

ESTRATEGIAS COMUNES DE MANTENIMIENTO en PAE

Autores: Federico Caldora, Jorge Arca

Sinopsis:

El presente trabajo describe el proceso de implementación de las estrategias comunes de Mantenimiento en Pan American Energy, iniciado a fines del año 2001.

Es un proceso para establecer la política y las expectativas para la comunidad de mantenimiento e ingeniería de PAE, y para proveer un sistema para la captura, almacenamiento y recuperación de las mejores practicas de mantenimiento y confiabilidad.

La alta confiabilidad de equipos y calidad en las practicas de mantenimiento, son criticas para asegurar el éxito de los negocios y cada miembro de nuestra empresa tiene responsabilidad en obtener la confiabilidad y el mantenimiento correcto.

Las estrategias comunes de mantenimiento están basadas en 8 expectativas que nos permitirán alcanzar las mejores prácticas y que son aplicables a todas las operaciones, las cuales serán alcanzadas mediante la implementación de sistemas y procesos apropiados.

Los procesos claves de la implementación, que desarrollaremos en el trabajo final son :
Entregando aseguramiento - Objetivos de performance - Sistema computadorizado de mantenimiento (CMMS) - Ingeniería de confiabilidad - Sentido de pertenencia de los equipos - Análisis de causas raíces de fallas (RCFA) - Gestión temprana de equipos - Planeamiento y programación - Gerenciamiento de repuestos - Gerenciamiento de contratistas - Procesos de Turnaround - Integridad mecánica - Gerenciamiento del conocimiento - Tool Box de Mantenimiento

Los resultados luego de un poco más de tres años en la implementación de las estrategias comunes de mantenimiento comprenden:

- Mejoras en confiabilidad y disponibilidad de equipos críticos hasta alcanzar más de 99%
- Mejoras en la eficiencia global de equipos críticos (OEE) en más de 20%
- Reducción en la tasa de fallas de más del 50% respecto de la línea base (año 2001)
- Reducción en los costos de mantenimiento

INTRODUCCIÓN

¿Qué es el Mantenimiento?

Definimos habitualmente *Mantenimiento* como el conjunto de técnicas destinadas a conservar los equipos e instalaciones en el cumplimiento de un servicio. Esto implica que mantenimiento significa *preservar algo*, mientras que *modificar* algo implica cambios en alguna forma. Esta distinción entre *Mantenimiento* y *Modificación*, tiene profundas implicancias en la organización que en PAE llamamos Mantenimiento Directo y Mantenimiento Indirecto que discutiremos más adelante.

A lo largo del proceso industrial vivido desde finales del siglo XIX, la función Mantenimiento ha pasado diferentes etapas. En los inicios de la revolución industrial, los propios operarios se encargaban de las reparaciones de los equipos. Cuando las máquinas se fueron haciendo más complejas y la dedicación a las tareas de reparación aumentaba, empezaron a crearse los primeros departamentos de mantenimiento, con una actividad diferenciada de los operarios de producción. Las tareas en estas dos épocas eran básicamente correctivas, dedicando todo su esfuerzo a solucionar las fallas que se producían en los equipos.

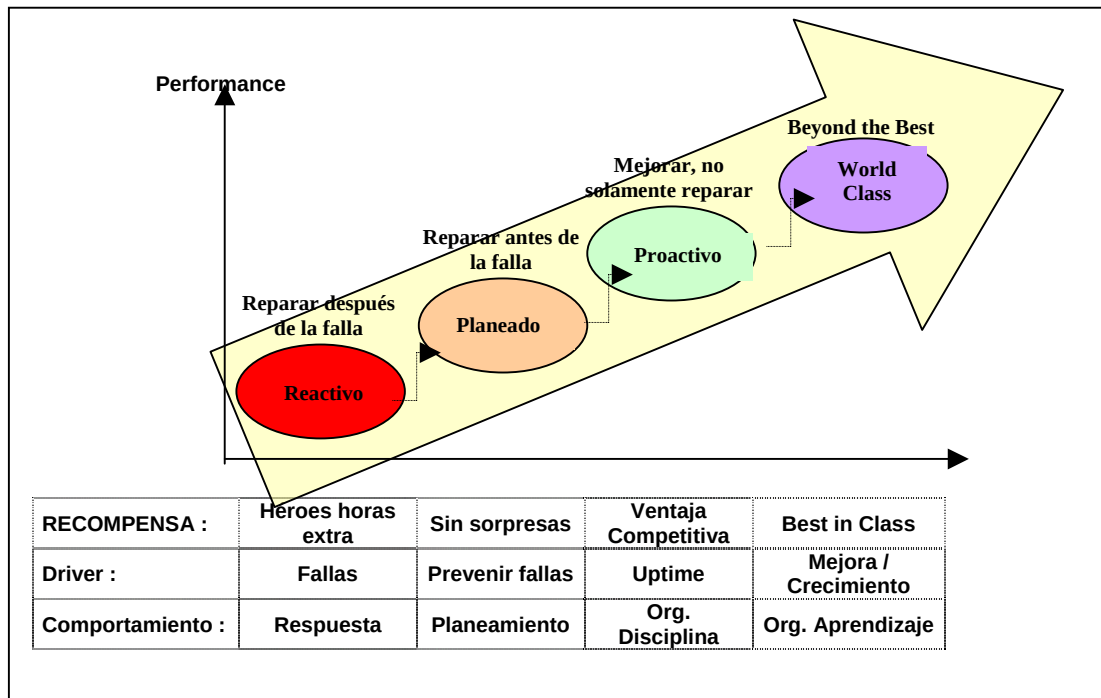
A partir de la Segunda Guerra Mundial, aparece el concepto de confiabilidad, y los departamentos de mantenimiento buscan no sólo solucionar las fallas que se producen en los equipos, sino, sobre todo, prevenirlas; es decir actuar para que no se produzcan. Esto supone crear una nueva figura en los departamentos de mantenimiento: personal cuya función es estudiar que tareas de mantenimiento deben realizarse y con que frecuencia para evitar las fallas. El Mantenimiento preventivo, es la práctica de mantenimiento más ampliamente utilizada, primariamente por que esta metodología ha existido por más cantidad de tiempo y segundo por que ha demostrado un primer nivel de control de costos efectivo, cuando se viene de una estrategia reactiva. Sin embargo un estricto plan de mantenimiento basado en intervalos tiene un alto riesgo asociado; recordemos que está basado en una probabilidad de vida de un componente determinado y que la probabilidad de falla es dependiente o está asociada a la edad del mismo y aumenta progresivamente con ella. Lo anteriormente descrito conlleva en general a realizar sobre-mantenimientos costosos, aumentando a su vez la probabilidad de fallas tempranas posteriores a la intervención de mantenimiento. Se ha ido comprobando que en muchos casos la vida remanente de los componentes cambiados era aún considerable, sumado al desarrollo de componentes cuyo patrón de vida era considerablemente distinto al conocido “diagrama de bañera” Finalmente y debido al desarrollo tecnológico, contrariamente al pensamiento popular, no hay ya una estrecha relación – en la mayoría de los componentes – entre la edad y su probabilidad de falla, lo cual motivó la investigación de nuevas técnicas de mantenimiento. En los fines de los '80 , los avances en la tecnología proveyeron instrumentos, a costos razonables, y técnicas capaces de identificar problemas en las máquinas mediante la medición de su condición, a fin de predecir los requerimientos de mantenimiento. Este tipo de tecnología es comúnmente llamado Mantenimiento Predictivo (**PDM**) o Mantenimiento Basado en la Condición (**CBM**).

El mantenimiento basado en la condición ha demostrado que la posibilidad de medir síntomas que indiquen el real estado de los equipos permite modificar significativamente las rutinas preventivas, varios estudios indican que las reducciones de costos que pueden esperarse con estas técnicas son superiores al 30%, respecto a las técnicas preventivas. Recientemente una aproximación más avanzada, el mantenimiento proactivo (PAM) ha comenzado a mejorar las tecnologías preventivas y predictivas.

Esta nueva aproximación se focaliza en la reducción total y sistemática de los requerimientos de mantenimiento, maximizando la vida de los activos, a través de la eliminación sistemática de las fallas.

Esta estrategia de mantenimiento basada en la confiabilidad emplea tecnologías correctivas, preventivas, predictivas y proactivas de manera integrada y de forma tal de incrementar la confianza en que la máquina operará de manera segura en un ciclo de vida extendido. Esta aproximación integrada ofrece la mejor estrategia para obtener la máxima confiabilidad.

Lo que llamamos Mantenimiento de Clase Mundial (**World Class**), es un balance entre performance, riesgo y costo para alcanzar una solución óptima.



Desarrollo e implementación del Régimen de Mantenimiento

El propósito de tomar bajo control las actividades de Mantenimiento es tener a un costo efectivo la disponibilidad, confiabilidad, eficiencia e integridad de los equipos e instalaciones, en concordancia con las necesidades del negocio.

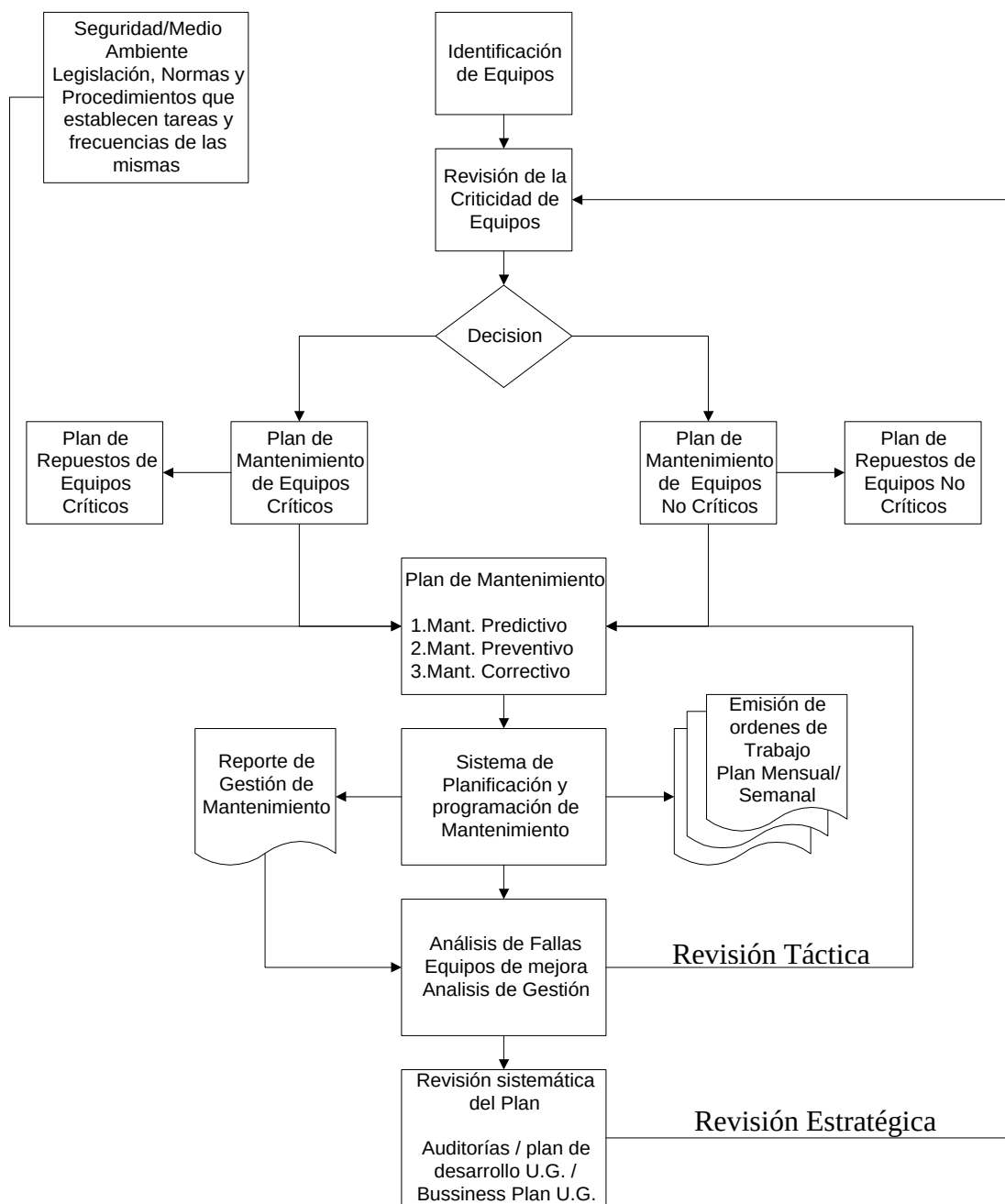
Todos los elementos instalados están sujetos a algún tipo de mantenimiento de los descritos anteriormente. La determinación del tipo de mantenimiento apropiado para el equipamiento o instalación está basado en su criticidad dentro del proceso productivo y la factibilidad técnica y económica de ejecutarlo. Esto se determina por medio del análisis de las consecuencias de una falla del mismo sobre la seguridad y la salud, el medio ambiente, la producción y los costos; y del análisis de las probabilidades de ocurrencia del evento o escenario simulado; en definitiva del riesgo resultante del producto de las consecuencias y la probabilidad de ocurrencia.

Es indudable que debemos cumplir con la legislación vigente, y por lo tanto esto genera el primer tipo de equipos y plan de mantenimiento asociado, **equipos regulados**.

El objetivo principal será priorizar las técnicas no intrusivas, las que incluirán inspecciones y controles funcionales, análisis de performance, rutinas de inspección multifunción y cualquier otra técnica basada en la condición, obviamente donde tengamos una clara manifestación de una falla potencial que pueda ser medida.

Los equipos e instalaciones, que por su baja criticidad en el proceso productivo, al fallar no lo afecten de manera alguna, estarán sujetos a operar hasta una falla o mantenimiento a la rotura.

El proceso completo del desarrollo de las Estrategias Comunes de Mantenimiento está detallado en el siguiente diagrama de flujo:



Identificación de Equipos

El primer problema que se plantea al intentar realizar un análisis de equipos es elaborar una lista ordenada de los mismos. Realizar un inventario de los activos de la planta es algo más complejo de lo que puede parecer en un primer momento.

Una simple lista de todos los motores, bombas, compresores, transmisores, etc de la planta no será útil ni práctico. Una lista de estas características no es más que una lista de datos, no es información. Si queremos elaborar una lista de equipos realmente útil, deberemos expresar esta lista en forma de estructura arbórea, en la que se indiquen las relaciones de dependencia de cada uno de los ítems con los restantes.

Podemos distinguir los siguientes niveles, a la hora de elaborar esta estructura arbórea:

- **Unidad de Gestión**

División geográfica, por cuenca de la compañía

- o **Yacimiento**

Yacimientos que conforman la concesión en una Unidad de gestión

- **Planta / Estación**

Centro de trabajo

- **Área / Función**

Zona de la planta que tiene una característica en común, centro de costos, similitud de equipos, función, ej.: área de servicios generales, deshidratación, estabilización, área hornos, etc.

- o **Equipo**

Cada una de las unidades productivas que componen un conjunto único

- **Sistema**

Conjunto de elementos que tienen una función común dentro de un equipo.

- **Elemento**

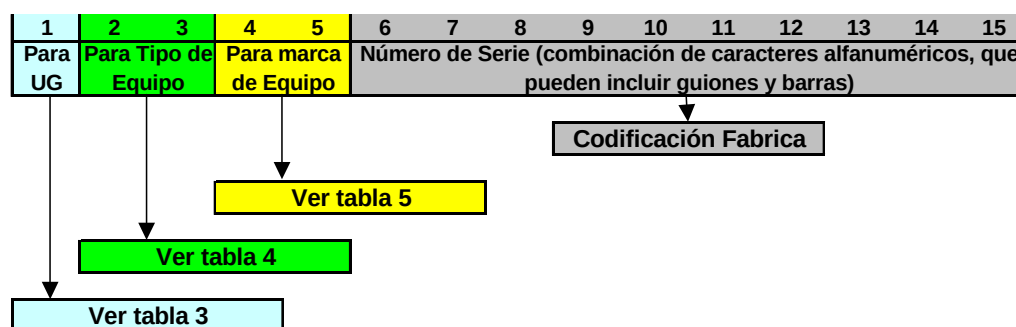
Cada una de las partes que integra un sistema, ej. El motor de lubricación de un compresor. Es importante diferenciar elementos de equipos. Un equipo puede estar conectado o dar servicio a más de un equipo. Si el ítem que tratamos de identificar puede estar conectado o dar servicio simultáneamente a más de un equipo, será un equipo y no un elemento. Así si una bomba de lubricación solo lubrica un compresor, se tratará de un elemento del mismo. Si, en cambio, se trata de una bomba que envía aceite de lubricación a varios compresores (Sistema centralizado de lubricación) se tratará en realidad de otro equipo y no de un elemento de alguno de ellos.

- o **Componente**

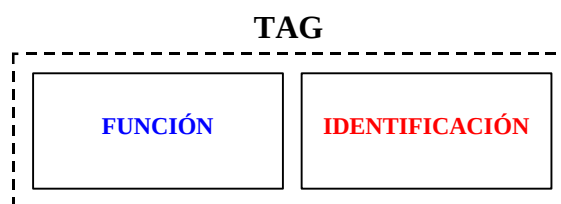
Partes en que puede subdividirse un elemento.

Todo equipo y/o sistema que requiera una inspección periódica debe ser identificado por medio de un sistema único de identificación, que permita la correcta individualización e identificación del mismo. En particular el registro de los dispositivos y o equipos de seguridad, es una información vital para asegurar la integridad de las instalaciones. Con excepción de los sistemas de cañerías esta identificación debe estar claramente estampada o marcada sobre el equipamiento.

Los equipos / sistemas / elementos que conforman el inventario de activos, estarán identificados por un **ID** código único que es utilizado para identificar de manera unívoca un ítem y registrar su historial de fallos e intervenciones, permite el cálculo de indicadores y permite el control de costos, en particular mediante el sistema computadorizado de administración de Mantenimiento MANTEC. Este código alfanumérico identificará un equipo o elemento independientemente de si este está ubicado en una planta, cumpliendo una función efectivamente, en reserva esperando ser utilizado posterior a una reparación o en proceso de reparación. El código alfanumérico se compone de la siguiente información:



Cuando el equipo esté ubicado físicamente en Yacimiento/ Planta / Área – Función, tendrá además una identificación dada por el **TAG**, código que identificará básicamente su función y su posición dentro de la planta.



Las funciones están codificadas de acuerdo a normas internaciones, por ejemplo para Instrumentación ANSI/ISA-S 5.1 – 1984 (R1992) Intrumentation Symbols Identification. El número identificador será correlativo para cada instalación evitando así al repetición de TAG's en diferentes Yacimientos / Plantas / Áreas o funciones.

Revisión de la Criticidad

No todos los equipos tienen la misma importancia en una instalación. Es un hecho obvio que existen equipos que son más importantes en el proceso productivo que otros, y dado que los recursos con que contamos para mantener nuestras instalaciones son limitados, debemos destinar la mayor parte de los mismos a los equipos más importantes, dejando una pequeña porción del reparto a los equipos que menos pueden influir en los resultados del negocio.

Pero, ¿cómo diferenciamos los equipos que tienen mayor influencia en el proceso productivo, de los que no lo tienen? Cuando tratamos de hacer esta diferenciación, hay básicamente una revisión del impacto de una falla en cuatro diferentes áreas:

- o **Seguridad**
Se revisa acá las amenazas a la seguridad de las personas, basado en los diferentes modos de falla definidos. Este no es un análisis de HAZOP, y por lo tanto la discusión del taller básicamente se basa sobre el historial de accidentes, no deben dejar de revisarse las potenciales exposiciones a riesgos del personal. Es por ello que equipos operando a altas presiones, altas temperaturas, gases o líquidos tóxicos deban ser considerados como probables a generar efectos sobre la salud.
- o **Ambiente**
El análisis contempla las consecuencias y la probabilidad de ocurrencia de un evento de fuga ya sea al suelo o al agua, como así también una emisión no controlada a la atmósfera
- o **Perdida Operacional**
Esto contempla la pérdida de producción, ya sea parcial o total, como así también si la misma es recuperable o no (ej.: el compensación de carga para recuperar una falla y alcanzar la nominación diaria de inyección e gas); como así también los impactos sobre la calidad de salida de los productos.
- o **Costos de la Reparación**
Esto es, analizar los costos directos de posibles fallas, excluyendo las pérdidas de producción y otras categorías que se han evaluado anteriormente, incluyendo los costos de potenciales daños colaterales, si la falla puede desencadenar probablemente la falla de otros equipos (Fallas en cascada).

Los equipos estarán clasificados en las siguientes tres categorías:

- **A (Estatutarios y/o Críticos)**
Incluye todos los equipos o instalaciones cuyo período de inspección y tareas a realizar esta regido por una regulación Nacional, Provincial o Municipal, ya sea esta una Ley, Decreto o Resolución o cuyo resultado del análisis de criticidad se encuentra entre 10 y 8 incluyendo ambos.
- **B (No estatutaria)**
Incluye todos los equipos o instalaciones no estatutarias, pero susceptibles a un programa de mantenimiento o inspección periódica, o cuya resultado de criticidad se encuentra entre 7 y 4 incluyendo ambos.
- **C (Bajo Riesgo)**
Incluye todos los ítem no clasificados como A o B y sujetos a sistema de inspección y/o revisión no programado. La clasificación C cubre aquellos equipos en servicios de bajo riesgo cuya criticidad en términos de consecuencias de seguridad y confiabilidad operativa en general no justifica

una estrategia de inspección periódica y constituyen el grupo e equipos mantenidos con una estrategia a la rotura. Sin embargo los equipos clase C deben ser mantenidos e inspeccionados como un requerimiento para asegurar que continúan manteniendo las condiciones de aptitud para el servicio.

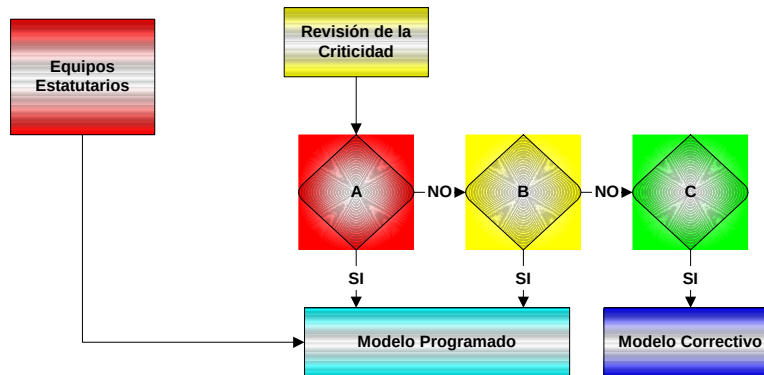
Para la clasificación de equipos no Estatutarios se utiliza la siguiente matriz:

Criticidad	Tipo equipo	Area afectada	Perd. producc.	Produccion no recuperable	Produccion recuperable	Costo de operación /mantenimiento	Medio ambiente / Seguridad
10	Sin reserva	Planta, multiple	C				
9	Sin reserva	Unidad	C				
9	Emisiones fugitivas						Fugitivas
8	Sin reserva	Unidad	S	Si			
8	Con reserva	Planta	C				
8	Sin reserva		I			Alta	
8	Equipo de seguridad		I				Un equipo de seguridad
7	Con reserva	Unidad	C				
7	Fugitivas aislables						Fugitivas
6	Sin reserva		S		Si		
5	Con reserva		S	Si			
4	Con reserva		S		Si		
4	Con reserva		I			Alta	
4	Sin reserva		I			Bajo	
3	Con reserva		I			Bajo	
2	Edificios/ caminos						
1	Miscelaneos/herramientas						

Selección del modelo de Mantenimiento

Ya hemos definido como registramos los equipos que estarán sometidos a algún tipo de régimen de mantenimiento, hemos definido su criticidad dentro del proceso productivo, ya sea por su impacto en la seguridad, el ambiente, la producción o los costos, hemos definido si existe alguna regulación que condicione las tareas y la frecuencia de las mismas, y por lo tanto podemos dar el primer gran paso para definir el *modelo de mantenimiento* a aplicar.

Si el equipo resulta ser **Estatutario** o critico **A** o no estatutario **B** le corresponderá alguno de los tres tipos que responden al mantenimiento programado (preventivo sustitución, preventivo reparación, predictivo), Por último si el equipo es clase **C**, le corresponderá una modelo correctivo o a la rotura, salvo excepciones que veremos más adelante.



Plan de Mantenimiento

Tenemos hasta aquí, el listado de equipos que deberán ser mantenidos, los hemos identificado mediante códigos de información, los hemos clasificado en función de su criticidad dentro del proceso productivo y les hemos asignado el modelo de mantenimiento que mejor les aplica, ahora debemos definir el plan de mantenimiento correspondiente.

El plan de mantenimiento es un documento que contiene el conjunto de tareas de mantenimiento programado que debemos realizar en una planta determinada para asegurar los niveles de disponibilidad y calidad que se hayan establecido precedentemente. Es un documento vivo, ya que existe un proceso sistemático de revisión del mismo, de acuerdo a los resultados de los análisis de fallas que se van produciendo a lo largo de la vida útil del activo y a los cambios en la estrategia del negocio, al cual debe adaptarse el plan de mantenimiento (ej.: planes de des-inversión, cambios de estrategias productivas, etc.)

Para desarrollar este plan de mantenimiento, la metodología que utilizamos es *Mantenimiento Basado en Confiabilidad (RCM)*.

El Mantenimiento centrado en confiabilidad comenzó en la década del '70 en los Estados Unidos de América para la industria aerocomercial, para hacer frente al desafío del mantenimiento de jets. Estas técnicas fueron creciendo con la industria militar en los '80 y finalmente a la industria Nuclear y de generación. Desde su concepción, la metodología ha experimentado muchos cambios y ha sido adaptada a diferentes requerimientos específicos de cada industria. También ha fallado en muchas organizaciones debido a diferentes causas, paso lento del análisis, la pérdida de personal antes de haber concluido el análisis por lo extendido de los mismos, pérdida de interés, pobre puesta en práctica, y más a menudo, al uso extenso y costoso uso del mantenimiento intruso como resultado del análisis de modos de falla muy poco probables.

El ESMP (Equipment Specific Maintenance Plan) es un proceso desarrollado a partir del RCM II, por AMOCO en 1994, un enfoque mas generalizado y una metodología para analizar mayores áreas funcionales de proceso, que contienen grupos de equipos con un propósito específico. Se desarrolla una descripción de la función de cada sistema y su correspondiente estrategia de operación.

El análisis con esta metodología ya sea RCM II o ESMP aporta una serie de resultados que podríamos agrupar de la siguiente manera:

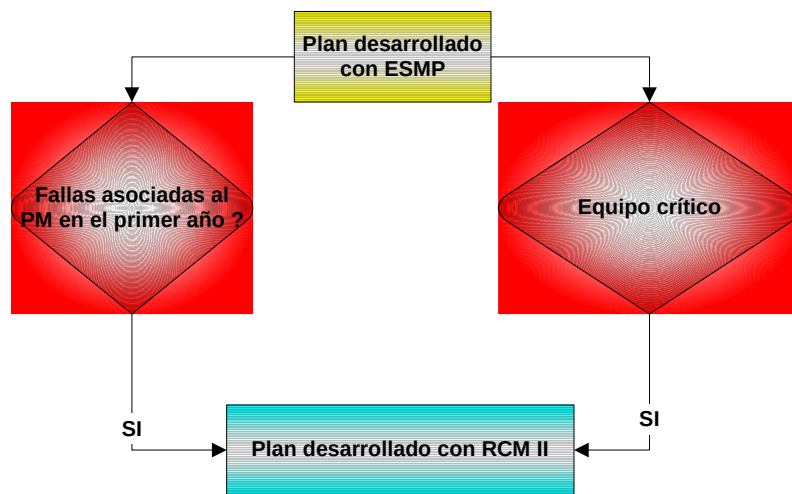
- o Comprensión del funcionamiento de los equipos, su interrelación en el proceso y las consecuencias ante un fallo del mismo.

- o Las formas en que un equipo puede fallar, el desarrollo de estos mecanismos en el tiempo, como puede o no darnos alertas tempranas del desarrollo de una de ellas.
- o La elaboración de planes de mantenimiento que tiendan a garantizar, de la manera más económica posible, la operación de estos equipos dentro de los parámetros de funcionamiento establecidos.

Las fases principales del proceso de revisión son

- o Determinación de las funciones de un equipo
- o Determinación de los fallos funcionales
- o Determinación de los modos de fallo
- o Estudio de las consecuencias de dichos fallos
- o Determinación de las tareas que eviten o amortigüen los efectos de los fallos
- o Determinación de las frecuencia óptimas para estas tareas
- o Agrupación de estas tareas y frecuencias en hojas de revisión , que constituyen el plan inicial de mantenimiento

Dada la primera emisión del plan con ESMP, ya sea por que en el primer año experimentamos una cantidad de fallas importantes con causa raíz en las tareas o frecuencias establecidas en el plan primario o por que la criticidad del equipo dentro del proceso productivo justifica el análisis más exhaustivo del mismo, realizaremos un análisis RCM II, ya no basado sobre un área de proceso, como en el ESMP, si no sobre un equipo o sistema.



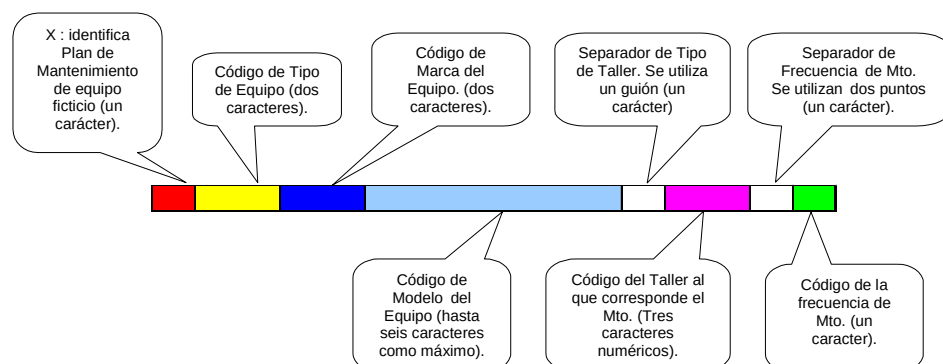
El plan de mantenimiento debe ser, entre otras cosas, *realizable*. Hay una regla de oro para la realización de planes de mantenimiento: es mejor un plan de mantenimiento incompleto que se lleva a la práctica que el mejor plan de mantenimiento, exhaustivo y completo, que no se realiza!!

En el desarrollo del plan inicial , previo al desarrollo del plan basado en el análisis de los equipos y sus fallos funcionales y sus modos, se desarrolló un plan de mantenimiento basado en instrucciones genéricas, que contemplaban un análisis de las normativas

existentes, sean estas de cumplimiento obligatorio o de referencia, la documentación existente de BP, disponible por se el accionista principal de la compañía pero no de uso obligatorio por ser un JV, la normativa internacional pertinente, las recomendaciones del fabricante, generando así una matriz de análisis, de la que se desprendía la práctica recomendada de PAE para dicho equipo, que sería luego modificada solamente por la realización del análisis de ESMP o más en detalle; por las razones ya antes descriptas, por RCM II. Solo como ejemplo esta tabla parcial de documentos de referencia.

Equipo	Marco Regulatorio	BP Reference	Norma Internacional	Plan PAE
Cañería de proceso		RP 32-4 Secc 7	API RP 570 API 574	RecPAE-CañProc
PSV	NAG 164	ESR.97.ER.089 RP 32.3 RP 32.4 RP 44.1	API 510 API 520 II API 527 API 576 ASME VIII	RecPAE-PSV
Class 1 Div I y II electrical equipment	Ley 19.587 Dcto 351/79 Ley 13.660 dcto 10877/60	GP 12-60	IEC 60079-17	RecPAE-Class 1Equip
Red contra incendio a base de agua	NAG 125 Ley 13660 –dcto 10877	GP-24-10 MIMS	NPFA 15 / 25	RecPAE-RCIAgua

Los planes estandarizados, tiene también un código único de identificación y podrán ser reformados, aplicando el Proceso de Manejo e cambio, adecuado.



Revisión de la estrategia de Repuestos

Uno de los costos más importantes del Departamento de Mantenimiento lo constituye el consumo de repuestos. Como dos desafíos adicionales en los últimos tiempos tenemos primero, que los departamentos financieros y los estrictos controles económicos que se hacen han impuesto políticas de reducción de stock cada vez más agresivas, de forma tal que se hace necesario estudiar, de una manera más analítica y sistemática, que materiales son los imprescindibles para mantener en Stock y segundo existe una directa vinculación entre la disponibilidad de Stock y la disponibilidad de plantas, sobre la cual existe cada vez más presión para alcanzar niveles de excelencia, en aras de minimizar las pérdidas.

Por lo tanto, además de optimizar el consumo de partes, hay que encontrar un compromiso entre el capital a inmovilizar en la compra de repuestos y partes y la disponibilidad deseada de la planta.

Inicialmente, basados en los planes de mantenimiento genéricos desarrollados y las recomendaciones de los fabricantes, se establecieron tanto los consumos como los

repuestos críticos. De manera general, debimos tener en stock aquellos materiales de alto consumo o muy largo tiempo de adquisición. Definimos como críticos a aquellos esenciales para mantener la producción, ya sea directa o indirectamente y/o de largo tiempo de adquisición. Para elementos de alta demanda (como juntas, bulónes, etc..) utilizamos métodos tradicionales de Stock holding, tales como niveles económicos de adquisición, finalmente para elementos críticos, de bajo índice de rotación, alto costo etc, utilizaremos estrategias específicas basadas en el riesgo que surge del análisis de las consecuencias y probabilidades de ocurrencia de una determinada falla.

Posteriormente, de la misma manera que la estrategia de mantenimiento fue desarrollada basada en la confiabilidad, estamos comenzando el camino de desarrollar la estrategia de repuestos centrada en la confiabilidad. El proceso de repuestos centrados en confiabilidad consiste, a semejanza del proceso de mantenimiento basado en confiabilidad, de la revisión de los modos en que el equipo puede fallar, pasando por las consecuencias de esa falla, analizando los efectos de la falla juntamente con las consecuencias de la falta del repuesto para la restauración de la operatividad del equipo, para finalmente establecer la política de stock adecuada para cada repuesto.

En el año 2003, con el inicio de los ciclos de mejora de mantenimiento implementados, mediante las herramientas para optimizar las decisiones que afectan los ciclos de vida desarrolladas por PhD A.K.S. Jardine de la Universidad de Toronto, comenzamos a desarrollar algunos pilotos de optimización de decisiones de reemplazo, de decisiones de Inspección y de Overhaul y reparaciones mayores; junto con estas modificaciones se está revisando la estrategia de repuestos basada en diferentes criterios de decisión, como son: la confiabilidad del intervalo, la confiabilidad instantánea, la minimización de los costos y la disponibilidad del sistema. Los primeros resultados de dichos análisis son alentadores, tal es así que está en programa para el 2006 el despliegue de los pilotos a los equipos.

Sistema de Planificación y Programación de Mantenimiento

Hemos identificado a los equipos mediante un adecuado codificación, los hemos clasificado de acuerdo a su importancia dentro del proceso productivo, les hemos diseñado el conjunto de tareas y frecuencias que tenderán a mantener el equipo cumpliendo con la función previamente establecida, ahora tenemos que implementar el plan..... Para ello hemos diseñado un proceso de planificación y programación de las actividades de mantenimiento.

La planificación y programación del trabajo de mantenimiento es una serie de actividades y procesos destinados a manejar el trabajo de mantenimiento desde la detección de la necesidad hasta la finalización del trabajo.

Podemos resumir sus objetivos en:

- ✓ Planificar y programar los trabajos para maximizar la efectividad de la fuerza laboral u reducir continuamente los costos.
- ✓ Maximizar el trabajo planificado y programado hasta valores del 90% o más según cada UG.
- ✓ Minimizar el tiempo extra utilizado en mantenimiento.
- ✓ Mejorar en forma continua la utilización la fuerza laboral y sus habilidades.
- ✓ Los planificadores anticiparan los trabajos.
- ✓ Los programadores maximizaran la utilización de los recursos, utilizando a la operación para las actividades autónomas.
- ✓ Revisar los programas y mejorarlos con los historiales del CMMS (MANTEC).

Para ello, como en todo proceso comenzamos por la definición clara de roles y responsabilidades, más en este caso donde el proceso excede al departamento de Mantenimiento, y se transforma en el sistema de gestión del trabajo de la organización. Estos roles y responsabilidad primariamente están definidas por:

Responsabilidades de Operaciones:

- ✓ Analizar los permisos de trabajo necesario y evaluación de los riesgos potenciales
- ✓ Compartir con mantenimiento la responsabilidad en determinar la prioridad del trabajo.
- ✓ Tener el equipo listo, para cuando esta programado el trabajo.
- ✓ Proyectar las necesidades futuras.
- ✓ Anticipar los pedidos de trabajo, antes que los mismos se transformen en emergencias.
- ✓ Operar los equipos correctamente.
- ✓ Monitorear los equipos para detectar fallas tempranamente y determinar cuando se requiere una intervención.

Responsabilidades de Mantenimiento:

- ✓ Analizar los permisos de trabajo necesario y evaluación de los riesgos potenciales
- ✓ Desarrollar un programa de mantenimiento preventivo
- ✓ Suministrar mano de obra, materiales, supervisión y expertiz técnica para desarrollar los trabajos
- ✓ Desarrollar un plan master
- ✓ Retro-alimentar la información en las OT completadas
- ✓ Reparar los equipos e instalaciones
- ✓ Monitorear los equipos para determinar cuando se requieren reparaciones correctivas

Roles de Operaciones

- ✓ Escribir las pedidos de trabajo de una falla descubierta
- ✓ Revisar diariamente el programa de trabajo
- ✓ Parar y preparar el equipo para el mantenimiento
- ✓ Aislar el equipos y asegurar la emisión de permisos de trabajo correspondientes y planillas de riesgos potenciales
- ✓ Interactuar con el personal designado para ejecutar el mantenimiento.

Roles de Mantenimiento

- ✓ Revisar los planes de mantenimiento
- ✓ Revisar los permisos de trabajo y planillas de riesgos potenciales correspondientes
- ✓ Obtener las herramientas y partes
- ✓ Realizar la reparación del equipo
- ✓ Ingresar las horas trabajadas y completar la orden de trabajo con un detalle de las actividades realizadas, valores de mediciones efectuadas, repuestos y partes consumidas, cualquier otra información de valor para el correcto análisis de gestión de mantenimiento

El proceso completo consta de las siguientes actividades:

- o Identificación del trabajo
- o Generación del requerimiento del trabajo
- o Aprobación de la orden de trabajo
- o Priorización de la orden de trabajo
- o Planeamiento de la orden de trabajo
- o Programación de la orden de trabajo
- o Ejecución de la orden de trabajo
- o Documentación de la orden de trabajo

Identificación del trabajo Es el primer paso del proceso, ocurre cuando se ha identificado la necesidad de realizar un trabajo para prevenir la ocurrencia o corregir un defecto.

Generación del requerimiento del trabajo Un requerimiento de trabajo o *Pedido de trabajo* es generado luego de haberse detectado la necesidad de una acción correctiva en un equipo o instalación.

Aprobación de la orden de trabajo es el proceso de conversión un pedido de trabajo a una orden de trabajo, implica el reconocimiento de la necesidad y el cargo presupuestario correspondiente.

Priorización de la orden de trabajo una vez que la orden de trabajo esta aprobada, el siguiente paso es determinar que tan rápido esta debe ser ejecutada. Este paso, llamado Priorización, es utilizado para diferir el trabajo hasta que el mismo pueda ser completado en un tiempo oportuno. La Priorización del trabajo requiere consideraciones de las perdidas potenciales de producción, incremento de los costos de reparación y consecuencias sobre la seguridad y /o el medio ambiente.

El proceso de Priorización adoptado en las Estrategias Comunes de Mantenimiento de PAE, tomadas de las CMS de BP se llama RIME y pude verse en la tabla I.

La prioridad A es usualmente definida como Urgente o Emergencia y es un trabajo automáticamente exento del proceso de Planificación & Programación, dado que el trabajo debe ser realizado de manera inmediata. El trabajo de prioridad B normalmente requiere que el trabajo sea desarrollado y completado dentro de los 5 – 7 días de la generación del pedido. Y la prioridad C puede ser diferida hasta 30 días. Utilizando el sistema de Priorización, se habilita al diferimiento del trabajo mientras que el correcto proceso de planificación y programación puede ser llevado a cabo.

Esta actividad se desarrollará en una reunión Semanal de planificación, que revisará diariamente a fin analizar todas los nuevos pedidos de trabajo ingresados (y convertidos a Ordenes) para asignar la prioridad correspondiente, de la misma participan miembros de operaciones, mantenimiento y programación, de nivel acorde a las decisiones a tomar.

RIME CHART

RANKING INDEX FOR MAINTENANCE EXPENDITURES (RIME)

PRIORITY CLASSES OF EQUIPMENT	PRIORITY CLASSES of MAINTENANCE WORK								
	Daño mayor a individuos	Daño al medio ambiente	Seguridad	Paro de Equipo	Preventivo & Predictivo	Correctivos sin paro de equipo	Mejoras menores	mantenimiento de auxiliares	Limpieza
CLASS	9	8	7	6	5	4	3	2	1
10	90		70	60	50	39	30	20	10
9	81	72	63	54	45	37	27	18	9
8	73		56	48	40	33	24	16	8
7	65	57	49	43	35	29	21	14	7
6	65		42	36	30	23	18	12	6
5	65		35	30	25	19	15	10	5
4	65		28	24	20	17	12	8	4
3	65		21	18	15	13	9	6	3
2	65		14	12	10	8	6	4	2
1	65		7	6	5	4	3	2	1

PLANTWIDE EQUIPMENT CRITICALITY

Equipment Class or Criticality	Equipment Type	Area Affected	Production Loss	Unrecoverable Production	Recoverable Production	Cost to Operations	Environmental/ Safety Impact
10	unspared	plant, multi	c				
9	unspared	unit	c				
	fugitive non-isolatable						fugitive
8	unspared	unit	s (3)	yes			
	spared	plant/multi*	c				
	unspared		i			high (1)	
	safety equip		i				On-Unit safety
7	spared	unit*	c				
	fugitive isolatable						fugitive
6	unspared		s (3)		yes		
5	spared		s (3)	yes			
4	spared		s (3)		yes		
	spared		i			high (1)	
	unspared		i			low (2)	
3	spared		i			low (2)	
2	buildings roads						
1	misc/tools						

* If primary goes down 1 = > \$1500 /day 2 = < \$1500 /day 3 = > 20% /day

c = complete
s = significant
i = insignificant

En una customización de MANTEC este número de prioridad sale impreso en las Ordenes de Trabajo y facilita el trabajo de armado del plan semanal al programador.

Planeamiento de la orden de trabajo: Muchas veces la planificación y la programación son consideradas como una única actividad, sin embargo están actualmente separadas en dos procesos. El planeamiento consiste en identificar y organizar los recursos necesarios para ejecutar el trabajo definido, esto incluye además de horas hombre por especialidad, repuestos y partes, herramientas, permisos y procedimientos.

Este trabajo será desarrollado en conjunto entre los líderes especialistas y el programados / Planificador, con participación de Ingeniería de Mantenimiento, dependiendo de la complejidad del trabajo

Existirán ciertas tareas repetitivas, aun cuando no sean trabajos de Mantenimiento Planeado, que podrán guardarse como una agrupación de subtareas, para facilitar el proceso de planificación.

Programación de la orden de trabajo: El trabajo de programación consiste en revisión del backlog para determinar cuales trabajos están disponibles y listos para ser ejecutados. Obviamente la preferencia estará dada para los trabajos de mayor prioridad y para trabajos de igual prioridad la preferencia estará dada por la mayor antigüedad del trabajo en el backlog.

Semanalmente se realizará una reunión de programación, en la cual se acordará juntamente entre operaciones y mantenimiento el programa de trabajo para la semana próxima, tanto de mantenimientos correctivos, como de mantenimientos preventivos, este programa será solamente modificado por trabajos de emergencia que surgieran y esta modificación del programa semanal será tratada en la reunión diaria de programación.

En la reunión semanal se verificarán además los permisos de trabajo correspondientes, se analizarán los riesgos de la tareas y las contramedidas a implementar, como así también la revisión primaria de la planilla de riesgos potenciales, que será luego revisada por el personal responsable de la ejecución en el lugar de trabajo antes de iniciarlos.

Estas reuniones son formalmente documentadas

Ejecución de la orden de trabajo Los especialistas reciben todos los días las ordenes de trabajo asignadas a su grupo para ser ejecutadas. Luego de realizar el trabajo previsto en el alcance de la orden de trabajo, deben capturar cualquier información adicional, como ser modificación en los tiempos previstos, repuestos y / o tareas adicionales, registro de nuevos pedidos, etc.

Si al verificar las medidas contempladas en el permiso de trabajo correspondiente surgiese un riesgo no contemplado, o diferencia con lo establecido en el alcance del trabajo, el mismo deberá ser inmediatamente suspendido y debe ser revisado nuevamente antes de ser re-programado.

Será responsabilidad de los equipos de trabajo, no aceptar pedidos de trabajo que no posean su correspondiente orden de Mantec y su correspondiente PRP y PT.

En la orden de Trabajo de Mantec, se hará referencia al # de Permiso de Trabajo para poder trazar luego esta información de ser requerida.

Documentación de la orden de trabajo El paso final para completar el proceso de la gestión del trabajo de mantenimiento consiste en la documentación de la orden de trabajo. Se distinguen dos tipos de información a obtener de la orden de trabajo, primero aquella información relacionada con la gestión, esto es horas hombre utilizadas, repuestos utilizados y su costo, y otros. Un segundo tipo de información esta relacionada con la condición del equipo como prioridades para reparaciones mayores, huelgos y desvíos de sus tolerancias, calibraciones y sus desvíos, razones de las fallas, etc.

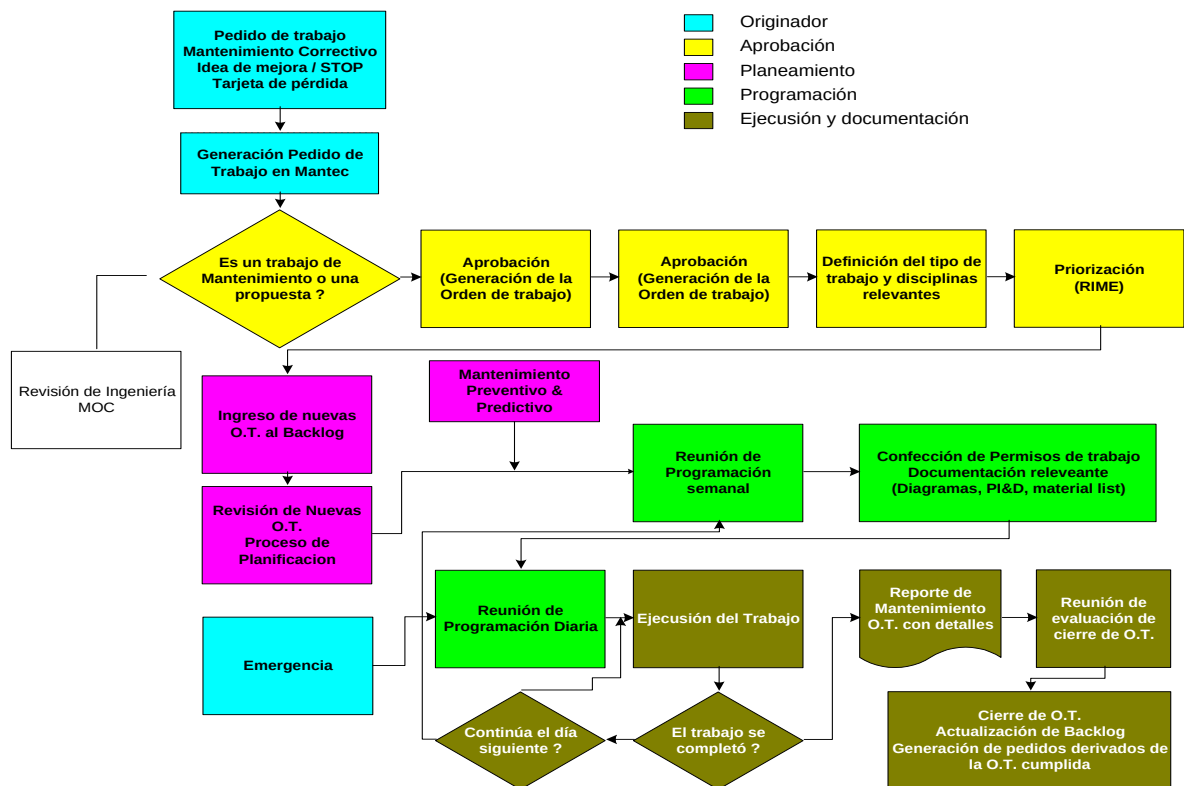
Al finalizar cada jornada de trabajo se realizará una reunión de especialistas e Ingeniería de Mantenimiento para evaluar los trabajos terminados, novedades surgidas durante el mantenimiento, nuevos pedidos que surgiesen de las observaciones y / o inspecciones realizadas.

Finalmente la efectividad global del proceso será medida mediante indicadores de gestión dentro de los cuales podemos mencionar:

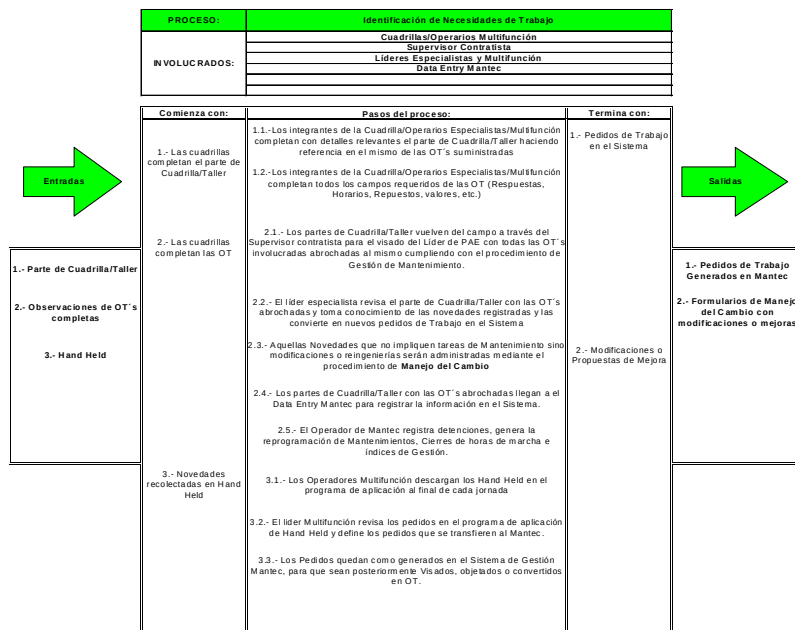
- Cantidad de horas-hombre pendientes en el backlog (por prioridad)
- Cantidad de fallas (por componente)
- Número de ordenes de trabajo completadas por mes (por prioridad)
- % de trabajo planeado & programado
- % de utilización de mano de obra
- % de ordenes de trabajo completadas fuera del tiempo asignado (por prioridad)
- % de ordenes de trabajo de emergencia.
- % de mantenimientos preventivos retrasados o no cumplidos

Esta información provista por los indicadores es utilizada para determinar los niveles adecuados de staffing e identificar equipos cuya performance esta fuera de los objetivos de confiabilidad, entre otras acciones.

El proceso de planificación y programación de Mantenimiento está resumido en el siguiente diagrama de flujo:



En cada sub-proceso se ha definido además cuales son los documentos de entrada y salida, los pasos que se deben dar para que el proceso se cumpla satisfactoriamente como así también quienes son los diferentes involucrados en el mismo.



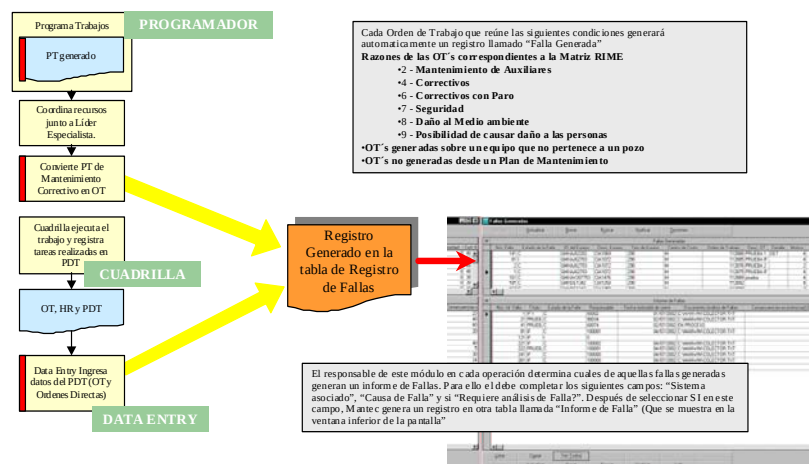
Análisis de Fallas

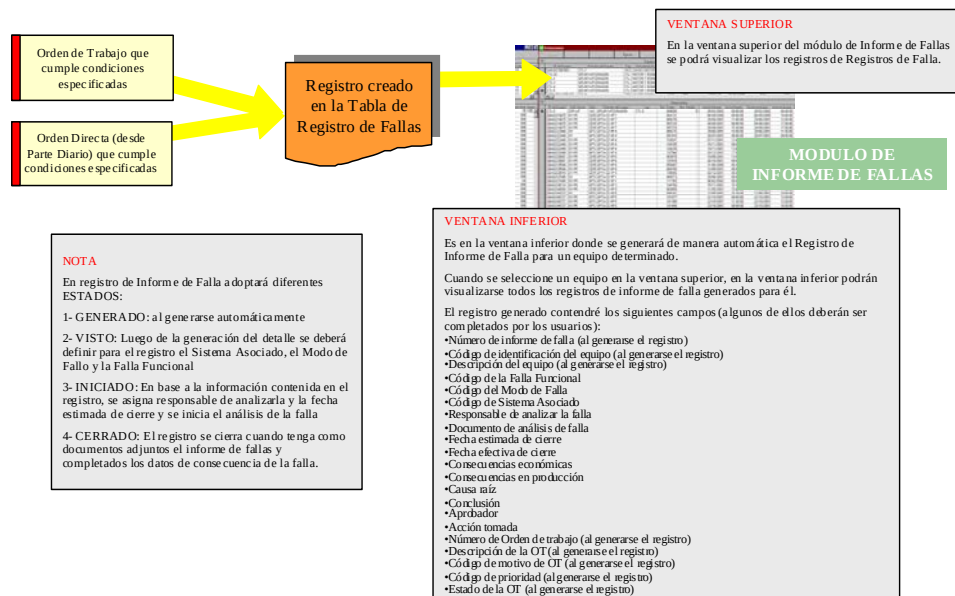
El análisis de las fallas tiene por objetivo determinar las causas que provocan la avería, para adoptar medidas preventivas que eviten la repetición de las mismas.

El sistema de análisis de fallas en PAE cubierto por un procedimiento operativo, tiene los siguientes lineamientos principales:

- Las fallas se clasifican en esporádicas y crónicas. Las primeras corresponden a una falla mayor, de baja frecuencia de repetición, que ha generado un HIPO (Incidente de alto potencial), un MI (Incidente Mayor), un accidente con días perdidos o una fatalidad, o una importante pérdida de producción o generado un alto costo de reparación. Las segundas corresponden a la mayor parte de las fallas cotidianas, que en si mismas no generan una gran pérdida de producción o costo de reparación.
- Se analizarán el 100% de las fallas esporádicas, al momento de su ocurrencia, debido a la implicancia de la misma. En términos generales se contará con un informe preliminar a los siete (7) días de iniciado el análisis y el informe final a los treinta (30) días, dependiendo de los ensayos complementarios que deban hacerse que pueden demorar mas tiempo.
- Las fallas crónicas se analizarán en ciclos trimestrales, es decir se paretizarán, por su impacto, las mismas por trimestre y se formará un grupo para analizar la principal falla. El período de análisis y generación de las recomendaciones será trimestral.
- Será responsabilidad del responsable de Mantenimiento o Ingeniería de Mantenimiento la formación de un equipo multidisciplinario para conducir los análisis, los que serán facilitados por una persona de Ingeniería de Mantenimiento entrenada en la herramienta PROACT.
- Las fallas serán analizadas y registrados los análisis mediante la utilización de la herramienta PROACT, los análisis serán publicados en la página de Mantenimiento e Integridad de la Intranet de PAE y Chaco.
- Las acciones resultantes de los análisis serán seguidas en la herramienta corporativa TR@CTION.
- Se incluirá como indicador clave la cantidad de fallas por mes clasificadas por tipo.

Para permitir la paretización de las fallas se implementó un nuevo módulo en el CMMS (Mantec), que genera registros de falla en forma automática, el proceso de generación de registros funciona de la siguiente forma





El diseño del módulo original se basó en las tablas de equipos y de causas de falla del programa de confiabilidad ESMP, generándose tablas referenciales de equipos / sistemas / causas de falla que fueron adaptadas al sistema Mantec. Actualmente en un paso evolutivo se migró el módulo de Fallas del Mantec en su versión MPX para que sea consistente con la Norma ISO 14224 (Petroleum and natural gas industries —Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment —) que nos permite registrar las fallas, paretizarlas y compararlas con OREDA (Offshore Reliability Database) que son datos estadísticos de importantes operadoras de la industria y que permiten comparar la performance de nuestros equipamientos.

Para cada equipamiento se definen los límites, sus ítems mantenibles y sus modos de falla que luego fueron tabulados matricialmente en el Módulo de Fallas en el Mantec, versión MPX.

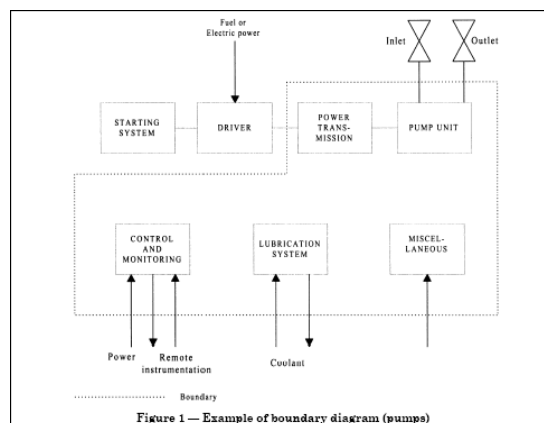


Table 3 Subdivision in Maintainable Items, Pumps

EQUIPMENT CLASS	PUMPS				
SUBUNITS	Power transmission	Pump unit	Control and Monitoring	Lubrication system	Miscellaneous
MAINTAINABLE ITEMS	• Gearbox • Bearing • Seals • Lubrication • Coupling to driver • Coupling to driven unit	• Support • Casing • Impeller • Shaft • Radial bearing • Thrust bearing • Seals • Valves • Piping • Cylinder liner¹ • Piston¹ • Diaphragm¹	• Control unit • Actuating device • Monitoring unit • Internal pwr supply • Valves	• Reservoir • Pump w/ motor • Filters • Cooler • Valves • Piping • Oil	• Purge air • Cooling/heating system • Filter, cyclone • Pulsation damper • Others

Table A.41 — Failure modes — Pumps

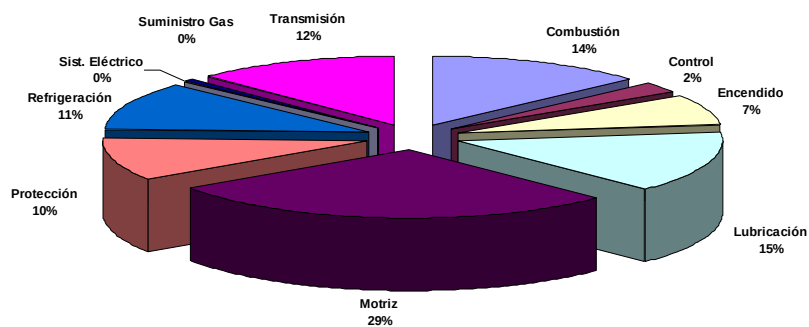
Equipment unit	Code	Definition	Description
Pumps	FTS	Fail to start on demand	Unable to activate pump
	STP	Fail to stop on demand	Unable to stop or incorrect shutdown process
	SPS	Spurious stop	Unexpected shutdown of pump
	BRD	Breakdown	Serious damage (seizure, breakage, explosion, etc.)
	HIO	High output	Output pressure/flow above specification
	LOO	Low output	Output pressure/flow below specification
	ERO	Erratic output	Oscillating or unstable pressure/flow
	ELP	External leakage process medium	Process medium escape to environment
	ELU	External leakage utility medium	Lube/seal oil, coolant, etc.
	INL	Internal leakage	E.g. process medium in lube oil
	VIB	Vibration	Excessive vibration
	NOI	Noise	Excessive noise
	OHE	Overheating	Excessive temperature
	PDE	Parameter deviation	Monitored parameter exceeding tolerances
	AIR	Abnormal instrument reading	E.g. false alarm, faulty reading
	STD	Structural deficiency	E.g. cracks in support or suspension
	SER	Minor in-service problems	Loose items, discoloration, dirt, etc.
	OTH	Other	Specify in comment field
	UNK	Unknown	Inadequate/missing information

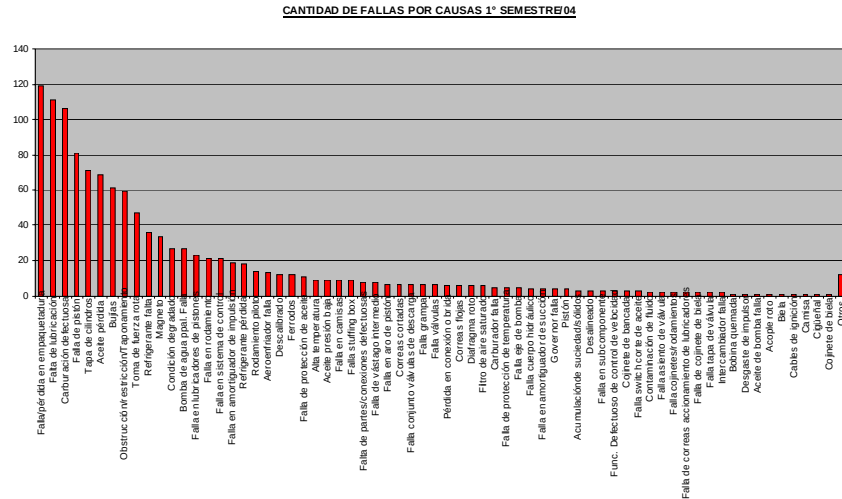
Que llevado a MANTEC se ve de la siguiente manera:

The screenshot displays the MANTEC 3.2.1 software interface. The main window shows a menu on the left with options like 'Inicio', 'Planificación', 'Equipos', 'Historial', 'Estadístico', 'Detenciones', 'Fallas', 'Costos', 'Gestión', 'Tablas de Mant...', and 'Suministros'. The 'Fallas' menu is expanded, showing options like 'Fallas Generadas', 'Informe de Fallos', 'Consulta Fallos Generados al 2004', 'Descriptor de Fallos vs Modo de Fallo', and 'Item Mantenable vs Modo de Fallo'. The 'Descriptor de Fallos vs Modo de Fallo' window is open, showing a table with columns for 'Descripción' and 'Fecha Desde'/'Fecha Hasta'. Below this, there are several smaller windows showing 'Sistemas Asociados', 'Causas de Fallos', and 'Relación Sistema/Tipo de Equipo'.

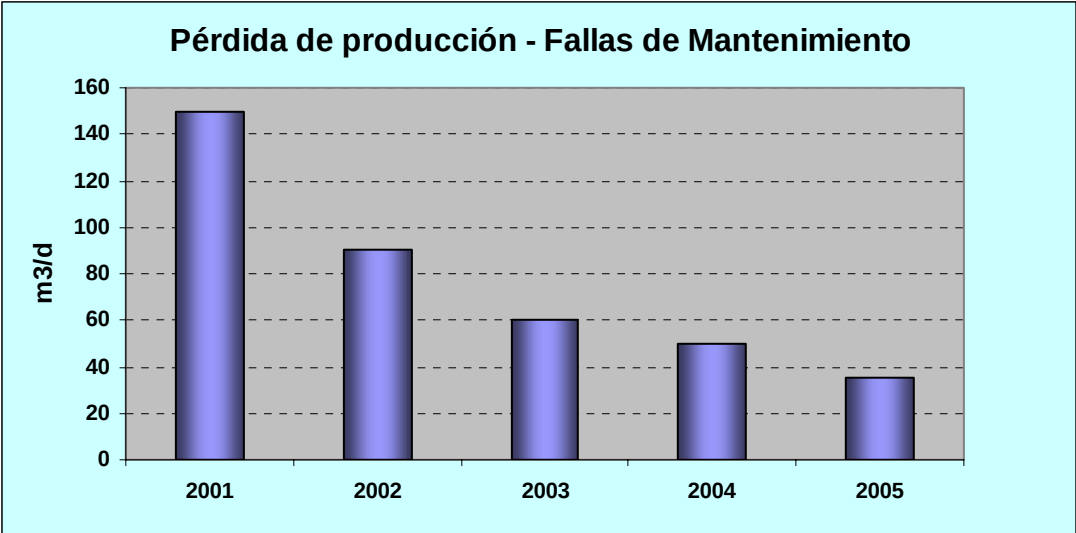
Y permite obtener información clasificada por Sistema, Tipo de Equipo y Causa de Falla asociada, de los cuales se observan gráficos a modo de ejemplo:

CANTIDAD DE FALLAS POR SISTEMA ASOCIADO 1° SEMESTRE/04





La implementación sistemática de herramientas consistentes en el análisis de causas raíces, juntamente con la implementación de las Estrategias Comunes de Mantenimiento, nos ha permitido reducir las perdidas de manera muy significativa, como puede verse en el gráfico siguiente, de valores promedios de pérdida de producción en el año 2001 de 150 m³/d de promedio año, a un valor promedio año en el 2005 de 35 m³/d (75% en valor absoluto), es importante considerar además que durante el mismo período la producción creció a más del 10 % por año, lo que implica que si expresamos la pérdida de manera porcentual a la producción, esta mejora será aún más notable.



El proceso de Análisis de Falla descrito como así también los grupos de mejora, que aplicando técnicas de análisis estadístico de confiabilidad, como optimización de las decisiones más allá de RCM, es lo que llamamos revisión táctica de mantenimiento, y se realiza en base a un planeamiento anual.

Auditorias del Plan

Por último paso, dentro del diagrama de flujo que establecía la implementación de las estrategias comunes de mantenimiento en PAE, tenemos el proceso de auditorias, tanto internas, como de Pares, y trianualmente una revisión externa.

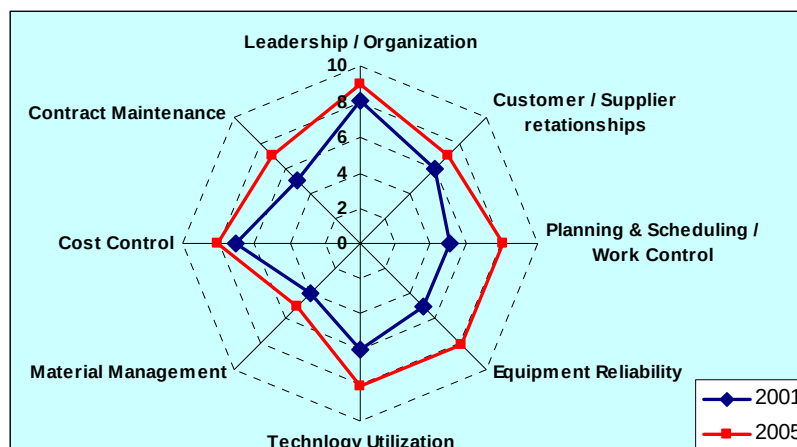
Las auditorias de Calidad de Mantenimiento son una herramienta que nos sirve fundamentalmente para identificar oportunidades de Mejora. Se compara la situación del departamento de mantenimiento con un estándar de excelencia. El resultado de dicha comparación, es un índice de conformidad, esto es el % de acercamiento a la excelencia. En las auditorias de Mantenimiento se evalúan, siguiendo las expectativas de la gestión de Mantenimiento, los siguientes aspectos:

- Liderazgo y Organización
- Relaciones Cliente / Proveedores internos y externos
- Proceso de Planificación y Programación y Control del Trabajo
- Confiabilidad de los equipos
- Utilización de la tecnología predictiva y proactiva
- Management de los materiales
- Control de costos
- Contratos de Mantenimiento

Los resultados de este proceso nos dan una detallado análisis cuantitativo de las actuales prácticas de mantenimiento, procurando

- Identificación de la línea de base del proceso de gestión de Mantenimiento
- Identificación de oportunidades de mejora en el proceso de Planificación y Programación, para mejorar la utilización de la mano de obra y el desarrollo de las competencias de los programadores y planificadores
- Identificación de oportunidades en la aplicación de técnicas de análisis de confiabilidad (ESMP / RCM II / RCFA / REALCODE / RELIASOFT / PROACT / etc.
- Identificar las mejores prácticas del sitio y compartirlas a través de toda la organización
- Identificar oportunidades de incrementar la producción / revenue
- Proveer una estimación de ahorros potenciales sobre el presupuesto actual de mantenimiento.

A continuación se pueden ver las evaluaciones correspondientes a los años 2001 y 2005.



Este proceso es lo que denominamos revisión estratégica del plan de mantenimiento

Conclusiones

La implementación sistemática de un plan de mantenimiento, que privilegia la implementación de técnicas predictivas no intrusivas, basado en confiabilidad; el análisis incansable de las fallas hasta dar con la verdaderas causas raíces tanto sistémicas como físicas, la conformación de equipos de mejora enfocados en base a una planificación anual y la revisión; mediante una visión externa, del funcionamiento del sistema de gestión de mantenimiento, han generado en PAE en los últimos años:

- Mejoras en confiabilidad y disponibilidad de equipos críticos hasta alcanzar más de 99%
- Mejoras en la eficiencia global de equipos críticos (OEE) en más de 20%, lo que implica por ejemplo, incremento en la inyección de gas con la misma potencia, o incremento en la inyección de agua y por lo tanto en la producción obtenida con la misma potencia.
- Reducción en la tasa de fallas de más del 50% respecto de la línea base (año 2001)
- Reducción en los costos de mantenimiento

Bibliografía

- Estrategias Comunes de Mantenimiento de PAE
- Organización y Gestión Integral de Mantenimiento – Santiago García Garrido
- The Equipment Specific Maintenance Plan Philosophy Manual – David Bowman
- Maintenance Excellence – John Campbell & Andrew Jardine
- Maintenance, Replacement & Reliability – A. K.S. Jardine
- Risk & Reliability Strategy for optimizing Performance – V. Narayan
- Reliability Centered Maintenance RCM II – John Moubray
- Guidance on Practice for Inspection & Testing of Equipment In-Service – Management Principles – BP Engineering Technical Practice
- Plant & Machinery Failure Prevention – A. Hattangadi
- Repuestos Centrados en Confiabilidad – RSC – Ellmann, Sueiro y Asociados
- Reliability – The magazine for improved Plant Productivity
- Petrotecnia Agosto 2001 – Una vision para Mejorar la productividad – F. Caldora

CV Resumido Federico Caldora

Egresó en 1986 de la Universidad nacional del Comahue, con el título de Ingeniero Industrial Mecánico. Ha asistido a diversos cursos de perfeccionamiento y Postgrado, como Programa de Desarrollo Gerencial (Universidad Austral), International Petroleum Management Certificate Program (IHRDC Boston Ma), ha publicado referentes trabajos en publicaciones técnicas, congresos de Mantenimiento y Confiabilidad y SPE (Aberdeen 2004).

En año 1986 comenzó a trabajar en Bridas, en las operaciones de Neuquén, ocupando diversas posiciones, tanto en Mantenimiento como en Operaciones. En el año 1995 fue trasladado a Tierra del Fuego, donde luego de diversas funciones terminó desempeñándose como Jefe de Operaciones.

A fines del año 2001 fue designado como Gerente de Mantenimiento e Integridad de PanAmerican Energy, con el objetivo de implementar las estrategias comunes de Mantenimiento en todas las operaciones.

Actualmente se desempeña como Gerente de Operaciones de Gas y Servicios en PanAmerican Energy en Golfo San Jorge.

CV resumido de Jorge Arca

Ingeniero Industrial orientación Mecánica – Universidad Nacional del Comahue – 1990

Posgraduado en Dirección de Empresas – Universidad Siglo XXI – 2001

Posgraduado en Project Management – Universidad de Belgrano – 2005

Trabaja en el ámbito de ingeniería de mantenimiento desde el año 1990, estando en diferentes empresas como Indupa, Bridas, Sade – Skanska y Pan American Energy.

Actualmente se desempeña como Jefe de Ingeniería de Mantenimiento en Pan American Energy, Unidad de Gestión Golfo San Jorge. Su principal responsabilidad es liderar equipos de planificación y ejecución de tareas de mantenimiento, inspección y confiabilidad en los sectores de Integridad, Corrosión, Mecánica, Electricidad y Automatización. Su base de trabajo se encuentra ubicada en el yacimiento de explotación hidrocarburífera de Cerro Dragón, provincia de Chubut.