

GESTION DE MANTENIMIENTO EN ANALISIS PREDICTIVO APLICADO A LA MEDICION DE VIBRACIONES

Renato Torre – Lucio Roncoroni – Fabián Robles
Transportadora Gas del Norte

1. SINOPSIS

Se desarrollará el modelo de Gestión de Mantenimiento aplicado en TGN, centrado en la actividad de análisis de vibraciones en Turbocompresores de Gas Natural como herramienta predictiva. La gestión de mantenimiento está basada en el Proceso de Mantenimiento vigente, que esta compuesto de distintas etapas.

Se explicará en qué consisten las distintas etapas y se profundizará en el Proceso de Análisis de Condición, que involucra a la actividad de Medición de vibraciones en Turbocompresores. Se abordarán ejemplos concretos, que involucran a mediciones realizadas con instrumentos portátiles y analizarán desde el punto de vista de la gestión. La actividad de análisis de vibraciones se encuentra planificada en el Módulo de Planificación de Mantenimiento (PM) del software administrador de la compañía⁽¹⁾, este emite las Ordenes de Trabajo de las distintas tareas con la frecuencia planificada. La ejecución y los resultados de la misma forma parte de un proceso que permite, en función al resultado obtenido, disparar acciones correctivas. El archivo electrónico de los eventos permite tener un seguimiento de cada equipo y facilitar el acceso a todo el personal involucrado.

La etapa de ejecución mostrará además la evolución desde tomas portátiles de vibraciones a monitoreo continuo, teniendo en claro las ventajas y desventajas de ambos sistemas.

2. INTRODUCCION

TGN dispone de una red de Plantas Compresoras para transportar Gas Natural que abarca el Norte y Centro de la República Argentina. Cada Planta Compresora dispone de personal propio para ejecutar tareas de operación y mantenimiento, existiendo un total de 18 Plantas en todo el país. Con el fin de planificar, estandarizar y ejecutar los mantenimientos, atento a la dispersión geográfica de las instalaciones, distintas tecnologías de equipos existentes y necesidades comunes, se desarrolló un Proceso de mantenimiento que vinculó a los distintos departamentos.

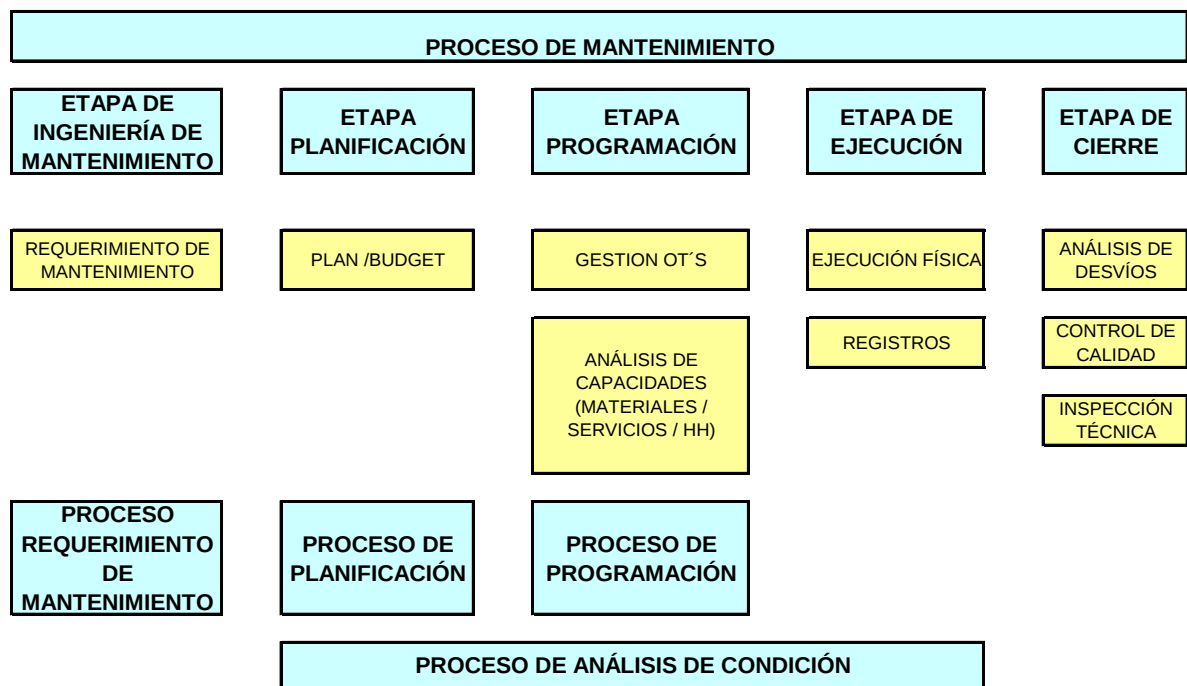
Este proceso de mantenimiento tiene como objetivo lograr el aumento de la confiabilidad y disponibilidad de los equipos con el menor costo. Las actividades propias del proceso de mantenimiento se realizan en distintas etapas, denominadas Planificación, Programación y Ejecución. Además, existe una etapa de Ingeniería de Mantenimiento y finalmente una Etapa de Cierre. Las actividades correspondientes a cada etapa son ejecutadas por distintos actores. La conexión de todas las etapas se realiza a través de un software centralizador que permite el acceso a distancia de diversos sectores de la compañía.

3. DESARROLLO

El Proceso de Mantenimiento esta compuesto a su vez por distintos subprocesos denominados:

1. Proceso de Requerimiento de Mantenimiento
2. Proceso de Planificación
3. Proceso de Programación
4. Proceso de Análisis de condición

Cada proceso tiene etapas que deben cumplirse para integrar la Gestión de Mantenimiento. En el siguiente cuadro puede visualizarse los procesos y etapas correspondientes:



El proceso de Requerimiento de Mantenimiento implica realizar un análisis respecto a la Incorporación de Nuevas Tecnologías, Análisis de Fallas Repetitivas, Estudios de Obsolescencia y los Estándares existentes. De este análisis pueden surgir modificaciones o nuevas incorporaciones de actividades a los distintos planes de Mantenimiento.

El proceso de Planificación involucra esencialmente a la realización de un Plan de Mantenimiento global para toda la compañía (Etapa de Planificación), teniendo como parámetros de diseño a los requerimientos de Ingeniería de Mantenimiento, propuestas de mejora de la parte de Programación, Ejecución, Especialistas y a otros sectores que pueden aportar otras actividades (Auditorías Técnicas, de Seguros, Medición de ruidos, Medición de emisiones Gaseosas). Existe también fuerte relación con el Sector de Administración de Materiales, que es el encargado de realizar las compras de repuestos y su catalogación correspondiente.

Este plan de Mantenimiento es cargado en el software administrador implementado en la compañía, con capacidad para ser visualizados por todos los sectores de la empresa (denominado Módulo PM).

El proceso de Programación es el encargado de recopilar las tareas planificadas y no planificadas, priorizar en función a los recursos existentes y proveer los repuestos, consumibles y logística necesaria para llevar adelante las tareas.

El Proceso de Análisis de Condición básicamente involucra a todas la actividades de carácter predictivo (análisis de aceite, análisis de vibraciones, análisis de motores de 2 tiempos, termografía, performance testing de Turbocompresores⁽²⁾).

Este proceso se ejecuta en tres etapas, las cuales están relacionadas a través de un software centralizador, tal como se mencionó anteriormente. Este software permite además realizar un control de costos asociados y seguimiento de históricos.

Dentro de las actividades de Análisis de Condición, vamos a centrarnos en el análisis de vibraciones:

La etapa de Planificación se ejecuta teniendo presente el alcance de la tarea – análisis de vibraciones en equipos rotantes – la tecnología de los equipos, las recomendaciones de los fabricantes y la experiencia propia en la actividad (historial). Esto permite generar un plan de mantenimiento por equipo, con una frecuencia determinada y con los costos asociados. Toda la

información es cargada en el módulo PM del software administrador del sistema, y éste emite Órdenes de Trabajo (OT) cada 2000 horas de rodaje de los equipos mencionados.

Estas Órdenes de trabajo son visualizadas en el sistema por el Programador, que es la persona que procede a asignar los recursos correspondientes a los planificados y define la fecha de ejecución. Esta es la Etapa de Programación.

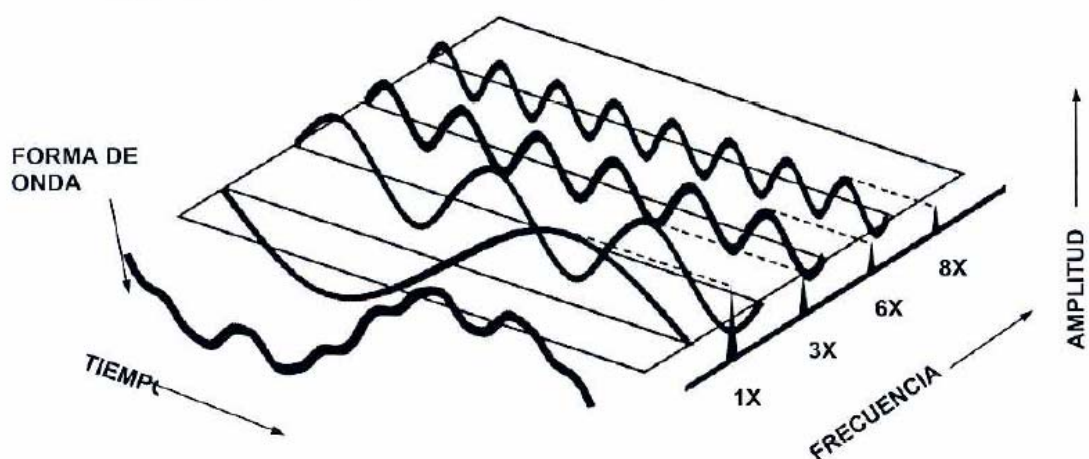
Las órdenes de trabajo tienen una fecha de ejecución prevista, que en la práctica debe cumplirse, pero la programación de actividades puede diferirlas en función a otras tareas y mediante una adecuada priorización. Cualquier postergación de la actividad deberá explicarse en la OT con su justificación correspondiente, y puede ser visualizada por cualquier persona de mantenimiento u otros sectores de la empresa.

Una vez programada la tarea, se pasa a la Etapa de Ejecución, donde un analista procede a realizar la medición de vibraciones en el equipo, analizar la información obtenida, diagnosticar y emitir un informe técnico. Este informe técnico se anexa a la OT en el sistema. Asimismo se cargan los costos debidos a la actividad y se procede a la finalización de la misma (Cierre Técnico de la OT). Esta información queda guardada en el sistema y es posible consultarla a futuro.

El análisis de vibraciones puede arrojar como resultado valores normales o de alarma. En este caso, se procede a emitir un comunicado (denominado Aviso en el sistema), alertando de esta condición subestándar. Estos avisos pueden ser visualizados por cualquier persona que pueda acceder al sistema (por definición todo el personal de la compañía).

El programador evalúa junto con los especialistas la magnitud del problema y procede a su solución inmediata o a mayor plazo. Esto en el sistema se visualiza como Ordenes de Trabajo de Emergencia (inmediatas) o Correctiva (con plazos definidos). La solución al problema permite luego el cierre técnico (CT) de estas OT.

En la etapa de ejecución se mencionó la tarea de realizar el análisis de vibraciones por un analista. Esta actividad se realiza con medidores portátiles⁽³⁾ de recolección de datos, compatibles con Windows. Son instrumentos de 2 canales que permiten entradas de acelerómetros, velomíters, proximíters y keyphasor. El instrumento recibe la señal vibratoria, aplica la Transformada Rápida de Fourier (FFT) electrónicamente, obteniéndose un espectro de frecuencia que se muestra en pantalla. La salida de datos contempla además la posibilidad de visualizar órbitas, espectro completo, posición central del eje, diagramas de bode, polar y en cascada. Ver Figura adjunta.



La persona analiza los resultados y las tendencias, estableciendo conclusiones y recomendaciones.

Otra forma de ejecutar la medición de vibraciones es contar con un sistema de monitoreo en línea. Estos sistemas permiten realizar un seguimiento en tiempo real de las vibraciones de los equipos, almacenar la información y realizar el análisis de tendencias en históricos. Asimismo, la información está disponible en red y no es necesario el desplazamiento de personal para analizar la información. Una ventaja importante de un sistema de monitoreo de este tipo, es que si ocurre un evento que implica una parada del equipo por vibraciones, no es necesario volver a arrancar el equipo para realizar un análisis de vibraciones, evitando los riesgos de agravar y/o producir una rotura catastrófica. Esto es debido a que la información queda almacenada como histórico y es posible recuperarla. Para el caso de mediciones de vibraciones con medidores portátiles es necesario el arranque del equipo. Actualmente se disponen de 2 turbocompresores provistos con sistemas de monitoreo continuo, y tres turbocompresores más en proceso de instalación que poseen esta clase de sistema.

El software que administra este sistema además permite integrar otras variables que son medidas en el equipo, como ser presión de succión y descarga del compresor, temperaturas, velocidades, etc. Módulos de software más avanzados permiten crear reglas lógicas de seguimiento, control y diagnóstico (sistema experto):

Por ejemplo es posible crear una regla que analice el comportamiento vibratorio de un cojinete y la evolución de la temperatura del mismo. Los valores se comparan contra valores límites preestablecidos, y de superarse los mismos, se produce un aviso (vía mail a una o varias personas designadas), indicando las causas del problema y las posibles acciones a tomar. Algunas posibles reglas a ser creadas son:

1. Disminución de la eficiencia del compresor axial de aire
2. Posible mal funcionamiento de un sensor
3. Precesión reversa – posible cruzamiento de cables
4. Pérdidas financieras por hora/día debido a ensuciamiento o alguna otra condición

Existe la posibilidad de que el aviso generado dispare a su vez en forma automática una OT o un Aviso de Mantenimiento en el software administrador de la Gestión de Mantenimiento.

La cantidad y calidad de las reglas establecidas permitirán disponer de una mejor protección del equipo. El establecimiento de reglas claras permite tener un sistema de control continuo que da aviso ante una eventual falla, indica causas y permite tomar acción. Este tipo de control es mucho más efectivo que realizar toma de datos puntuales en el tiempo, con frecuencias establecidas.

El analista de vibraciones tiene como responsabilidad establecer estas reglas y optimizarlas en el tiempo. Asimismo, debe analizar periódicamente la información histórica suministrada por el sistema de monitoreo, en busca de algún cambio en el comportamiento vibratorio de alguna parte de los equipos.

Las mejoras introducidas por el monitoreo on-line de vibraciones en la etapa de ejecución son como se pudo ver, importantes, junto con la automatización del sistema de alerta a través de software. Debe tenerse en cuenta, como desventaja, el costo inicial de inversión en estos sistemas. Todo proyecto de instalación de estos sistemas deberá sopesar la relación costo-beneficio del mismo.

4. EJEMPLOS DE APLICACION

Ejemplo N° 1 - Análisis de la Modificación y Optimización del Sistema de monitoreo de vibraciones del Sistema 3300/25 de Bently Nevada.

Esta actividad de análisis del sistema de monitoreo se realizó en Enero del año 1999. Durante el año 1994 se realizó una Obra (N° 93026) cuyo objetivo era adecuar los sistemas de monitoreo de vibraciones sobre Turbocompresores de Gas Ruston TB5000. Esta Obra fue realizada por un contratista externo.

Personal que realizaba análisis de vibraciones notó deficiencias en las señales de los Monitores de Vibraciones instalados en los paneles de máquinas, al comparar la lectura de datos obtenidos de recolectores portátiles contra los datos provistos por los monitores instalados. Se determinó que existía una mala ubicación del sensor en la caja Rademakers⁽⁴⁾ de la turbina, además de estar mal configurado. Esto llevó a realizar un estudio con la colaboración de personal de mantenimiento en sitio sobre este tema.

Como conclusión del mismo, se informó:

Se modificaron los Monitores 3300/25, en los cuales se implementaron los nuevos fondos de escalas (50 g pk para canal A y 25 mm/s pk para canal B).

Se Cambiaron los filtros pasa banda quedando el filtrado comprendido entre: 1 Khz. a 10,5 Khz.. (Antes el Monitor filtraba entre 2,5 Khz. a 7,00 Khz.)

Se buscó además un nuevo alojamiento para el sensor, dentro de la Caja Rademakers, por no ser adecuado el lugar anterior.

Después de ser colocado y configurado el sensor, se efectuaron mediciones en las Cajas y se contrastó con la señal proveniente del monitor instalado, logrando total coincidencia en las lecturas finales y además confiabilidad en las lecturas para la integridad de las unidades

Como recomendación se propuso:

Se deberá cambiar de lugar el sensor de aceleración, (dentro de la Caja Rademakers), y luego se colocarán los nuevos valores de Alarma y Paro en los Monitores modificados, que serán los siguientes:

Alarma Canal A : 25 g pk

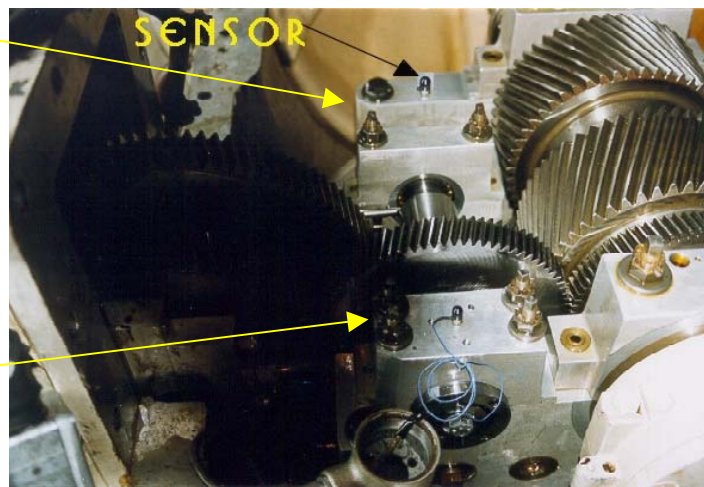
Alarma Canal B : 12 mm/s pk

Paro Canal A : 30 g pk

Paro Canal B : 15 mm/s pk.

Se adjunta imagen ilustrativa,

Ubicación actual



Ubicación anterior

Como se puede apreciar, el trabajo realizado es técnicamente positivo, se logró una adecuada protección de la maquinaria y se corrigieron deficiencias de configuración presentes desde la ejecución de la Obra. La información presente fue obtenida de un informe técnico del 19 de enero de 1999. Se escogió dicho informe dado que en esa fecha no se disponía del sistema de gestión de mantenimiento actual.

Algunas consideraciones que deben tenerse en cuenta,

1. No se pudo obtener los informes históricos que están referenciados, donde se encontraron las diferencias de señales de vibración entre las señales de recolectores portátiles y los monitores de vibración.
2. No se pudo encontrar archivos con información del seguimiento de las acciones propuestas en las recomendaciones
3. No fue posible encontrar los costos reales y recursos empleados para realizar las tareas enunciadas

4. El informe técnico está disponible en un disco público al que se accede por una red propia de la empresa. No es accesible para todos y no está vinculado a una biblioteca de información relacionada a los equipos Turbocompresores afectados.

Este ejemplo es útil para apreciar que muchas tareas de importancia desde el punto de vista técnico, que han sido realizadas no pueden aprovecharse completamente como experiencia en el presente, debido a no disponer de herramientas adecuadas de gestión.

Ejemplo N° 2 – Análisis de Vibraciones en Turbocompresor N° 1 de Planta La Paz

En este caso se vera el análisis del comportamiento vibratorio del compresor de gas natural Cooper Bessemer acoplado a la turbina Ruston TB5000 de Planta La Paz.

Se generó un aviso de mantenimiento, denominado M2 (de avería, N° 100000008454). El motivo del mismo fue una solicitud de Gas Control ⁽⁵⁾ de cambio de los internos del compresor de gas del diámetro 445 mm por otros de diámetro 412 mm (Fecha: 22/04/2002).

Con este aviso se generó un tipo de OT específica, en este caso denominada MODI (para modificaciones), N° 1035291. El programador de la zona procede a tratar la OT, una vez verificados los repuestos y disponibilidad de personal, se procede al cambio de internos.

Una vez finalizada la tarea del cambio de internos (Fecha: 01/05/2002), se procedió a poner en marcha la unidad y el Analista de Condición analizó el comportamiento vibratorio del equipo: compresor de gas natural, compresor axial de aire, turbina de potencia, cajas Rademakers y auxiliar. Los resultados fueron satisfactorios en todos los parámetros medidos. Por plan de mantenimiento, en Jun/2002 se realizó un nuevo análisis de vibraciones, encontrando altos valores de vibraciones en el Compresor de Gas Natural, cojinete lado cubierta, donde se visualizaron vibraciones del orden de 25 micrones en la componente 1X. También se observó un notable incremento en la amplitud orbital del lado cubierta.

La recomendación dada fue la de revisar en forma urgente vía desarme, el compresor de Gas Natural en la zona de cojinete lado cubierta.

El día 15/06/2002 se produce una parada del equipo por vibraciones, posteriormente se comprueba la rotura de cojinetes. Los días 4 y 5/09/2002 se efectúan tareas de mantenimiento y cambio de cojinetes (se generó una OT de carácter correctivo, N° 103796). El 12/09/2002 se realiza un nuevo análisis de vibraciones, encontrándose valores normales de vibraciones en todas las mediciones.

En este caso encontramos varios cambios con relación al ejemplo anterior. Existe trazabilidad de la información, los informes técnicos hacen referencias a las Órdenes de Trabajo y es posible establecer un camino para reconstruir la problemática relacionada a las vibraciones detectadas en los cojinetes. Sin embargo, también aquí es posible realizar algunas observaciones,

1. Los informes técnicos realizado por el personal que analiza vibraciones no están relacionados al software administrador del sistema, si bien en los mismos se mencionan las Ordenes de trabajo correspondientes.
2. Existen OT creadas en sistema, pero estas no tienen como anexos a los informes técnicos, dificultando realizar acciones de seguimiento sobre el equipo.

Este caso representa una mejora respecto al anterior, es posible encontrar información histórica respecto a las tareas, si bien es difícil conectarlas. Existe el Proceso de Análisis de Condición, aunque por las razones expuestas, no está completamente integrado al Proceso de Mantenimiento.

Ejemplo N° 3 - Análisis de Vibraciones en Turbocompresor N° 4 de Planta Beazley

El equipo montado en Planta Beazley es un Turbocompresor Solar Taurus 70 de 7690 Kw. de potencia nominal.

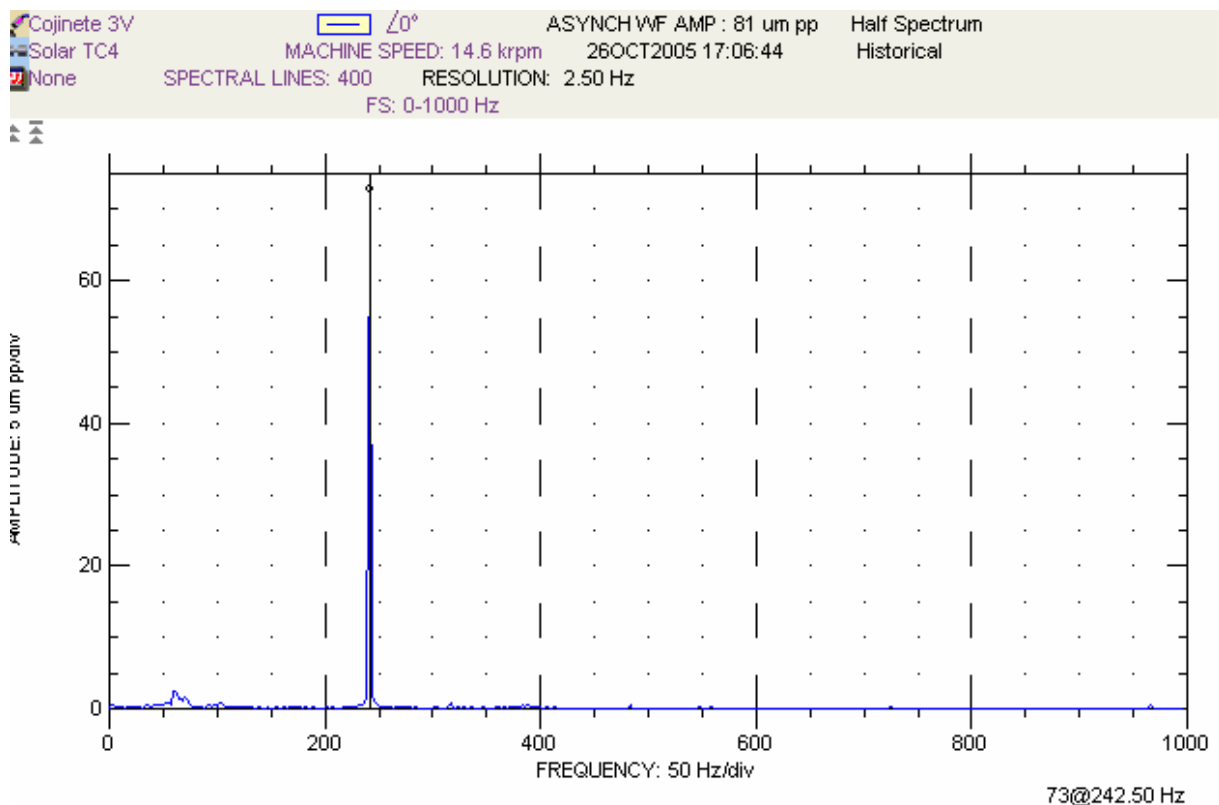
El día 25/10/2005 se produce una parada del equipo por alta vibraciones en cojinete N° 3, acompañado de alarma de alta temperatura de drenaje de aceite en cojinete N° 2 y 3. Los valores de temperatura alcanzaron los 135 °C. Se realiza un análisis del comportamiento vibratorio del equipo con carácter de urgencia y se encontraron valores de vibraciones de 70 y 80 micrones pico a pico en la componente 1X, a la velocidad de giro de 14.600 rpm. Los valores de alarma y paro del equipo son de 65 y 75 micrones respectivamente. Luego de esta medición, la unidad volvió a registrar un paro por vibraciones en cojinete N° 3, con valores de 90 micrones.

Estas actividades están registradas en el sistema a través de un aviso tipo M1 de solicitud de mantenimiento (N° 100000021963). El programador generó una OT de carácter correctiva (N° 1077229), donde se anexaron los informes de las vibraciones medidas y el análisis correspondiente. Se tomó la decisión de realizar el cambio del equipo accionante (Turbina T70) por un módulo back up disponible para estas ocasiones, y se procedió a su envío para reparación externa.

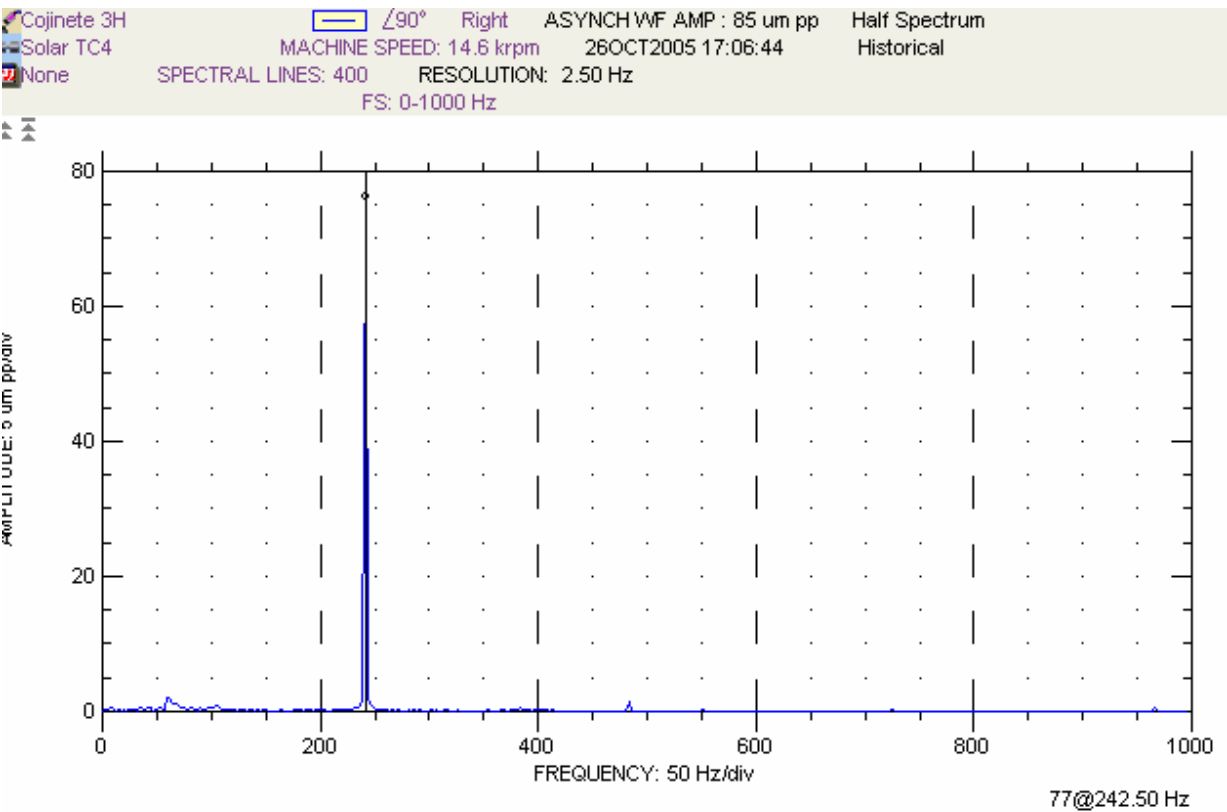
Todas las tareas y sus costos asociados fueron cargadas en la OT N° 1077229.

En la figura siguiente se puede apreciar los valores de vibraciones obtenidas,

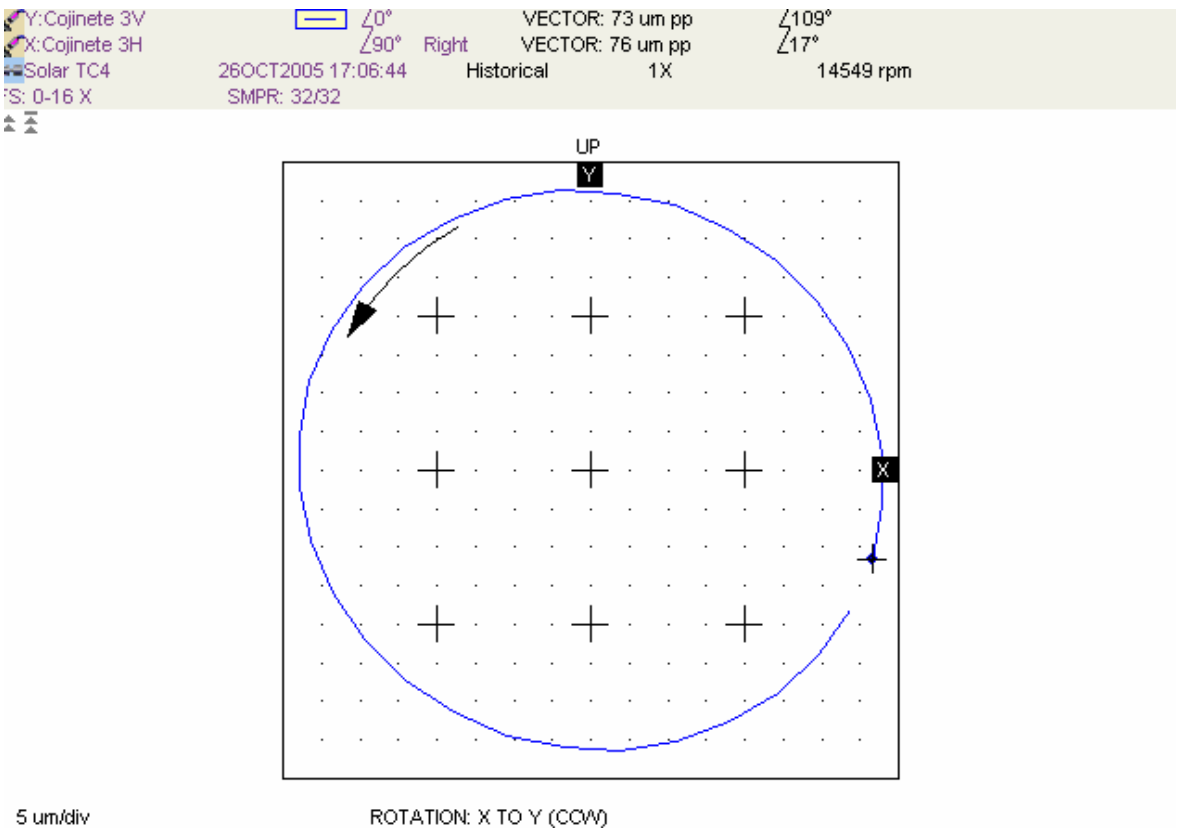
TC#4 – Planta Beazley – Cojinete #3 Vertical



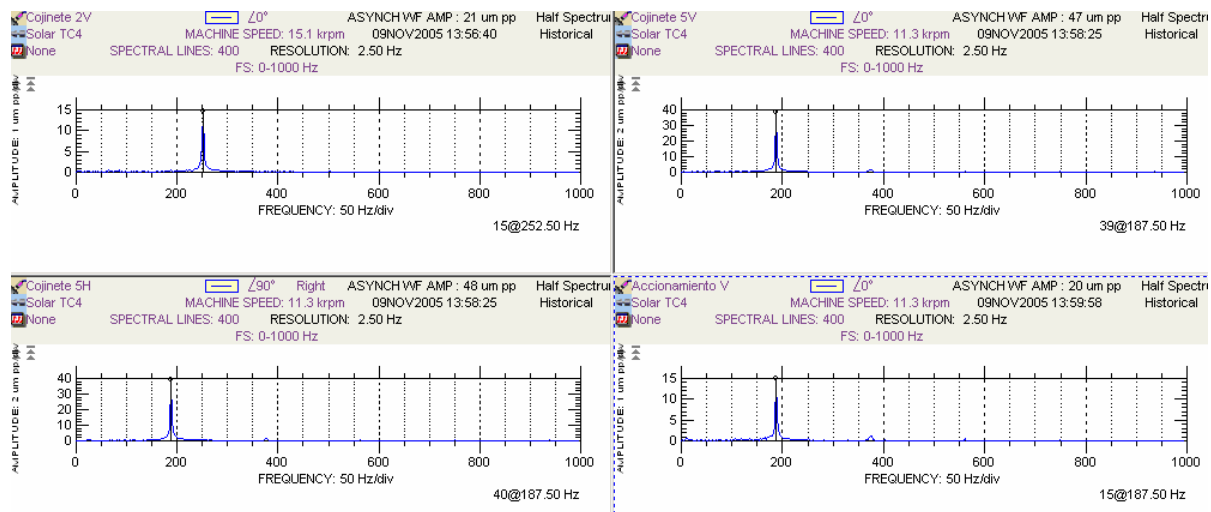
TC#4 – Planta Beazley – Cojinete #3 Horizontal



TC#4 – Planta Beazley – Cojinete #3 Orbita



Por plan de mantenimiento, se generó un OT (N° 1076708) para medir vibraciones en la unidad N° 4. Estas OT se generan con una frecuencia de 2000 hs de rodaje del equipo, y permitió en este caso analizar el comportamiento del módulo back up instalado. Las mediciones se realizaron en fecha 10/11/2005. Los resultados del análisis vibratorio fueron la detección de un desbalanceo en cojinete N° 5, generando un aviso correspondiente (N° 100000022177). El programador generó a su vez una OT de carácter correctivo (N° 1077949) para proceder a realizar el balanceo correspondiente. Ver figura correspondiente.



El análisis de este último caso muestra algunas particularidades,

1. Existe relación entre los informes técnicos realizados por el personal que mide vibraciones y los trabajos realizados por personal de ejecución de mantenimiento, a través del software administrador del sistema.
2. Es posible realizar un seguimiento de las tareas dado que todas están referenciadas entre sí.
3. Hay integración en las etapas intervinientes, en este caso, del proceso de mantenimiento.

5. CONCLUSIONES

Un proceso de Mantenimiento bien definido y ejecutado permite aprovechar los aprendizajes de experiencias anteriores desde el punto de vista técnico, por disponer de la información histórica correctamente almacenada. Además, es posible realizar seguimientos de acciones correctivas propuestas por ocurrencia de eventos no deseados.

La administración de un software centralizador permite realizar el seguimiento de control de costos por actividad, equipos o como se desee. Las relaciones de los distintos departamentos y sus acciones tienen un marco, que es el Proceso de Mantenimiento en sí mismo, y permite su integración.

Los puntos mencionados conllevan a mejorar el mantenimiento de los equipos, con el objeto de aumentar su confiabilidad y disponibilidad, además de disponer de un adecuado sistema de control de costos.

La utilización de sistemas de monitoreo on-line permite un mejor control sobre los equipos y mejora la integración de los análisis predictivos al proceso de Mantenimiento. La implementación de los mismos deberá realizarse siempre teniendo en cuenta la relación costo-beneficio, teniendo presente los altos costos de instalación.

Se recomienda definir e implementar un Proceso de Mantenimiento que defina pautas claras para todos los departamentos involucrados, y cuyas acciones puedan reflejarse en algún sistema electrónico de información centralizada. Este sistema de información debe ser accesible a todos los actores involucrados. La integración de los departamentos de Planificación, Programación, Ejecución y Análisis de Condición, o sus equivalentes es fundamental para resolver imprevistos y para llevar adelante las tareas planificadas.

6. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA

- 1-. SAP versión R/3
- 2-. Ensayo de campo consistente en realizar el diagnóstico del turbocompresor por medio del análisis del rendimiento mecánico y termodinámico del mismo. Basado en Normas ASME, "Performance Test Code on Gas Turbines PTC 22" (1997)
- 3-. Snapshot for Windows CE, de Bently Nevada
- 4-. Caja multiplicadora que eleva 1.45 veces la velocidad de giro del eje que acciona el Compresor de Gas Natural, a partir de la velocidad de giro del eje de la turbina de potencia.
- 5-. Departamento encargado de coordinar el transporte y despacho de gas natural a los distintos clientes.