CODIGO: 01-041

APLICACIÓN DE TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS DEL PROJECT MANAGEMENT EN LA IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS DE GESTIÓN DE ACTIVOS: PLANTA DE REFINACIÓN-ESPAÑA

Luis Amendola
Universidad Politécnica de Valencia , PMM Institute for Learning
Tibaire Depool
PMM Institute for Learning.
Román Augusto Contreras Pérez.
PMM Institute for Learning.
Miguel Ángel Artacho Ramirez
Universidad Politécnica de Valencia.

Abstract.
Within the strategic plan to increase refining capacity of an industrial complex located in Spain, has developed a strategic plan to expand capacity, involving the implementation of comprehensive management strategies at both the maintenance of new equipment and the evaluation of the strategies in existing equipment. Objective standardization and efficiency. In this sense, we expose all the tools, techniques and methodologies used in the phases of implementation, monitoring, evaluation and control, based on Project Management, a project under construction and an operating facility.
The subproject implementation of maintenance management of assets, is divided into two parts, one focused on the new facility (expansion project) and the second to the existing facility. For the development of this project were defined stages of design, implementation and testing of procedures to implement. Among the series of procedures implemented in this project, describes the different ways to treat, organize and use information for the design and implementation of maintenance programs. Finally we comment on the results achieved and lessons learned for future projects in this area of knowledge.

Keywords: *Assets, Management, Assessment, Criticality.*

Resumen

Dentro del plan estratégico de aumento de la capacidad de refinación de un complejo industrial ubicado en España, se ha desarrollado un proyecto estratégico de ampliación de su capacidad, que implicaba la implementación de estrategias de gestión integral de mantenimiento tanto a nivel de nuevos equipos, así como la evaluación de las estrategias en los equipos existentes. Objetivo es la estandarización y eficiencia. En este sentido, se exponen todas las herramientas, técnicas y metodologías empleadas en las fases de implementación, seguimiento, evaluación y control, basadas en el Project Management, en un proyecto en fase de construcción y una instalación operativa.
El subproyecto de implementación de la gestión de mantenimiento de activos, se divide en dos partes, la primera enfocada a la nueva instalación (proyecto de ampliación) y la segunda a la instalación ya existente. Para el desarrollo de este proyecto se definieron etapas de diseño, implementación y prueba de los procedimientos a implementar. Entre la serie de procedimientos implementados en este proyecto, se describen las diferentes formas de tratar, organizar y emplear la información para el diseño e implementación de los programas de mantenimientos. Finalmente se comentan los resultados alcanzados y las lecciones aprendidas para proyectos futuros en esta área de conocimiento.

Palabras clave: *Activos; Gestión; Diagnóstico; Criticidad.*

1.- Introducción.

El desarrollo de un proyecto es una actividad creativa, fundamentada principalmente en el razonamiento, la experiencia y el conocimiento. Tiene la finalidad de lograr soluciones óptimas, mediante aplicación de técnicas eficientes para el diseño y desarrollo de productos o sistemas. En los proyectos de mejora plantas industriales, donde las exigencias actuales de competitividad y de la seguridad, tanto ambiental como del personal son críticas, es determinante, para el eficiente y confiable desarrollo del proceso productivo, la búsqueda de un punto de equilibrio en términos de coste y fiabilidad. La búsqueda de ese punto, implica la aplicación de metodologías tendentes a lograr que sea el óptimo, es decir, el mejor para nuestro sistema. Para la gestión óptima de las tareas de mantenimiento en las organizaciones, es requerido desarrollar todas las funciones dentro de un escenario de confiabilidad operacional (Amendola, 2006). Esto implica la integración de varios elementos como confiabilidad de los procesos, confiabilidad de los activos, mantenimiento de estos para planificar y controlar los recursos disponibles requeridos. La optimización del mantenimiento representa la implementación de nuevas técnicas de diagnóstico, herramientas y procedimientos para la mejora continua y segura de los procesos.

En este trabajo se propone una metodología para implementar un programa de mantenimiento de forma óptima en una refinería ubicada en España. La necesidad del proyecto radica que por razones de costes no es posible implementar las acciones de mantenimiento de la misma forma a todos los equipos presentes en la refinería. Y más aun si se va a implementar técnicas de diagnóstico, que por sus costes no es posible implementarla a todos los equipos. Por las razones expuestas se requiere por lo tanto realizar una lista jerarquizada de los equipos. Para realizar esta lista es requerido desarrollar e implementar una metodología para el análisis de criticidad. Dada la naturaleza de la información en ambos casos, se requirió realizar el estudio de criticidad en dos partes (actual y ampliación).

Una vez implementado el análisis de criticidad para ambos casos se procedido a mejorar los planes de mantenimiento de la refinería actual y crear, en base a documentos de los equipos los programas de mantenimiento a implementar en la ampliación. Posteriormente estos programas fueron dados de alta en un EAM (*enterprise asset management)*

La refinería de estudio procesa 110000 barriles al día y con la ampliación se alcanzarán los 220000 barriles al día. La refinería actual

2.- Marco Teórico.

Para la implementación y mejora de los programas de mantenimiento fue requerida información de los históricos de los equipos. La finalidad de emplear esta información fue determinar la lista jerarquizadas de equipos para ambos casos.
En virtud de la ausencia de información referida a los MTBF (tiempo medio entre fallos) históricos de la ampliación de la refinería para la estimación del de la confiabilidad de los equipos, se ha realizó una consulta bibliográfica de la documentación y normas referida al MTBF de equipos dinámicos de refinación. En la *figura 1* se muestran los tiempos promedios entre fallos estimados para bombas en refinerías y considerando la ubicación geográfica como la cultura del mantenimiento.

Figura 1. MTBF de bombas en refinerías considerando la ubicación geográfica y la cultura del mantenimiento (Heinz et al., 1985).

ANSI pumps, average, USA:	2.5 years
ANSI/ISO pumps average, Scandinavian P&P plants:	3.5 years
API pumps, average, USA:	5.5 years
API pumps, average, Western Europe:	6.1 years
API pumps, repair-focused refinery, developing country:	1.6 years
API pumps, Caribbean region:	3.9 years
API pumps, best-of-class, U.S. Refinery, California:	9.2 years
All pumps, best-of-class petrochemical plant, USA (Texas):	10.1 years
All pumps, major petrochemical company, USA (Texas):	7.5 years

En la figura 2 se describen los valores objetivos recomendados que se estiman como un 50% o 60% superior a los actuales y alcanzable, donde es posible estimar los MTBF de bombas centrifugas (con sello mecánico), de membrana y rotativas de engranajes para refinerías.

Figura 2. MTBF recomendados como objetivos (Heinz et al., 1985).

(Note that "target" is less than "best actually achieved")

		Refineries	Chemical and other plants
SEALS	Excellent	90 months	55 months
	Average	70 months	45 months
COUPLINGS	All plants	Membrane type	120 months
		Gear type	> 60 months
BEARINGS	All plants	Continuous operation:	60 months
		spared operation	120 months
PUMPS	Based on series system calculation		48 months

Según la norma ANSI B73.1 (Heinz et al., 1985), se puede estimar el MTBF de una bomba centrifuga en función del MTBF de cada componente de ésta (*ver expresión matemática 1*), como la suma de tasas de fallos individuales (el inverso del MTBF). Se considera que el componente con menor MTBF lo representa el sello mecánico, seguido del rodamiento, impulsor y eje de rotación respectivamente.

Figura 3. MTBF por componente para una bomba Centrifuga (Heinz et al., 1985).

ANSI Pump Upgrade Measure	Seal MTBF (yrs)	Bearing MTBF (yrs)	Coupling MTBF (yrs)	Shaft MTBF (yrs)	Composite Pump MTBF (yrs)
None, i.e. "Standard"	1.2	3.0	4.0	15.0	1.07
Seal and Bearings	2.4	6.0	4.0	15.0	1.93
Seal Housing Only	2.4	3.0	4.0	15.0	1.69
Bearing Environment	1.2	6.0	4.0	15.0	1.13

El cálculo del MTBF de una bomba centrifuga se muestra en la siguiente expresión matemática (1) (Heinz et al., 1985):
(1)

$$1/MTBF = [(1/MTBFs)^2 + (1/MTBFr)^2 + (1/MTBFi)^2 + (1/MTBFe)^2]^{0,5}$$

Donde $1/MTBF$ tasa de fallo total de la bomba centrífuga, $1/MTBFs$ tasa de fallo del sello mecánico, $1/MTBFr$ tasa de fallo del rodamiento, $1/MTBFi$ acoplamiento y $1/MTBFe$ rotor.

Mannan y Lees (2005) sugieren que el MTBF de las bombas oscilan 12 y 18 meses. En ese mismo orden, Heinz y colaboradores describen que el MTBF de las bombas centrifugas oscilará entre 12 a 13 meses, considerando cómo componente crítico los sellos mecánicos de estanqueidad, aunque puede mejorarse hasta 25 meses con las buenas prácticas de mantenimiento de clase mundial (Heinz et al., 1985). El informe de fiabilidad de la revista del grupo ABB estima el MTBF de bombas centrifugas para empresas petroleras en 8518 horas (Fernando et al., 2009).

Con respecto a los compresores de tornillo, se sugiere que el MTBF de un compresor de esta naturaleza oscila alrededor de 3.270 horas considerando como componentes críticos los elementos flexibles como mangos y correas (Pascual et al., 2006). Adicionalmente, se consideran los componentes rotativos tornillo compresor y rodamientos con un MTBF de 25.000 horas (Pascual et al., 2006). El informe de fiabilidad de ABB sugiere que el MTBF de un compresor de tornillo para la industria petrolera, puede oscilar en función de la calidad del mantenimiento entre 3.042 y 5.000 horas (Fernando et al., 2009).

Para los compresores centrífugos, como resultado del estudio de la evaluación y propuesta de mejora del sistema de reinyección de gases a muy alta presión, se ha sugerido que el MTBF de un tren de compresores de inyección de gases ácidos es de dos años. Los elementos críticos son los sellos mecánicos y los cojinetes del rotor. (Brito, 2010).

En lo referido a los compresores alternativos, el MTBF fue aportado por el personal de refinería en proyecto que tiene experiencia de estos equipos. El personal de fiabilidad sugirió que el elemento crítico de este tipo de equipo son las válvulas con un MTBF anual.

El MTBF de los rodamientos diseñados para ventiladores de refinación, cómo mínimo deberá estar entre 18 meses y como máximo 54 meses si se emplean rodamientos de mejor calidad y de forma adecuada (SKF, 2010).

En lo referido a las turbinas de vapor, se estima que el MTBF es 5 años, considerando como el primer elemento crítico el sello de carbón, seguido de los cojinetes. Para mantener ese valor se considera crítico el sistema de lubricación. Igualmente para el grupo turbo compresor (con turbina a gas), se estima que el MTBF del grupo es 66,7 meses considerando igualmente como críticos a los sellos y cojinetes (EIMECUN, 2011).

En base a este información aportada por las diferentes normas y estudios a nivel mundial, y tomando los valores teóricos más pesimistas de los analizados, se confecciona una tabla (ver figura 4) donde se especificarán los MTBF de los diferentes tipos de bombas (centrifugas, rotativas, de membrana, alternativas), compresores, turbinas y ventiladores.

Figura 4. MTBF seleccionados considerando los más conservadores de los analizados (más pesimistas).

BOMBAS	MTBF
Bomba Centrífuga	8518 horas
Bomba de Menbrana	87600 horas
Bomba de Engrane	87600 horas
Bomba Alternativa	43800 horas
Bomba Vertical	8518 horas
COMPRESORES	MTBF
Compresor Centrífugo	17520 horas
Compresor Alternativ	8760 horas
Compresor de Tornill	3042 horas
TURBINAS	MTBF
Turbina de vapor	24000 horas
Grupo turbo Compresor axial (Gas)	48024 horas
VENTILADORES.	MTBF
Ventiladores	12969 horas

Con respecto al fluido empleado, no se considera que este tenga una influencia alta en el MTBF ya que los equipos se diseñan en función del fluido de trabajo. No obstante variaciones de la composición, temperatura y presión por anomalías si pueden originar aceleramiento del desgaste de los componentes (Salvadó, 2009).

Los equipos sometidos a condiciones más desfavorables de los procesos de refinación, se localizan para compresores en las unidades hidrodesulfuradora de gasóleo, estabilizadora de naftas, hidrocraquer, coque y recuperación de gases de antorcha dulce y ácida. Para bombas unidad de hidrocraquer y coque.
Con respecto a los equipos presentes en la refinería en operaciones se emplearon todos los datos históricos presentes en el EAM. Esta información también sirvió de referencia para apoyar de forma de analogía el análisis de criticidad y programas de mantenimiento de la ampliación.

Figura 4. Lista parcial del EAM aportado con la información referida al coste de reparación, tiempo de inicio del fallo y tiempo de inicio de operación de las reparaciones registradas.

WOLO1	LOCATION	WONUM	WORKTYPE	WOJP1	WOEQ1	+ACTLABCOST-	ACTSTART	ACTFINISH	STATUS
PSA	415-K-1B-G-1B	543605	3R	TME	GCEN	0,62	06-sep-06	06-sep-06	OPERATIVO
PSA	415-KT-2	612943	3R	TME	KGAS	1816,27	10-dic-08	12-dic-08	OPERATIVO
PSA	415-KT-2	611237	3R	TME	KGAS	1929,55	27-nov-08	27-nov-08	OPERATIVO
PSA	415-KT-2	613322	3R	TME	KGAS	1766,98	12-dic-08	16-dic-08	OPERATIVO
PSA	415-KT-2	642364	3R	TME	KGAS	831,16	02-dic-09	11-dic-09	OPERATIVO
PSA	415-KT-2	643173	3R	TME	KGAS	25475,57	16-dic-09	16-dic-09	OPERATIVO
PSA	415-KT-2	624891	3R	TME	KGAS	743,14	27-abr-09	28-abr-09	OPERATIVO
PSA	415-KT-2	594065	3R	TME	KGAS	1420,68	06-may-08	08-may-08	OPERATIVO
PSA	415-KT-2	651337	3R	TME	KGAS	270,86	31-mar-10	05-abr-10	OPERATIVO

3.- Metodología.

La metodología sigue el siguiente esquema:

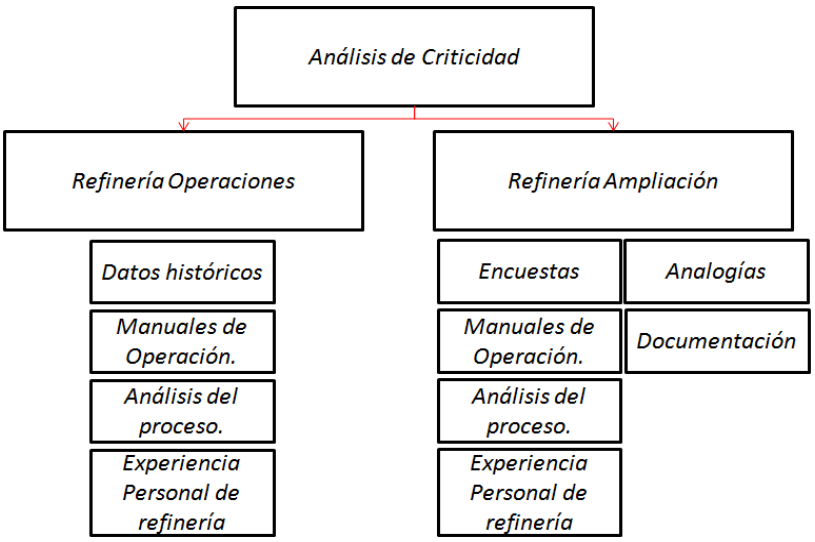
- Análisis de Criticidad (Refinería operativa y ampliación)
- Gamas de mantenimiento.

- Planes de Mantenimiento (rutas, oficio y horas) en formato Batch Input para ser cargado en el EAM por modalidad carga masiva.

3.1.- Análisis de Criticidad.

Para iniciar la mejora y optimización de los planes de mantenimiento e implementación del predictivo como se ha comentado, se ha realizado como primer paso un análisis de criticidad (Norzok Standard Z-008, 2001; Conoco Phillips, 2002). En la figura 5 se representa como se ha realizado el análisis de criticidad para la refinería operativa y la ampliación.

Figura 5. Esquema de cómo se ha implementado el análisis de la criticidad.



La metodología de análisis de la criticidad para este estudio, parte de la definición de las **variables** (criterios) **ponderados** de acuerdo al contexto operacional y criterios de aceptación y tolerancia del Complejo de Refino.

Un paso importante y que se ha realizo de forma paralela a la definición de variables y ponderación, es recolectar, organizar, analizar la información del complejo. Esta información está presente como históricos y datos derivados de la experiencia operativa (refinería operativa) y fuentes documentales (ampliación) para determinar los valores de las variables a emplear en los factores de criticidad.

El mejoramiento de la confiabilidad operacional de una refinería, está asociado con cinco factores fundamentales (Amendola et al., 1998; Amendola, 2006, 2007;PMM Institute for Learning, 2007)

1. Flexibilidad Operacional.
2. Efecto del Fallo.
3. Costes de Reparación.
4. Impacto en la Seguridad, Higiene y Ambiente.
5. Frecuencia de fallos (no confiabilidad).

A continuación se muestra la función matemática empleada para el análisis de la criticidad. (expresión 2):

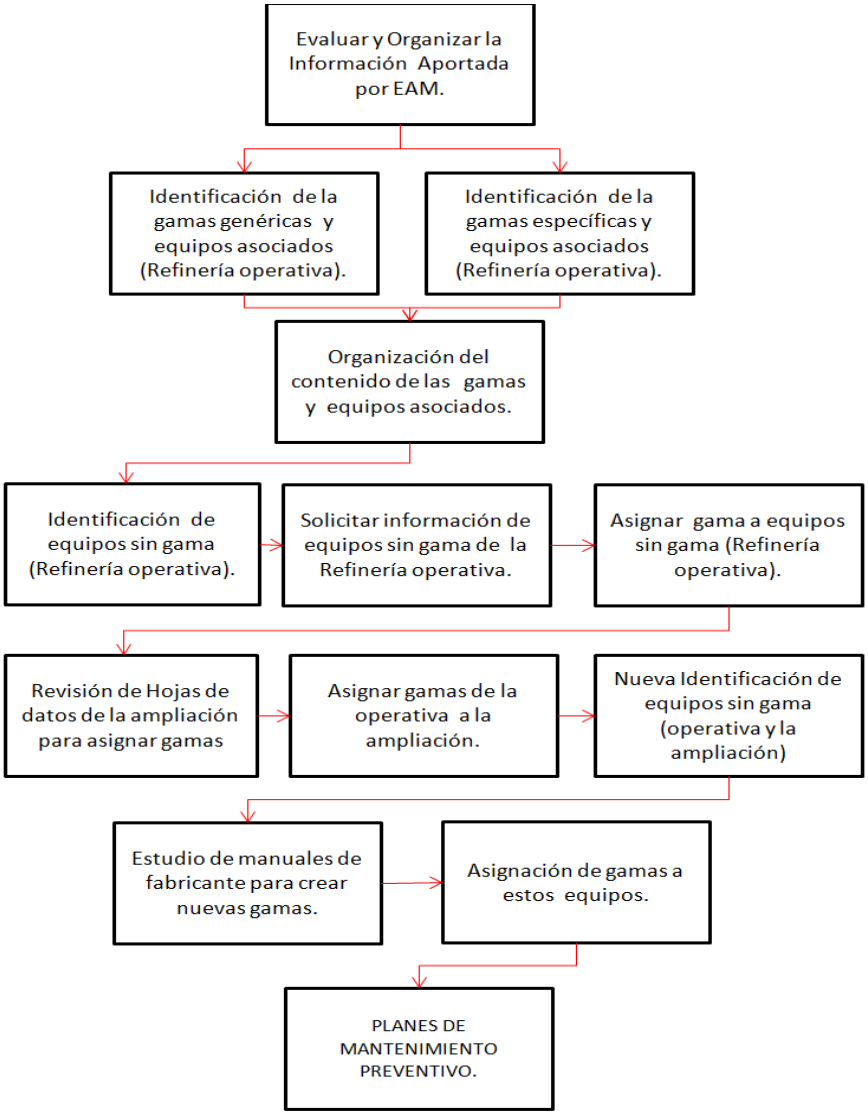
(2)

$$CRITICIDAD\ TOTAL = Frecuencia\ de\ fallos\ x\ [(Flexibilidad\ Operacional\ x\ Efecto\ del\ Fallos\ )+\ Coste\ de\ Reparación+Impacto\ SHA)]$$

3.2.- Gamas de mantenimiento.

Paso previo para la realización de un plan de mantenimiento a tiempo fijo para el complejo de refinación, es la elaboración de las gamas referidas al mantenimiento de equipos que formarán el plan. A continuación se muestra un esquema de la metodología de trabajo seguida para desarrollar las gamas (figura 6):

***Figura 6. Esquema de trabajo para las Gamas Refinería de Cartagena (adaptado de* PMM Institute for Learning).**



Se procedió en principio a organizar, identificar (gamas por equipos, gamas genéricas y gamas específicas) y clasificar la información dada por el personal del complejo que consistía en las gamas de mantenimiento definidas para la refinería en operaciones y extraída del EAM. Una vez identificadas las gamas se procedió a su evaluación bien sea para su reestructuración/mejora y/o completamiento.

El tratamiento de la información suministrada permitió evaluar qué equipos estaban cubiertos por las gamas suministradas de EAM. Esto posibilitó en principio elaborar listados referentes a: gamas identificadas para bombas, gamas para el resto de equipos, lista de gamas y los equipos asociados.

Dado que no todos los equipos del complejo de refinación tenían gama (50% aproximadamente), en principio fue necesario para la refinería en operaciones información de los equipos faltantes. Fue requerido por parte del personal del complejo la información pendiente para poder asignar el mayor número de equipos a sus respectivas gamas. Para asignar gamas de la operativa a los equipos de la ampliación se estudiaron todas las hojas de datos disponibles de los equipos. No obstante, después de este estudio, no todos los equipos tenían gamas asignadas. En este paso se procedió a estudiar todos los manuales disponibles referentes a estos equipos para proceder a elaborar la gama al resto de equipos. Este procedimiento se implemento en compresores alternativos como centrífugos, compresores de anillo líquido, compresores auxiliares, máquinas de vapor y bombas alternativas, turbinas de vapor, soplantes de émbolo rotativo y centrífugos del complejo de refinación. Adicionalmente para equipos cuyas gamas estaban incompletas, fue requerido también la implementación de los manuales para completarlas. Este procedimiento permitió asignar gama y completar más del 70 % de los equipos no pertenecientes al conjunto de bombas de la ampliación.

Con el objeto de lograr una mejor organización y administración de las gamas se ha desarrollado un catálogo de gamas. Para asignarle un código único se ha considerado como premisa que el código de la gama fuese comprensible a nivel de acción de mantenimiento asociado y a equipo(s) sobre la cual se ejecuta. En este sentido previo a la codificación de las gamas se ha definido un estándar a seguir (parámetros) para que puedan ser codificadas tanto a nivel de nomenclatura a usar y a nivel de estructura.

Se consideraron los aspectos relacionados a la acción de mantenimiento, clasificación del equipo y su tipificación. Para gamas específicas se emplearía el TAG del equipo asociado a la gama.

3.3.- Planes de mantenimiento.

Para la definición de las rutas de mantenimiento se empleo la cercanía de equipos dentro de un mismo anexo operativo. Finalmente todo el plan de mantenimiento para ambos casos fue dado de alta en el EAM.

4.- Discusión.

Realizado el estudio correspondiente el 17,43 % de los equipos de la refinería en proyecto se concentran en las zonas de criticidad alta (+, -) y media (+, -). Estos son en total 240 equipos del universo de 1.376 analizados. El resto son equipos de baja criticidad (+, -) que contabilizan 1.136 del total lo que supone 82,57 %. Este estudio representa que los niveles de riesgos se concentran en esta población de 240 equipos, lo que representa menos del 20% a lo que se le ha prestado especial atención en esfuerzos y recursos. Con respecto a la refinería en operaciones el 23,81 % de los equipos se concentran en las zonas de criticidad

alta y media (+, -). Estos representan 305 equipos del universo de 1.281 analizados. El resto son equipos de baja criticidad que representa 977 del total.

Un aspecto a resaltar de este análisis de la refinería en proyecto, es que como se han empleado datos teóricos y experiencia de los operarios y no históricos, se introducen errores en la estimación del valor de criticidad por equipo con respecto a lo que debería ser para una refinería operativa.

A pesar de ser un buen enfoque, se recomienda pasado un tiempo de operación realizar un nuevo análisis para comprobar y ajustar decisiones tomadas en cuanto a los esfuerzos y recursos de mantenimiento.

5.- Conclusiones.

Con la implementación de este proyecto el complejo de refinación mejorará su confiabilidad operacional. Con el análisis de criticidad, se ha logrado determinar los equipos más críticos basándose en la flexibilidad operacional, costes de mantenimiento, pérdidas de producción, seguridad medioambiental y número de fallos. Esto ha permitido implementar mantenimiento basado en la condición al 30% de de todos los equipos del complejo. Mediante el estudio documental y de históricos se ha logrado mejorar los programas (Gamas) y planes de mantenimiento (rutas). Con esto el complejo da un primer paso a la excelencia operacional y seguridad en sus procesos.

Con la implementación de esta metodología queda demostrado que a partir de la utilización de documentos que especifiquen parámetros teóricos operacionales de activos y el juicio de expertos en procesos de refinación, es posible realizar un primer análisis de criticidad para la optimización de los programas de mantenimiento en etapas de diseño y arranque de un complejo industrial.

6.- Bibliografía.

Amendola, Luis; González, José. Documento Técnico Análisis de Criticidad Complejo Gasífero Planta de Metanol – Mitsubishi Gas Chemical & Mitsubishi Corporation (1998).

Amendola, Luis. Gestión de Proyectos de Activos Industriales, Asset Management. Editorial: Universidad Politécnica de Valencia (2006). ISBN: 978-84-8363-052-5.

Amendola, Luis. Organización y Gestión del Mantenimiento, “Mantenimiento como Negocio Balanced Scorecard”. Ediciones: PMM Institute for Learning (2007). ISBN: 978-84-935668-1-4.

Bloch, Heinz P. y Don Johnson. El tiempo de inactividad Solicita actualización de las bombas centrífugas, Ingeniería Química, 25 de noviembre de (1985).

Brito Malmore José Lustran. Estudio, Evaluación y Propuestas para Mejorar el Sistema de Reinyección de Gases a Muy Alta Presión del Proyecto Fase III de la Empresa KPO. Tecana American University. Londres (2010).

Conoco Phillips 5047. Criticality Analysis for Maintenance (2002).

Heinz P. Bloch, Allan R. Budris. Pumps User´s handbook: Life extension. (1985).

Fernando Vicente, Hector Kessel, Richard M. Rockwood. Análisis de fiabilidad. Los datos y el software de modelización están ayudando a una planta de producción de GNL a determinar métodos de mantenimiento y a mejorar la fiabilidad. Revista ABB 2 (2009).

Norsok Standard Z-008 . Criticality Analysis for Maintenance. Oslo (2001).

PMM Institute for Learning. Documento Técnico: Análisis de Criticidad Orientado a la Gestión de Activos Físicos. PMM Institute for Learning, Asset & Project Management. Valencia España (2007).

Richard W. Greene. Manual de selección, uso y mantenimiento de compresores. Biblioteca CUCEI (2006).

Rodrigo Pascual J, Pilar Enrique, Pablo Saide, Arturo Searle y Juan Toro. Mantención del compresor de tornillo Fiac V25. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile (2006).

Salvadó Ruiz Jaime. Determinación de los modos de fallos y sus efectos en maquinaria de la Industria Petrolera. Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Carlos III de Madrid. (2009).

Sam Mannan and Frank P. Lees. Lee's loss prevention in the process industries: hazard identification assessment and control. Third edition (2005)

SKF Procesamiento de Hidrocarburos. Prolongue el Promedio de Tiempo entre Fallos (MTBF) en los ventiladores críticos y reduzca las paradas y los costes de mantenimiento. (2010).