates, 2010).

Metodologías administrativas: Riesgo y Confiabilidad:

También en los 70's, Ford introdujo a la industria automotriz

el concepto de *FMEA* o también, *Análisis de Modos, Efectos y Criticidad de Fallas (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis - FMECA)*, que había sido desarrollado por el ejército de EEUU desde finales de los 40's, y que es concepto base del *RCM*, propone examinar las fallas potenciales de productos, servicios o procesos, y sus efectos en el usuario final o en la calidad del proceso. Hay otras herramientas que son útiles en conjunción con el *FMEA* como la *Lluvia de Ideas*, el *FTA* o la *Administración Basada en Riesgo (Risk Based Management - RBM)* (Ucalgary, 2015).

Figura 2. Modelo Estrella de Galbraith.



Fuente: Tomado de George & Weimerskirch (1998).

Otra herramienta nacida en la ingeniería militar y aeronáutica, y que posteriormente se hizo herramienta de las organizaciones industriales, es el *FTA* desarrollado por H. Watson de Bell Labs en los 60's para la fuerza aérea y solo hasta los 70's fue empleado por la industria nuclear, y tras el desarrollo de códigos y algoritmos, y la divulgación de artículos técnicos vino a ser adoptada por la industria química en los 80's, hoy en día herramienta de innumerables industrias incluidas robótica y software, y en general, ampliamente utilizado en la seguridad y la confiabilidad de los sistemas de ingeniería, y método aceptable para el *Análisis de Riesgos de Proceso (Process Hazard Analysis -*

PHA) según ISO 18000 (Ericson, 2000). HAZOP data de los 60's en la Industria Imperial de Químicos, una importante empresa química británica donde surgió según Trevor Kletz quien acuñó el término en los cursos impartidos en la Institución de Ingenieros Químicos en el Politécnico de Teesside también en los 80's; HAZOP es una técnica estructurada y sistemática para el examen del sistema y la gestión de riesgo, para identificar los peligros potenciales y los problemas que puedan dar lugar a productos no conformes (Product Quality Research Institute, 2015). Por su parte, el PRA es una metodología para evaluar los riesgos asociados a una entidad tecnológica compleja, algunos métodos comunes en su aplicación son *Análisis de Árbol de Eventos (Event Tree Analysis - ETA)*, *FTA, Análisis de Confiabilidad Humana (Human Reliability Analysis - HRA)*, *Análisis de Causas Comunes de Fallas (Common-Cause-Failure Analysis - CCF)*; ya que aumento el impulso para una evaluación más consistente de seguridad a finales de los 60's en plantas nucleares, a principios de los 70's el profesor Norman Rasmussen del MIT introdujo este novedoso enfoque probabilístico, sistemático e integral a la evaluación de la seguridad para demostrarla en centrales nucleares (Keller & Modarres, 2005). Otra metodología relacionada es el *RBI*, proceso óptimo de mantenimiento utilizado para examinar equipos tales como recipientes a presión, intercambiadores de calor y tuberías en plantas industriales; es muy utilizado en las industrias del petróleo y el gas; se relaciona con *RBM, Gestión de Activos Basada en Riesgo (Risk Based Asset Management - RBAM)*, *Gestión de la Integridad Basado en Riesgo (Risk Based Integrity Management - RBIM)*, y *Gestión de Riesgos y Confiabilidad (Risk and Reliability Management - RRM)*; su origen para la industria de procesos radica en la cooperación entre la Det Norske Veritas y el Instituto Americano del Petróleo a principios de los 90's (Maarten, 2002).

Metodologías administrativas: Toma de decisiones:

Aunque el concepto de decisión date de la Antigua Grecia, pensadores como Benjamin Franklin en el siglo XVIII aportaron el enfoque de tomar en cuenta explícitamente los pros y los contras de una pluralidad de puntos de vista, es decir,

el dominio de la *Toma de Decisiones con Criterios Múltiples (Multiple-Criteria Decision Making - MCDM)* o el *Análisis de Decisión con Criterios Múltiples (Multiple-Criteria Decision Analysis - MCDA)*, solo han sido un área activa de investigación desde los 70's, considerado el punto de partida oficial, la conferencia organizada en 1972 por Cochrane y Zeleny en la Universidad de Columbia en Carolina del Sur (Figueira, Greco, & Ehrgott, 2003). MCDA presenta situaciones en las que se evalúan alternativas limitadas y conocidas para encontrar la mejor, esas situaciones se conocen como *Análisis de Decisión Multiatributo (Multi-Attribute Decision Analysis - MADA)*, o situaciones que se pueden evaluar en un dominio especificado pero no con alternativas específicas, este es el análisis MODA (Giguère, 2010). Por su parte, DEMATEL es una metodología para investigar y resolver problemas complejos y entrelazados con capacidad para la verificación de la interdependencia entre las variables, Fontela y Gabus lo han empleado desde los 70's logrando resolver problemas complejos globales en lo científico, lo político y lo económico, considerando las actitudes de muchos expertos; DEMATEL también podría ser combinado con otros métodos multicriterio como *AHP* o *ANP* para cuantificar y realimentar las relaciones de dependencia entre ciertos criterios, en estos casos la decisión final se efectuará por DEMATEL, aplicando como parte de un modelo MCDM híbrido (Falatoonitoosi, Leman, Sorooshian, & Salimi, 2013). Thomas Saaty de la Universidad de Pittsburgh es reconocido por su *AHP* y su generalización a decisiones en red, *ANP*, y su aplicación, también desde los 70's, a la toma de decisiones, la planificación, y la resolución de conflictos (Saaty, 2008); *AHP* es un método MCDM desarrollado para satisfacer los grandes desafíos de situaciones de decisión con múltiples, e incluso contradictorios, criterios; en lugar de prescribir una decisión "correcta", ayuda a encontrar la que mejor se adapte a las necesidades y comprensión del problema (Zhang, 2010).

La toma de decisiones, tal como se ha mencionado, dispone una diversidad de herramientas, la *Teoría de Evidencias Dempster-Shafer (Dempster-Shafer Theory - DST)*, desarrollada a finales de los 60's, presenta un marco general para el razonamiento con

incertidumbre, con conexiones a otros marcos como las teorías de probabilidad, posibilidad y probabilidad imprecisa, que permite que se combinen evidencias de diferentes fuentes para llegar a una creencia (representada por un objeto matemático llamado función creencia) que tenga en cuenta todas las evidencias disponibles; las primeras contribuciones han sido puntos de partida de técnicas como *TBM*, que fue desarrollada por Philippe Smets a finales de los 80's, el modelo tiene el mismo objetivo que el modelo bayesiano, es decir, representar disposiciones que guíen el comportamiento de una organización, se usa la palabra "creencia" en un sentido amplio, podría ser credibilidad cuantificada, o fuerza de opinión, y no son categóricas como en la lógica modal, pero admiten grados como en la teoría de la probabilidad (Smets, 1996). El *CBR* es el proceso de solucionar nuevos problemas basándose en las soluciones de problemas anteriores, tiene sus raíces en el trabajo de Roger Schank en la Universidad de Yale a principio de los 80's, resulto un gran aporte a la investigación emergente en Sistemas Expertos Basados en Reglas (Rule-Based Expert Systems – RBES) (Pantic, 2005).

4. MODELOS GERENCIALES DEL MANTENIMIENTO:

En 2006, Canales, Pacheco y Sarno, presentaron el fundamento filosófico del modelo gerencial de mantenimiento, debido al éxito limitado de las iniciativas para la mejora de la gestión del mantenimiento y de los activos, lo que obedece a la falta de coordinación entre los componentes del sistema: personas, procesos e infraestructura, según ellos el modelo gerencial de mantenimiento debe ser el marco referencial para la mejora de la gestión con un enfoque sistemático e incluyente orientado a considerar factores como rentabilidad, seguridad, confiabilidad, mantenibilidad y calidad como claves y determinantes, ver Figura 4; afirman que a objeto de que un modelo gerencial de mantenimiento sea compatible con las iniciativas de mejora organizacionales existentes es imprescindible que él mismo considere e incluya diversos elementos de tales iniciativas, y destacan según su clasificación a: para las personas, *la Gerencia del Cambio (Change Management – CM)*, *el HRA*, y *la Ergonomía*; para los procesos, *TPM*, *TQM*, *Mantenimiento*

de Clase Mundial (World Class Maintenance – WCM) o *Mantenimiento Esbelto (Lean Maintenance – LM)*, *Análisis de Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment – LCA)*, *Análisis de Costo de Ciclo de Vida (Life Cycle Cost Analysis – LCCA)*, y *el Seis Sigma (Six Sigma - 6σ)*; y por último, para la infraestructura, *RCM*, *RBI*, *FMECA*, *RCA*, *CMMS*, *Sistema de Planificación de Recursos Empresariales (Enterprise Resource Planning – ERP)*, y *Sistemas Expertos (Expert System – ES)* (Canales, Pacheco, & Sarno S., 2006). Por su parte, en 2010, Stamm, Neitzert y Singh, estudiaron la evolución de las metodologías de fabricación en el marco del cambio de paradigma de taylorismo / fordismo al toyotismo, en la tabla 1 se reporta su comparación entre las metodologías *TPM*, *TQM*, *6σ*, *LM* y *la Teoría de Restricciones (Theory Of Constraints – TOC)*; tras el estudio concluyen que la sostenibilidad y su axioma inherente de uso prudente de nuestros recursos restantes como la restricción dominante van a determinar el futuro papel de la investigación y la gestión de las operaciones (Stamm, Neitzert, & Singh, 2010).

Tabla 1. Comparación entre metodologías..

	TQM	TPM	TOC	JIT - LM	6σ
Desde	60's	70's	84	88	89
Origen	Shewart, Juran, Deming, and Crosby	Nippon Denso	Goldratt	Toyota	Motorola
Foco	Reducción de la variación de procesos y productos	Reducción de las grandes pérdidas	Explotación de las restricciones y subordinación de las no restricciones con el fin de aumentar el rendimiento	Creación de valor, flujo de material e información, perfección	Reducción de la variación de procesos y productos

Tomado de (Stamm, Neitzert, & Singh, 2010)

El crédito para el desarrollo de TPM es para Seiichi Nakajima a principios de los 70's como un híbrido de mantenimiento preventivo y predictivo y varias metodologías gerenciales realizadas a través de la participación de los empleados; Nakajima comenzó a estudiar *el Mantenimiento Preventivo (Preventive Maintenance - PM)* norteamericano en los 50's, aprendió de confiabilidad y mantenibilidad, LCCA, *Cero Defectos, Mantenimiento Proactivo, Mantenimiento Autónomo*, y trabajo en equipo, entonces combinó estas prácticas para crear un proceso altamente eficaz, como resultado de su trabajo, Toyota fue capaz de reducir significativamente los problemas del equipo con *JIT*, este modelo de sistema productivo se conoce en la actualidad como *LM*, y solo hasta 1971 Nippon Denso, fabricante de piezas de automóvil, aplicó al mantenimiento la participación de los operarios de producción (Mantenimiento Autónomo) y nació el *TPM* registrado por el Instituto Japonés de Mantenimiento de Planta (Marshall Institute, 2010). Como han podido apreciar, existe una gran discusión sobre qué metodología surgió primero, cuándo y dónde fueron empleadas inicialmente, a quien deben ser atribuidas; pero en lo que concuerdan todos los autores, es en que *TPM* es un desarrollo posterior a la segunda guerra mundial y que es el resultado de un intenso intercambio industrial-cultural que se dio entre EEUU y Japón, además, en el mismo contexto surgió el *RCM*. El término *RCM* fue utilizado por primera vez por Tom Matteson, Stanley Nowlan, y Howard Heap de United Airlines para describir un proceso utilizado para determinar el mantenimiento óptimo de aeronaves, hoy esta definido por la norma técnica SAE JA1011; *RCM* es un proceso para asegurar que los sistemas siguen haciendo lo que sus usuarios requieren en su contexto operativo presente, se utiliza generalmente para lograr mejoras en campos tales como el establecimiento de niveles mínimos de seguridad, dando lugar al aumento de la rentabilidad, la confiabilidad, la disponibilidad, y a una mayor comprensión del nivel de riesgo en la organización; en su desarrollo aplica *FMECA, PM, Mantenimiento Predictivo (Predictive Maintenance - PdM), Monitoreo en Tiempo Real (Real-time Monitoring - RTM), Mantenimiento Reactivo (Run-to-Failure - RTF) y Mantenimiento Proactivo* de manera integrada para aumentar

la probabilidad de que una máquina o componente funcione en la forma requerida durante su ciclo de vida de diseño con un mínimo de mantenimiento (Cadick Corporation, 2001). Por último, *CMMS* resulta ser un conjunto de paquetes de software que mantienen una base de datos de la información de la función mantenimiento de la organización, la herramienta puede ayudar a hacer el trabajo con mayor eficacia y a tomar decisiones basándose en información real y actual; *CMMS* está estrechamente relacionado la Gestión de Instalaciones Asistidas por Computador (Computer-Aided Facility Management - CAFM) (U.S. Department of Energy, 2010), esta herramienta es necesaria para el ingreso y el procesamiento de la información de mantenimiento, por lo tanto cualquier estrategia o metodología a aplicar podría aprovechar las ventajas que ella ofrece.

5. EVOLUCIÓN DE APLICACIONES INFORMÁTICAS DESARROLLADAS PARA LA GERENCIA DEL MANTENIMIENTO:

Ya desde 1995, Hall de la empresa estadounidense Ambrake Manufacturing Ltd., junto a Biles y Leach del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Louisville, propusieron un sistema *CMMS* basado en el paquete de software AutoCAD® 12 de Autodesk, como una solución al desafío de mantenimiento en una empresa manufacturera (Hall, Biles, & Leach, 1995). En 1998, Godot, Villard, y Savournin de la empresa Forasol-Foramer, cambiaron el sistema de mantenimiento manual basado en tarjetas históricas individuales: *Tablero de Tarjetas (T-CARD BOARD)* por un *CMMS* en todas las unidades de perforación, con el objetivo de eliminar el tiempo no productivo, se seleccionó un software compuesto por módulos interconectados para manejar la gestión de órdenes de trabajo, la programación de mantenimiento preventivo, el historial de mantenimiento realizado en el equipo, los costos de equipos, el control de stock, las compras y la presentación de informes, lo más importante fue la incorporación de cerca de cuarenta años de experiencia en todo el plan de trabajo que definió; fue necesario un curso de formación *CMMS* con el fin de familiarizar al personal de alto nivel con el software a medida

y para facilitar la maniobra en el entorno Windows para el personal que no sabía, en aquella época emplear, el ordenador (Godot, 1998). Después, en 2001, investigadores japoneses de la Universidad de Okayama, arriba citados, lograron la integración de proceso RCM con el CMMS MAXIMO® de manera que las estrategias de mantenimiento cambiaran de forma dinámica a lo largo del ciclo de vida de la planta (Gabbar, Suzuki, & Shimada, 2001); y en 2003 presentaron un estudio de caso para mostrar la efectividad de la solución propuesta en base a CMMS-RCM en la optimización de mantenimiento de una planta de enfoques tradicionales (Gabbar, Yamashita, Suzuki, & Shimada, 2003). Luego, en 2007, Cerrada, Cardillo, Aguilar y Faneite del Departamento de Sistemas de Control de la Universidad de Los Andes (Venezuela) propusieron un modelo de referencia para la gestión de fallos en los procesos industriales utilizando sistemas multi-agente para sistemas de control distribuido; en este sentido, el problema de la gestión de fallos es visto como un proceso de control de retroalimentación y las acciones están relacionadas con la toma de decisiones en la planificación de tareas de mantenimiento preventivo y la ejecución de tareas específicas de mantenimiento preventivo y correctivo; desarrollaron un prototipo del sistema en Java® y validaron con un caso de estudio (Cerrada, Cardillo, & Aguilar, 2007). Al siguiente año, en 2008, Kans del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Vaxjo (Suecia), desarrolló un modelo conceptual para identificar los requerimientos de TI en gestión de mantenimiento en diferentes organizaciones (Kans, 2008).

Más recientemente, en 2011, Yin, Li, Guo, y Li del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad del suroeste de Jiao Tong (China) desarrollaron un sistema de soporte de decisiones de gestión y mantenimiento de puentes asistido por análisis inteligente (BMIADSS) basado en el análisis de requisitos, la gestión de datos de mantenimiento de puentes, la evaluación integral del estado de seguridad del puente, el análisis de decisión asistido por computador y el intercambio de información, el programa proporciona un fuerte apoyo a la plena aplicación de mantenimiento de puentes y la gestión de la información

(Yin, Li, Guo, & Li, 2011). Después, en 2013, Bueno y Botelho del Centro de Ciencias de la Computación, junto a Pereira y Ventura del Departamento de Ingeniería Eléctrica, todos ellos de Universidad Federal de Río Grande (Brasil), y junto a Fumagalli y Garetti del Departamento de Gerencia del Politécnico de Milán (Italia) presentaron el enfoque CARMMI, cuyo objetivo fue integrar la información procedente de *Herramientas Asistidas por Ordenador (Computer-Aided Technologies – CAx)*, y herramientas de realidad mixta/aumentada, con sistemas de mantenimiento inteligentes, para proporcionar apoyo a los técnicos durante las tareas de mantenimiento a través de realidad mixta, proporcionando un acceso más fácil, intuitivo y de fácil comprensión de la información de diferentes sistemas, definiendo la información sobre dónde, cuándo y qué datos se presentarán en la interfaz; su artículo presentó tres casos de prueba que se realizaron utilizando los conceptos y las infraestructuras propuestas (Bueno Espindola, y otros, 2013). Y recientemente, en 2014, Lin, Cheung, y Siao del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Tecnológica de Taipei (Taiwán) presentaron un novedoso sistema móvil, basado en identificación por radiofrecuencia y tecnologías de código de barras 2D, llamado sistema de código de barras de gestión de mantenimiento para mejorar la gestión del mantenimiento de los equipos de laboratorio e instrumentos, logrando la integración de tecnologías de información prometedoras como los teléfonos inteligentes y las agendas electrónicas habilitadas con radiofrecuencia, su aplicación demostró mejoras en el proceso de mantenimiento en un laboratorio de construcción (Lin, Cheung, Siao, 2014). Nuevamente, a lo largo de esta sección se resaltó la interdisciplinariedad de los investigadores, y la interacción de diferentes Departamentos, Universidades, e incluso países, en la investigación acerca de la gerencia del mantenimiento.

6. CONCLUSIÓN:

Los desarrollos social y tecnológico causan la necesidad y dan la posibilidad para la evolución de los modelos gerenciales de mantenimiento, y de los modelos gerenciales en general, de

los cuales debe aprovechar, la función mantenimiento, aquellas metodologías y técnicas que, dependiendo de la organización, mejor apliquen a incrementar la eficacia y eficiencia en la prestación del servicio que la define. Un problema que se ha evidenciado en el entorno local está relacionado con el hecho arriba mencionado de que la industria suele delegar la responsabilidad gerencial de su función mantenimiento en ingenieros técnicos (mecánicos, eléctricos, instrumentales, civiles...) dependiendo de la infraestructura y los procesos que caracterizan cada organización, el problema es que la formación técnica excluye, en sus perfiles, el conocimiento administrativo que les permitiría aprovechar esas herramientas que brindan los modelos gerenciales hace tanto tiempo y en constante evolución y que de alguna manera operan en cada organización y deben conversar gerencialmente con la función mantenimiento, pero que son desconocidas por sus actuales gerentes. Estudios como el acá reportado, y como los referenciados, deben seguir realizándose y divulgándose, promoviendo el contacto y la interdisciplinariedad de facultades de ciencias de la organización y facultades de ingenierías.

REFERENCIAS

- Abreu, J., Ventura Martins, P., Fernandes, S., & Zacarias, M. (2013). Business Processes Improvement on Maintenance Management: a Case study. *Procedia Technology*, 320-330.
- AIDT. (2006). Just-in-time manufacturing. N.Y. AIDT.
- Alkali, B., Bedford, T., Quigley, J., & Gaw, J. (2009). Failure and maintenance data extraction from power plant maintenance. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 139(5), 1766-1776.
- Bueno Espindola, D., Fumagalli, L., Garetti, M., Pereira, C. E., Botelho, S. S., & Ventura Henriques, R. (2013). A model-based approach for data integration to improve maintenance. *Computers in Industry*, 64(4), 376-391.
- Cadick Corporation. (2001). *What is Reliability Centered Maintenance?* Recuperado 15/3/2015 de: http://www.mainsaver.com/pdf/Reliability_Centered_Maintenance_White_Paper.pdf
- Canales, A., Pacheco, P., & Sarno S., E. (2006). Modelo Gerencial de Mantenimiento. *Reliability World 2006*. Obtenido 18/5/2015 de <http://valbuenamantenimient.galeon.com/Gerencia.pdf>
- Cerrada, M., Cardillo, J., & Aguilar, J. (2007). Agent-based maintenance management system for the distributed fault tolerance. *IFAC Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes*, 39(13) 938-943.
- Chen, Y.-C. (2001). *Empirical modelling for participative business process reengineering*. Coventry, England: University of Warwick.
- Crespo Marquez, A., & Gupta, J. N. (2006). Contemporary maintenance management: process, framework and supporting pillars. *Omega*, 34(1), 313-326.
- Di Sivo, M., & Ladiana, D. (2011). Decision-support tools for municipal infrastructure maintenance management. *Procedia Computer Science*, 3, 36-41.
- Durán, O. (2011). Computer-aided maintenance management systems selection based on a fuzzy AHP approach. *Advances in Engineering Software*, 42(10), 821-829.
- Duthie, J. C., Robertson, M. I., Clayton, A. M., & Lidbury, D. P. (1998). Risk-based approaches to ageing and maintenance management. *Nuclear Engineering and Design*, 184(1) 27-38.
- Ericson, C. (2000). *Fault tree analysis*. Obtenido 14/10/2014 de: <http://www.thecourse-pm.com/Library/FaultTreeAnalysis2.pdf>
- Eti, M. C., Ogaji, S. O., & Probert, S. D. (2006). Strategic maintenance-management in Nigerian Industries. *Applied Energy*, 83(3), 211-227.
- Falatoonitoosi, E., Leman, Z., Sorooshian, S., & Salimi, M. (2013). Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 5(13) 3476-3480.
- Figueira, J., Greco, S., & Ehrgott, M. (2003). *Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys*. Boston/Dordrecht/London: Kluwer Academic Publishers.
- Gabbar, H. A., Suzuki, K., & Shimada, Y. (2001). Design

considerations of computer-aided RCM-based plant maintenance. En: R. Gani & S.B. Jorgensen, *European Symposium on Computer Aided Process Engineering*, 11, 859 - 864.

Gabbar, H., Yamashita, H., Suzuki, K., & Shimada, Y. (2003). Computer-aided RCM-based plant maintenance management system. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 19(5), 449-458.

George, S., & Weimerskirch, A. (1998). *Total Quality Management: Strategies and Techniques Proven at Today's Most Successful Companies*. John Wiley & Sons, Inc.

Giguère, J.-D. (2010). Improvement of multicriteria analysis tools in GRASS. 2010 *Google Summer of Code*. Obtenido 25/10/2014 de http://grasswiki.osgeo.org/wiki/MCDA_in_GRASS

Godot, V. S. (1998). Implementation of a computerized maintenance. *Engineering Information Abstracts*, 959-961.

Gomez Fernandez, j. f., & Crespo Márquez, A. (2009). Framework for implementation of maintenance management in distribution network service providers. *Reliability Engineering and System Safety*, 94(10), 1639-1649.

Hall, J., Biles, W., & Leach, J. (1995). An autocad-12 based maintenance management system for manufacturing. *Computers ind. Engng*, 29(1-4), 285-289.

Hassanain, M. A., Froese, T. M., & Vanier, D. J. (2001). Development of a maintenance management model based on IAI standards. *Artificial Intelligence in Engineering*, 15(2), 177-193.

Hipkin, I. B., & De Cock, C. (2000). TQM and BPR: lessons for maintenance management. *Omega*, 28(3), 277-292.

Howard, D. (2003). *The basics of statistical process control & process behaviour charting a User's Guide to SPC*. England: Management-NewStyle.

ISO. (2015). *International Organization for Standardization*. Obtenido 20/02/2015 de: <http://www.iso.org/iso/home/standards.htm>

Kans, M. (2008). An approach for determining the requirements of computerised. *Computers in Industry*, 59(1), 32-40.

Keller, W., & Modarres, M. (2005). A historical overview of probabilistic risk assessment development and its use in the nuclear power industry: a tribute to the late Professor Norman Carl Rasmussen. *Reliability Engineering & System Safety*, 89(3), 271-285.

Kesler, G., & Kates, A. (2010). *Leading Organization Design: How to Make Organization Design Decisions to Drive the Results You Want*. NY: John Wiley & Sons.

Kwon, S.-H., Chun, C., & Kwak, R.-Y. (2011). Relationship between quality of building maintenance management services for indoor environmental quality and occupant satisfaction. *Building and Environment*, 46(11), 2179-2185.

Lin, Cheung, Siao, Y.-C.-F.-C. (2014). Developing mobile 2D barcode/RFID-based maintenance. *Automation in Construction*, 37, 110-121.

Maarten, K. (2002). *Risk Based Inspection in the Process and Refining Industry*. Delft, The Netherlands: Technical University of Delft.

Macchi, M., Garetti, M., Centrone, D., Fumagalli, L., & Piero Pavirani, G. (2012). Maintenance management of railway infrastructures based on reliability analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, 104, 71-83.

Meneses, S., & Ferreira, A. (2012). New optimization model for road network maintenance management. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 54, 956-965.

O'Donoghue, C., & Prendergast, J. (2004). Implementation and benefits of introducing a computerised maintenance. *Journal of Materials Processing Technology*, 153/4, 226-232.

Pantic, M. (2005). *Introduction to Machine Learning & Case-Based Reasoning*. London: Imperial College London.

Park, J., & Hong, T. (2011). Maintenance management process for reducing CO2 emission in shopping mall complexes. *Energy and Buildings*, 43(4), 894-904.

Potes Ruiz, P. A., Kamsu-Foguem, B., & Noyes, D. (2013).

Knowledge reuse integrating the collaboration from experts in industrial. *Knowledge-Based Systems*, 50, 171-186.

Product Quality Research Institute. (2015). <http://www.pqri.org/>. Obtenido 12/11/2014 de http://www.pqri.org/pdfs/mtc/hazop_training_guide: http://www.pqri.org/pdfs/mtc/hazop_training_guide.pdf

Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, 1(1), 83-98.

Smets, P. (1996). The transferable belief model for quantified belief representation. En Volume 1 of the series Handbook of Defeasible Reasoning and Uncertainty Management Systems pp 267-301

Stamm, M., Neitzert, T., & Singh, D. (2010). Lean and Six Sigma – Evolution of manufacturing methodologies under the paradigm shift from Taylorism/Fordism to Toyotism?: Obtenido 10/7/2014 de: <http://aut.researchgateway.ac.nz/bitstream/handle/10292/3858/Stamm%20Evolution%20of%20manufacturing%20paradigms.pdf?sequence=2>

Streichfuss, M., & Burgwinkel, P. (1995). An expert-system-based machine monitoring and maintenance management system. *Control Eng. Practice*, 3, 1023-1027.

Swanson, L. (1997). An empirical study of the relationship between production technology and maintenance management. *international journal of production economic*, 53(2), 191-207.

Swanson, L. (2003). An information-processing model of maintenance management. *Int. J. Production Economics*, 83(1), 45-64.

Luxhej, J.T., O. Riis, J., & Thorsteinsson, U. (1997). Trends and Perspectives in Industrial. *Journal of Manufacturing Systems*, 16(6), 437-453.

Ucalgary. (2015). Failure Modes & Effects Analysis. Obtenido 10/10/2014 de: <http://people.ucalgary.ca/~design/engg251/First%20Year%20Files/fmea.pdf>

van Harmelen, F., Lifschitz, V., & Porter, B. (2008). *Handbook of Knowledge Representation*. N.Y. Elsevier.

Vujanovic, D., Momcilovic, V., Bojovic, N., & Papic, V. (2012). Evaluation of vehicle fleet maintenance management indicators by application of DEMATEL and ANP. *Expert Systems with Applications*, 39(12), 10552-10563.

Xiao, Z., Chen, L., & Zhong, B. (2010). *A model based on rough set theory combined with algebraic structure and its application: Bridges maintenance management evaluation*. Obtenido 15/10/2014 de <http://isiarticles.com/bundles/Article/pre/pdf/51169.pdf>.

Yin, Z.-h., Li, Y.-f., Guo, J., & Li, Y. (2011). Integration Research and Design of the Bridge Maintenance Management System. *Procedia Engineering*, 15, 5429-5434.

Zawawi, E. M., Kamaruzzaman, S. N., Ithnin, Z., & Zulkarnain, S. H. (2011). A Conceptual Framework for Describing CSF of Building Maintenance Management. *Procedia Engineering*, 20, 110-117.

Zhang, L. (2010). *Comparison of classical analytic hierarchy process (ahp) approach and fuzzy ahp approach in multiple-criteria decision making for commercial vehicle information systems and networks (cvisn) project*. Nebraska-Lincoln: University of Nebraska - Lincoln.

Zhou, W.-H., & Zhu, G.-L. (2008). Economic design of integrated model of control chart and maintenance management. *Mathematical and Computer Modelling*, 47, 1389-1395.

INFOGRAFÍA

Marshall Institute. (2010). *Marshall Institute's Blog*. En: A Quick History of Total Productive Maintenance: <http://info.marshallinstitute.com/bid/39139/A-Quick-History-of-Total-Productive-Maintenance>

U.S. Department of Energy. (2010). *Operations & Maintenance Best Practices Guide*. U.S. Department of Energy.