

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



**MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE PLANTAS
PROCESADORAS DE HARINA DE PESCADO
UTILIZANDO MONITOREO REMOTO**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECATRÓNICO**

SERGIO ALEXANDER ALVA ORTIZ

PROMOCIÓN 2010- II

LIMA-PERÚ

2014

DEDICATORIA

A mis padres, porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ustedes.

ÍNDICE

	PÁG.
PRÓLOGO	1
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	
1.1 ANTECEDENTES.....	3
1.2 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.4 ALCANCE.....	5
1.5 JUSTIFICACIÓN.....	5
1.6 RECURSOS EMPLEADOS.....	5
CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE PLANTAS PROCESADORAS DE HARINA DE PESCADO	
2.1 SITUACIÓN ACTUAL EN PESQUERA DIAMANTE.....	10
CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	
3.1 COSTO DEL MANTENIMIENTO CORRECTIVO.....	13
3.2 COSTO DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	14
3.3 EQUIPOS CRÍTICOS SEGÚN DISPONIBILIDAD DE PLANTA.....	16
CAPÍTULO 4: PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN	
4.1 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO.....	21
4.1.1 Mantenimiento Predictivo basado en el análisis de vibración.....	22
4.2 SELECCIÓN DE SENSOR Y ALARMAS.....	25
4.3 MONITOREO REMOTO.....	29
CAPÍTULO 5: JUSTIFICACIÓN ECONOMICA	
5.1 COSTOS DE INSTALACIÓN.....	35
5.2 BENEFICIOS DE NUEVO SISTEMA.....	38
5.3 RETORNO DE LA INVERSIÓN.....	39
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
BIBLIOGRAFÍA	
APENDICE	

PRÓLOGO

Desde la estatización de la industria pesquera en 1975 y hasta fines del 2007 era usual que el Ministerio de Producción conceda cada año una cantidad límite para la pesca de anchoveta a las empresas pesqueras. Por aquel entonces la cuota era cubierta en menos de dos meses debido a que la capacidad extractiva y productiva de las pesqueras cuadruplicaba las toneladas que se les concedía. En otras palabras había exceso de maquinaria, el negocio era rentable aunque ineficiente. A este periodo se le conoce en el sector como “carrera olímpica”.

Por ello, a partir del 2008, imitando el modelo chileno, entró en vigencia la llamada “Ley de Cuotas” (Decreto Legislativo N° 1084), en la cual se establecen cantidades específicas (porcentuales) de captura para cada pesquera. Gracias a esta medida las empresas del sector pueden comenzar a planificar sin tanta prisa el uso de sus recursos a través de un eficiente programa de mantenimiento e incrementar su competitividad a nivel mundial.

En este informe detallo una posible solución de reducción de costos en el departamento de mantenimiento de Pesquera Diamante, la cual puede ser utilizada de manera sostenible en el tiempo y ser capaz de incrementar la disponibilidad operativa de la planta. Para lograr esto se utilizará principios de mantenimiento, instrumentos de medición y tecnología de información para conseguir una correcta toma de decisiones.

Como consecuencia, además de evitar paradas imprevistas se logrará disminuir el stock de maquinaria de reemplazo, y con ello finalmente apoyar la estrategia financiera de la empresa.

En este informe se presenta el desarrollo del proyecto dividido en cinco capítulos cuyos contenidos son:

En el **Capítulo 1** se precisa los antecedentes, objetivos, alcance, justificación y los recursos empleados para lograr tener un programa de mantenimiento predictivo en plantas procesadoras de harina de pescado utilizando monitoreo remoto.

En el **Capítulo 2** se presenta las características de la industria de harina de pescado, así como las condiciones coyunturales de Pesquera Diamante.

En el **Capítulo 3** se detallan los problemas por los que atraviesa el sector pesquero desde el 2008, y específicamente como afecta a Pesquera Diamante. Además se explica la manera en que los costos de mantenimiento se incrementan cada año.

En el **Capítulo 4** se presenta la estrategia de mantenimiento y la selección de componentes que permitió hacer un programa de mantenimiento predictivo utilizando monitoreo remoto en Pesquera Diamante, siendo aplicable a cualquier empresa del mismo rubro.

En el **Capítulo 5** se presenta el análisis económico del proyecto que permitió justificar la inversión.

Finalmente, se presentan las conclusiones y los anexos correspondientes a cada tema.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

En el Perú se concede anualmente dos temporadas para la extracción de anchoveta, cada temporada establece una cantidad límite de pesca expresada en miles de toneladas, asimismo a cada empresa pesquera se le asigna un porcentaje de esta cantidad de toneladas, a esto se le conoce como "Ley de Cuotas". Es habitual que la primera temporada de pesca sea en el centro - norte del país, y la segunda sea en el sur.

Esta característica del sector hace que junto a la flota pesquera, se desplace en tierra personal técnico calificado y maquinaria por varios cientos de kilómetros, pues sólo se opera en las plantas cercanas a las zonas de captura de pesca. En estas plantas hay equipos críticos cuya avería pueden ocasionar una parada de planta, por ello es habitual que se lleve equipos de reemplazo para que sean almacenados en el lugar. Esta estrategia funciona, sin embargo la falla de un equipo de estas características, ocasiona muchas horas de para de planta y generando alto costo al departamento de mantenimiento.

Por ello, luego de conocer estas cifras de pérdidas y haber hecho un estudio de retorno de inversión, se llega a la conclusión que es necesario cambiar la estrategia de mantenimiento, determinando el uso de tecnología de medición y comunicación.

1.1 ANTECEDENTES

Pesquera Diamante es actualmente propietaria de 9 plantas procesadoras de harina de pescado y 42 embarcaciones pesqueras distribuidas en todo el litoral

peruano, además cuenta con cientos de equipos industriales y miles de repuestos distribuidos en diferentes almacenes, todos ellos necesitan mantenimiento y/o reposición.

Pesquera Diamante realiza básicamente mantenimiento de forma correctiva y preventiva utilizando además la gran cantidad de equipos de reemplazo con los que se contaba luego de la ley de cuotas ocasionaban cuantiosos gastos de mantenimiento, traslado y almacenamiento. Por último no existían reportes ni estadísticas automatizadas del estado operacional de los equipos. Finalmente, no era posible planificar los servicios para incrementar la vida útil de la maquinaria.

Con el objetivo de incrementar la disponibilidad de planta y disminuir el stock de equipos de reemplazo se desarrolla un sistema de mantenimiento predictivo utilizando monitoreo remoto.

De lo anterior la problemática queda identificada con la siguiente pregunta:

¿Es factible hacer mantenimiento predictivo utilizando monitoreo remoto en plantas procesadoras de harina de pescado?

La hipótesis del informe fue que sí es posible realizar dicha implementación.

1.2 OBJETIVO GENERAL

- Realizar mantenimiento predictivo en plantas procesadoras de harina de pescado utilizando monitoreo remoto.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Incrementar disponibilidad de planta.
- Reducir stock de equipos de reemplazo.
- Eliminar operaciones de mantenimiento innecesarias
- Reducir averías catastróficas.

1.4 ALCANCE

El presente informe desarrolla el análisis situacional en la que se encuentra la empresa Pesquera Diamante, así como el planteamiento de la solución, análisis de la estrategia de mantenimiento y la selección e implementación de componentes. Además se detallan los cálculos que hacen viable la inversión, y se explican los beneficios de la misma.

El alcance de este proyecto está delimitado por la implementación de mantenimiento predictivo a equipos críticos utilizando monitoreo remoto bajo las condiciones del sector pesquero. Finalmente se detallan recomendaciones que podrían ser replicadas en alguna otra industria de producción de similares características.

Queda fuera del alcance en el presente informe la explicación del uso del software de mantenimiento predictivo SKF Aptitude así como detalles del montaje e instalación de los equipos de medición utilizados.

1.5 JUSTIFICACIÓN

El proyecto es justificable puesto que:

- Se demostró retorno de la inversión en el tiempo
- Es parte de la estrategia financiera de la empresa
- Es un requisito de los inversionistas externos

1.6 RECURSOS EMPLEADOS

Para realizar el proyecto se emplearon los siguientes recursos:

- Personal propio de Pesquera Diamante
- Personal para levantamiento de información técnica y financiera de JRZ Peritos y personal para instalación y montaje de Smart Factory y SKF del Perú.
- Contratación temporal de especialista en análisis vibracional.

CAPITULO 2

DESCRIPCION DE LAS PLANTAS PROCESADORAS DE HARINA DE PESCADO

La producción de harina de pescado es un proceso continuo que involucra la separación de tres componentes del pescado: sólidos, aceite y líquidos. Esto se logra mediante el cocido, prensado, secado y molido del pescado capturado. La anchoveta capturada se descarga desde el mar hacia el terminal a través de tuberías impulsadas por bombas y es almacenada en tanques de concreto. El agua que se ha usado como medio de transporte es tratada mediante un sistema de celdas de flotación que recupera los sólidos y grasas para añadirlos al sistema productivo. El pescado es luego transportado por medio de bandas hacia los cocinadores donde se somete a temperaturas que van desde los 80 hasta los 100 grados centígrados, para luego ser enviado a las prensas para eliminar el líquido del pescado cocido.

El resultado es una pasta que pasa por una centrífuga horizontal que la seca por acción de aire caliente, finalmente esta pasa por un molino donde es pulverizado y convertida en harina de pescado. La harina es embolsada en sacos de polipropileno y es despachada. Se aprecia en la Fig 2.1 el proceso de producción de harina de pescado para una planta típica en el Perú.

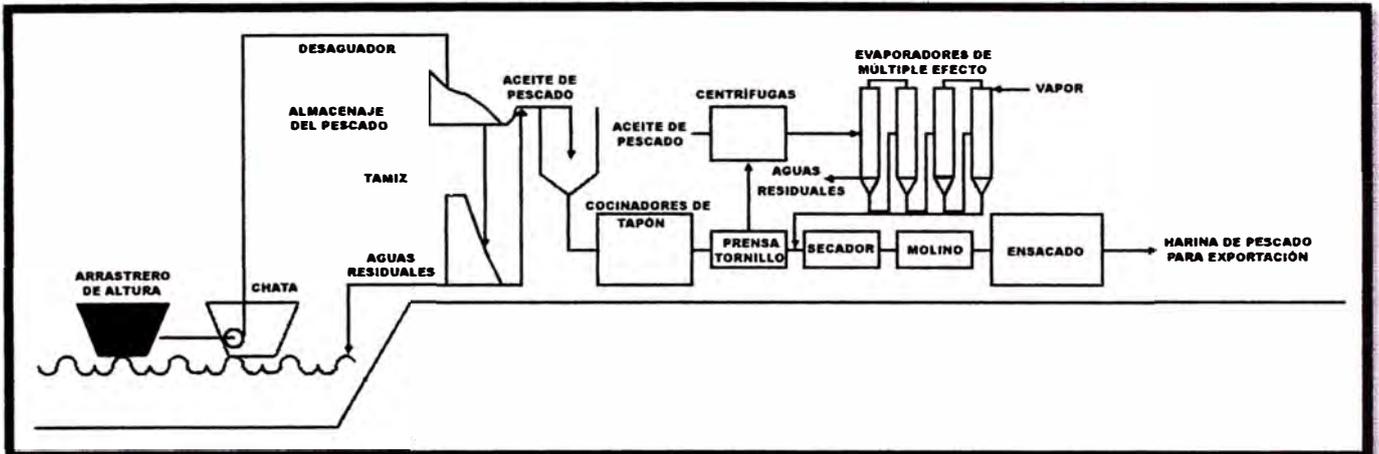


Fig. 2.1 Diagrama Simplificado del Proceso de Producción de Harina de Pescado

Es válido resaltar que las plantas de este tipo de industria están todas ubicadas frente al mar, esto se aprecia en la Fig. 2.2, este hecho hace que la maquinaria esté expuesta a una de las más duras condiciones de trabajo, es decir: altas temperaturas, alta humedad, brisa marina, polvareda y arena arrastrada por el viento.



Fig. 2.2 Vista de una planta típica de Producción de Harina de Pescado ubicada frente al mar

Hasta el año 2008 las empresas pesqueras concentraban sus esfuerzos en adquirir más embarcaciones, aumentar sus bodegas y construir más plantas

procesadoras de harina y aceite de pescado, por aquellos años el Ministerio de Producción concedía 4 o 5 temporadas de pesca de 1 o 1.5 millones de toneladas de captura de anchoveta cada vez, esto hacía que las plantas operasen a toda marcha y era común que funcionen en promedio 40 días al año, a este periodo se le conoce en el sector como la “carrera olímpica”.

Lo poco eficiente que resultaba esta forma de operar motivó la creación de la llamada ley de cuotas, en la que se establecen porcentajes definidos para cada empresa según las capacidades de captura históricas de cada embarcación. Cada empresa empezó desde entonces a tener asegurada una cuota de captura e hizo que se modifiquen sus estrategias hacia ser cada vez más eficientes. Se aprecia en la Fig. 2.3 el incremento de los días de Pesca de Anchoveta luego que se puso en acción esta ley.



Fig. 2.3 Dramático incremento de los días de pesca de anchoveta luego de la Ley de Cuotas (2008)

Con la ley vigente se autoriza cada año sólo dos temporadas de captura de anchoveta, una en el centro-norte y la otra en el sur del país, por este motivo a la fecha han logrado mantenerse en pie sólo grandes empresas, aquellas que poseen

plantas procesadoras en ambas zonas del país, listadas en orden descendente de cantidad de plantas son:

- Tecnológica de Alimentos
- Corporación Pesquera Inca
- Pesquera Diamante
- CFG Investment
- Pesquera Exalmar
- Pesquera Hayduk
- Pesquera Austral

Estas 07 empresas concentran cerca del 85% del total la captura permitida y continúan comprando empresas pesqueras pequeñas (incluyendo sus embarcaciones), esto con el objetivo de incrementar su cuota. Una vez finalizada la compra usualmente se da de baja las embarcaciones pequeñas y sólo salen a pescar las embarcaciones grandes por ser más eficientes. Se aprecia en la Fig. 2.4 como se redujo en corto tiempo la cantidad de embarcaciones pesqueras activas.



Fig. 2.4 Reducción de la cantidad de embarcaciones pesqueras luego de la Ley de Cuotas (2008)

Además de lo anteriormente mencionado hubo muchos beneficios luego de la Ley de Cuotas (2008), al tener más días de captura de pesca era posible operar de forma ordenada y metódica, se mejoró la calidad de la producción, se obtuvo harina de pescado con mayor valor agregado. En el aspecto humano, al poder operar de forma planificada, se redujo la cantidad de accidentes. En el aspecto legal, las empresas dejaron de pescar en áreas restringidas para poder solventarse. Estos detalles se aprecian en la Fig. 2.5 con mejor detalle.

Tabla 2.1 Beneficios luego de la implementación de la Ley de Cuotas (2008)

Zona de Pesca Norte-Centro	Esfuerzo de Pesca		Producción de Harina de Pescado				Número de Accidentes y de Sanciones			
	Número de días de pesca	Número de embarcaciones pesqueras	Super Prime	Prime	FAQ	Ratio Pescado / Harina Producida	Accidentes	Pesca en áreas restringidas	Peces juveniles en descargas	Descargas mayores que las licencias
Primera temporada 2008	33	836	6%	46%	48%	4,4	7	2085	255	249
Primera temporada 2009	102	280	13%	46%	41%	4,1	5	313	199	112
Variación Porcentual	209%	-67%	7%	0%	-7%	-7%	-29%	-85%	-22%	-55%

Fuente: Ministerio de la Producción (2009)

Actualmente el principal competidor del Perú en producción de harina de pescado a nivel mundial es Chile. En aquel país se vivió este mismo cambio, ley de cuotas, en la década de los ochenta. Luego de varios años las pesqueras chilenas lograron adaptarse a esta forma de trabajo resultando ser más eficientes que las pesqueras peruanas.

2.1 SITUACIÓN ACTUAL EN PESQUERA DIAMANTE

Fundada hace 26 años, cuenta actualmente con 9 plantas procesadoras de harina de pescado ubicadas estratégicamente espaciadas con la finalidad de cubrir la mayor extensión territorial en el litoral peruano. En la Fig. 2.6 se observa la ubicación geográfica de las plantas procesadoras de harina de pescado de Pesquera Diamante en el litoral.



Fig. 2.5 Ubicación Geográfica de las plantas de producción de harina de pescado de Pesquera Diamante

Cuando el Ministerio de Producción autoriza la captura de anchoveta en zona centro – norte, entonces sólo se produce en plantas:

- Bayovar
- Malabrigo
- Samanco
- Supe
- Callao

Por otro lado cuando se autoriza captura en zona sur, entonces se produce en plantas:

- Pisco Norte
- Pisco Sur
- Mollendo
- Ilo

Normalmente se desplazan los equipos críticos, es decir aquellos cuya avería son capaces de parar toda la planta.

CAPITULO 3

DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Aunque la ley de cuotas mejoró notablemente el desempeño de la operación del sector, pues ya no se tenía que competir unos contra otros por la captura de anchoveta, es decir no se tenía que producir a tan elevado ritmo, sobrecargando las capacidades de la maquinaria y como consecuencia generando sobrecostos a la operación; bajo el nuevo esquema se puede planificar las reparaciones y anticiparse a los cambios, es decir enfocarse en ser más eficientes en lo que se hace, ser más competitivos.

Pesquera Diamante y las demás grandes empresas pesqueras mantuvieron la misma maquinaria luego de la Ley de cuotas, esto originó que en temporadas de pesca se desplace los equipos críticos de la mitad de las plantas a la otra mitad (según la zona), de esta forma se cubrían las necesidades de alguna avería, evitando paradas de planta gracias al abundante stock que se poseía.

Esto fue útil durante los primeros años pues se le daba uso a aquel abundante stock de equipos, de esa fecha a la actualidad estos se han deteriorado y ya no es prudente que la empresa mantenga con esta forma ineficiente de dar continuidad a la producción. Es decir no se puede competir en este sector si se mantiene la misma política de prácticamente tener el doble de activos físicos.

La empresa ya no tiene la misma cantidad de equipos operativos que hace unos años, surge la necesidad de rediseñar la estrategia de mantenimiento corporativa para maximizar la disponibilidad de equipos sin incrementar el riesgo de una parada de planta.

Además de lo anterior, la particularidad existente en el sector pesquero de mover cientos de equipos de una planta a otra, prácticamente siguiendo la trayectoria de los bancos de peces, y al no tener una adecuada administración de los equipos transportados, origina que muchas veces se haga mantenimiento innecesario o no se haga mantenimiento; todo ello genera cuantiosas pérdidas económicas a la compañía.

Se presenta el análisis de las pérdidas anuales que genera este descontrol así como los elevados costos de mantenimiento.

3.1 COSTO DEL MANTENIMIENTO CORRECTIVO

La principal causa de que este tipo de mantenimiento tenga un costo tan elevado es porque al tener un alto porcentaje de los equipos de la compañía en movimiento (aproximadamente el 25%), y al no contar con una base de datos centralizada y además porque estos no están correctamente identificados, con un código único, legible y de fácil comprensión para toda la compañía. Esto ocasiona que no se haga el mantenimiento a tiempo. En la Tabla 3.1 se muestra el detalle de estos gastos:

Tabla. 3.1 Costo anual de Mantenimiento Correctivo en Pesquera Diamante de los 03 últimos años

PLANTAS DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE PESCADO	Costo Anual de Mantenimiento Correctivo (expresado en miles de dólares)		
	2010	2011	2012
BAYOVAR	55	103	94
SALAVERRY	0	15	22
SAMANCO	221	220	235
SUPE	115	128	132
CHANCAY	32	35	35
CALLAO	278	294	312
PISCO	205	186	197
MOLLENDO	104	113	109
ILO	140	109	126
Total	1150	1203	1262
Porcentaje de costo total de la compañía	3.5%	3.9%	4.0%

3.2 COSTO DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

En este caso la principal causa de que este tipo de mantenimiento tenga un costo tan elevado es porque se aplica mantenimiento preventivo a los equipos críticos antes de una temporada de producción, si bien es cierto esto evita gastos mayores como una parada de planta no planificada, se hace muchas veces mantenimiento preventivo a equipo que aún no lo requiere, se hace de esta forma por desconocimiento, es decir por el hecho que no hay una base de datos desde donde coger la información. En la Tabla 3.1 se muestra el detalle de estos gastos:

Tabla. 3.2 Costo anual de Mantenimiento Correctivo en Pesquera Diamante de los 03 últimos años

PLANTAS DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE PESCADO	Costo Anual de Mantenimiento Preventivo (expresado en miles de dólares)		
	2010	2011	2012
BAYOVAR	34	30	36
SALAVERRY	0	15	12
SAMANCO	113	129	131
SUPE	74	80	78
CHANCAY	15	12	14
CALLAO	134	154	148
PISCO	116	118	119
MOLLENDO	65	70	85
ILO	85	82	82
Total	636	690	705
Porcentaje de costo total de la compañía	1.6%	1.6%	1.7%

En resumen podemos decir que ambos tipos de mantenimiento son realizados ineficientemente, se hace mantenimiento correctivo por desconocimiento del estado operativo y condición de uso de cada equipo, y se tiene que hacer mantenimiento preventivo innecesariamente para todos aquellos equipos que son considerados críticos para la producción.

Pesquera Diamante es una empresa que pese a todo resulta rentable, aunque sus excelentes ventas a nivel mundial ocultan que hay aún más ganancia por recuperar transformando el costo en ganancia, es decir recuperar todo aquello que se podría dejar de gastar.

Es en esta situación coyuntural económica y junto a un nuevo Gerente de Mantenimiento Corporativo que surge la necesidad de realizar un proyecto que ayude a ejecutar eficientemente el mantenimiento.

No se encuentra evidencia de falta de pericia por parte del personal técnico puesto que los tiempos que invierten en las reparaciones están acordes con el mercado, además reciben capacitación constante y son muy bien incentivados por la reducción de costos, creando competitividad entre plantas productoras, por lo cual el proyecto a desarrollar no se enfocará en el aspecto humano.

La empresa requiere un cambio para continuar siendo competitiva y atractiva para los inversionistas, en tal sentido este proyecto añade especial interés por aquellos equipos considerados críticos para este tipo de industria pues es ahí donde lo invertido sería recuperado en corto periodo de tiempo.

3.3 EQUIPOS CRÍTICOS SEGÚN DISPONIBILIDAD DE PLANTA

Luego de haber detallado los problemas por los que atraviesa Pesquera Diamante y determinar la necesidad de cambiar la estrategia de mantenimiento y comenzar a efectuar mantenimiento predictivo, es necesario comenzar por los equipos de mayor criticidad, pues aquí se tendría rápido retorno de la inversión.

Existen varios enfoques de la criticidad pudiendo ser: al coste de las pérdidas de producción en una parada de ese equipo, al coste de reparación, al impacto ambiental, a la seguridad y a la calidad del producto o servicio, entre otras. La regla general indica que se debe combinar varios de los aspectos de criticidad. Aun así en el sector pesquero, el aspecto que tiene mayor importancia es incrementar la disponibilidad de planta,

Apuntamos entonces a reducir notablemente los costos de mantenimiento y que a su vez este departamento comience a realizar mantenimiento predictivo.

Revisando los registros históricos de falla en plantas procesadoras de Harina de Pescado, seleccionamos las Centrífugas y Separadoras Industriales por las siguientes razones:

- Alto costo de reemplazo.
- Están ubicados en la zona más estratégica del proceso y servir de nexo entre la producción de harina y aceite de pescado como se puede apreciar en la Fig. 3.1.
- Están en contacto en el producto de mayor costo por Kg producido para la empresa, con Aceite de Pescado.
- Finalmente, luego de entrevistar a los operarios y maquinistas de las plantas y los ingenieros con más años de servicio, coinciden en que gran cantidad de paradas de planta son causadas por la avería estos equipos.

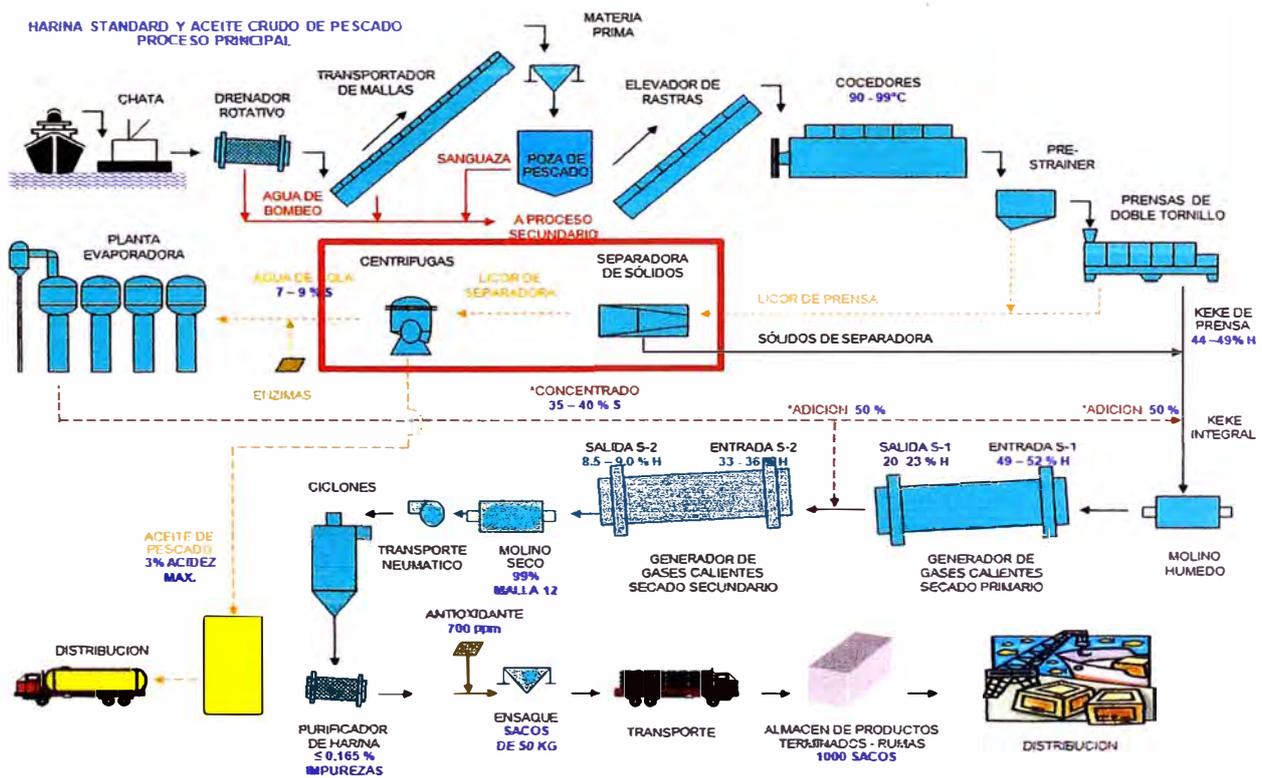


Fig. 3.1 Distribución de la maquinaria utilizada en la etapa principal del proceso productivo de Harina y Aceite de Pescado

Además vemos conveniente seleccionar los equipos críticos de la segunda etapa en el procesamiento de la harina de pescado, esta etapa es conocida como

proceso los principales equipos por su valor económico, utilización y criticidad son los compresores industriales, son la pieza principal de cualquier sistema de refrigeración, esto lo podemos observar en la Fig. 3.3.

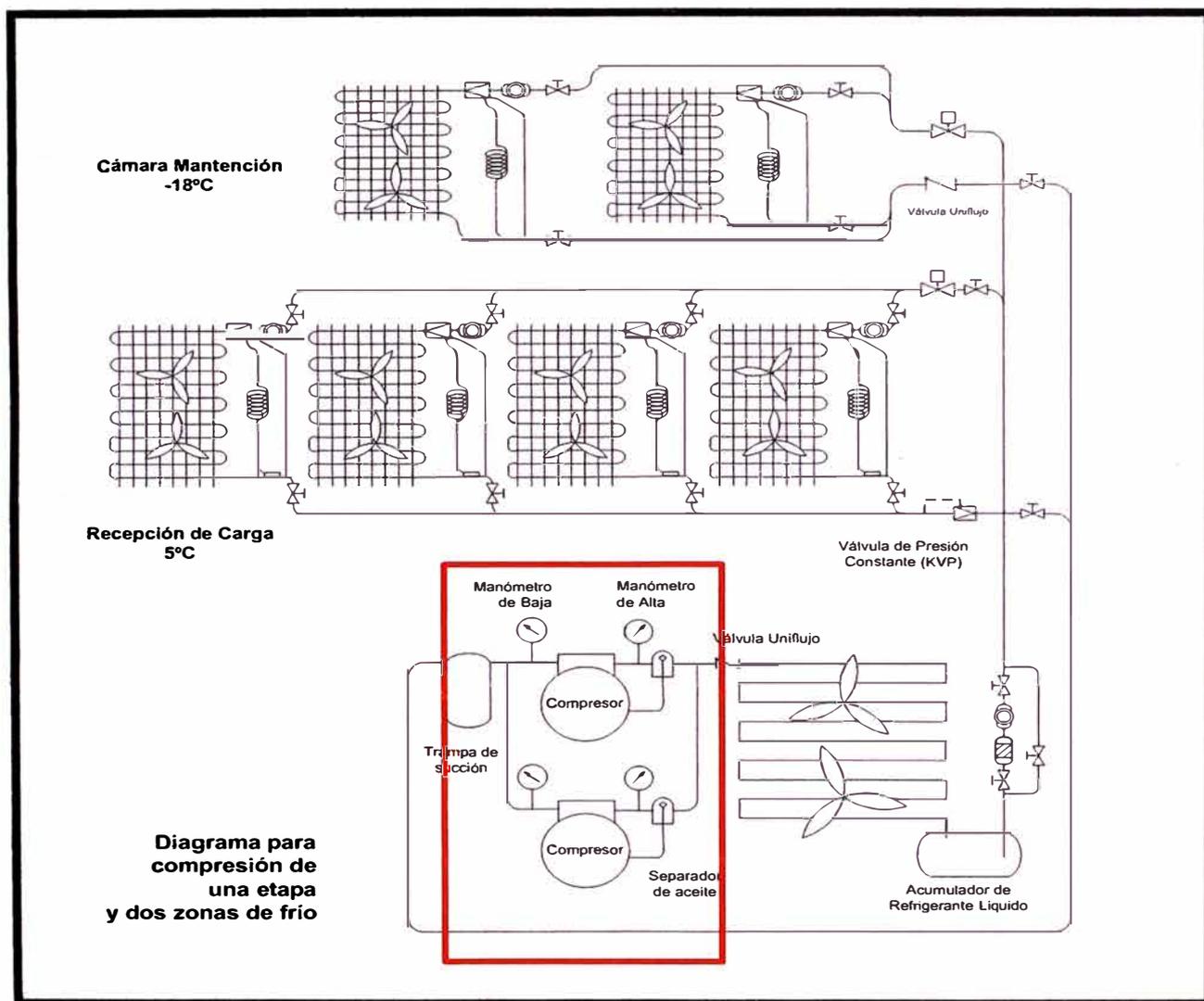


Fig. 3.3 Distribución de la maquinaria en la planta de almacenamiento de pescado congelado

Finalmente nuestra selección de equipos cuya criticidad es disponibilidad de planta se reduce a: centrifugas y separadoras industriales, tricanters y compresoras industriales

CAPITULO 4

PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCION

En la descripción de nuestro problema se llegó a la conclusión que no es posible continuar aplicando la misma estrategia de mantenimiento, la empresa requiere un cambio para continuar siendo competitiva en el sector y atractiva para los inversionistas. En otras palabras el departamento de mantenimiento de Pesquera Diamante debe dar el salto generacional tal como se aprecia en la Fig. 4.1.



Fig. 4.1 Evolución del Mantenimiento

Esto implica empezar a realizar mantenimiento predictivo, utilizando tecnología con la que se cuenta actualmente en el mercado local.

4.1 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

Para iniciar este cambio se propone implementar un programa de mantenimiento predictivo para los equipos críticos con el propósito de lograr una disminución en los elevados costes de mantenimiento, reducción de fallas inesperadas y como consecuencia incrementar la disponibilidad de planta. Se pretende incrementar la disponibilidad de planta sin llegar a descuidar los costos, esto sólo es posible si maximizamos la vida útil de la maquinaria, haciendo mantenimiento sólo cuando es necesario. Además se busca reducir los costos generados por hacer mantenimiento del tipo correctivo y preventivo, la Fig. 4.2 nos ayuda a dar cuenta de ello.

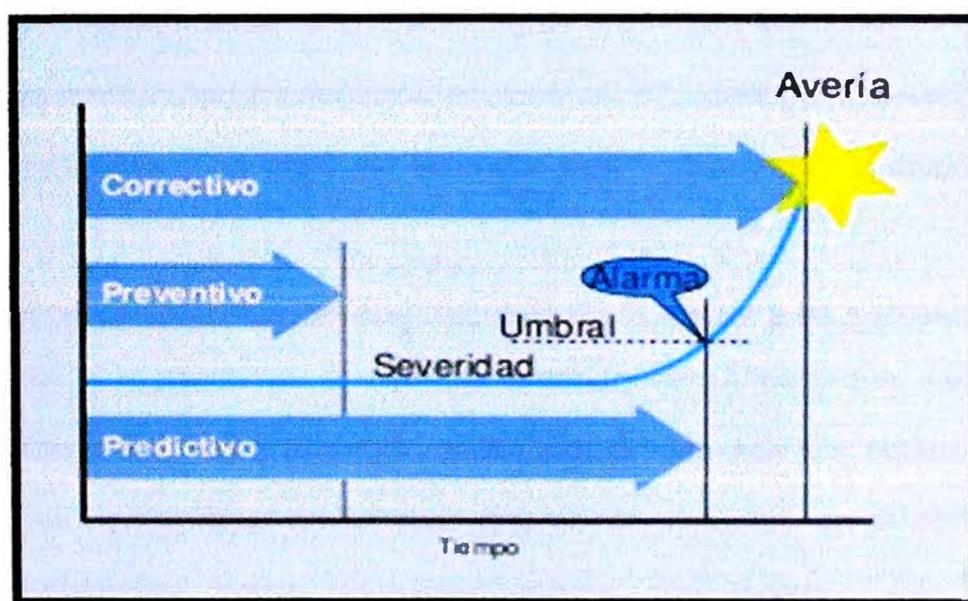


Fig. 4.2 Uso de umbrales y alarmas aplicando Mantenimiento Predictivo

Este tipo de mantenimiento generalmente se efectúa de forma periódica, sin embargo dado que en este tipo de industria la producción únicamente se realiza durante limitados espacios de tiempo, es imperativo enfocar todos los recursos necesarios para evitar paradas de plantas sin que esto conlleve a elevar los costos,

dicho esto último añadimos a nuestro planteamiento de solución el uso del monitoreo remoto.

Es importante señalar que el mantenimiento predictivo por sí solo no es la respuesta absoluta hacia un cambio sustancial en una estrategia macro de la gestión de activos de una empresa. Este hace parte de un enfoque más amplio y es complemento de la Excelencia Operacional (óptima operación y cuidado básico de los activos) con la que se debe contar para alcanzar logros relevantes y de esta forma, llegar a aplicar el Mantenimiento Proactivo, cuya finalidad es incrementar la vida productiva de los equipos de una industria.

Desde esta perspectiva, este proyecto propone la creación de un modelo para la implementación exitosa del mantenimiento predictivo, que permita reducir el número de fallas prematuras en nuestros equipos críticos identificados como típicos en la industria pesquera y se logre así extender significativamente la disponibilidad de planta.

4.1.1 Mantenimiento predictivo basado en el análisis de vibración

De lo revisado en el capítulo anterior, concluimos que centrífugas, separadoras, tricanters y compresoras industriales son los equipos donde hay mayor oportunidad de obtener retorno de inversión en el corto plazo. Coincidentemente estas máquinas operan con motores eléctricos de considerable potencia y altos rpm, esto da sentido a que se aplique la misma técnica predictiva, nos inclinamos por el análisis vibraciones por ser la técnica más conocida y la que da el primer estado de alarma tal como se aprecia en la Fig. 4.3.

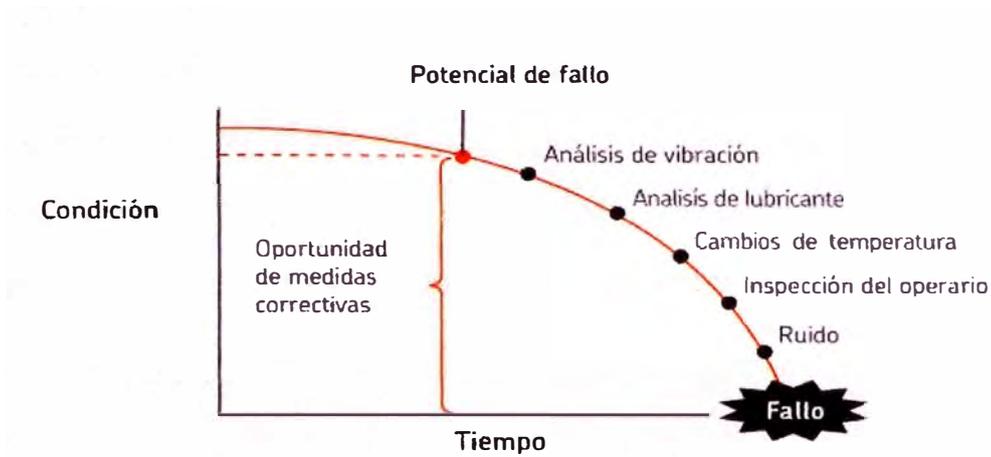


Fig. 4.3 Alternativas de mantenimiento predictivo y su orden de alarma en el tiempo

La estrategia de mantenimiento que se plantea es hacer uso continuo del equipo hasta que este empiece a dar señales que comenzó a entrar en la curva de falla, esto hará que se envíe un equipo de reemplazo al lugar para reducir la parada de planta que podría ocasionar una avería por simplemente reemplazar el equipo, esta es la razón principal por la que se selecciona análisis vibracional, seleccionar otra herramienta o principio de mantenimiento predictivo sería correr riesgos innecesarios.

Otra razón la encontramos en la posibilidad de determinar una gran cantidad de defectos en una amplia gama de máquinas con una inversión económica inicial razonable. La vibración es uno de los indicativos más claros del estado de una máquina. Bajos niveles de vibración indican equipo en buen estado, cuando estos niveles se elevan está claro que algo comienza a ir mal.

Los equipos utilizados para la adquisición de datos de vibraciones en las máquinas van desde los portátiles o de campo como se ve en la Fig. 4.4 hasta la monitorización en continuo u "on line". Proceso y mantenimiento son las dos áreas de actividad más vinculadas a la productividad en la explotación. El control de los parámetros de proceso (presión, temperatura, caudal, etc.) de los equipos ha sido

objeto de automatización desde hace más de una década en base a sistemas de control distribuido y redes de autómatas programables con interfaces Scada. El control de los parámetros de mantenimiento (vibración, temperatura, etc.) de los mismos equipos tiene todavía un largo camino por recorrer antes de lograr una implantación generalizada y una integración dentro del proceso de planta.



Fig. 4.4 Análisis Vibracional con equipo portátil haciendo monitoreo en campo

El análisis espectral de vibraciones consiste simplemente en realizar una transformación de una señal en el tiempo al dominio de la frecuencia, donde podemos identificar la vibración característica de cada uno de los componentes o defectos que puede presentar nuestro equipo.

En la actualidad, el análisis de vibraciones se realiza a través de dispositivos electrónicos y los beneficios que obtenemos son:

- Optimización de la disponibilidad de los activos.
- Optimización de los costes de mantenimiento.
- Optimización de los recursos humanos.
- Maximización de la vida útil de los activos.

En nuestro caso, la disponibilidad de activos y los costes de mantenimiento resultan ser los principales aspectos que se toman en cuenta.

4.2 SELECCIÓN DE SENSOR Y ALARMAS

El programa de mantenimiento predictivo basado en el análisis de vibraciones en nuestras máquinas seleccionadas comienza con la selección del sensor medidor de vibración con la calidad adecuada para la industria pesquera.

Por ello vemos necesario este componente cumpla las siguientes características:

- Respuesta a frecuencias intermedias y altas (más de 1 KHz): Velocidad de rotación alta cuando la planta opere al total de su capacidad.
- Temperatura elevada de 120 a 150 °C (de 250 a 300 °F): Para el calor y la humedad de la sección de centrifugado.
- Temperaturas frías de hasta 5 a 10 °C para la sección de compresoras.
- Conjunto de cable/conector IP 68: Para un entorno húmedo y un cambio frecuente de la velocidad.
- Relación señal-ruido adecuada: Para la detección de defectos en los rodamientos.

Seleccionamos el sensor de vibración SKF CMSS2200 (la decisión tomada está acorde con la recomendación de nuestros consultores de proyectos). Vemos este sensor en la Fig. 4.5.



Fig. 4.5 Sensor de vibración SKF CMSS2200

A partir de tener instalado estos componentes en nuestros equipos como se puede ver en la Fig. 4.6, comenzamos con la obtención de la siguiente información:

- Espectros de referencia característicos de la máquina en diferentes puntos cuando se está operando correctamente (de preferencia máquina nueva).
- Historial de mantenimiento; datos del fabricante sobre causas de averías, vibraciones características; datos del operador de la máquina en estos mismos tópicos (reforzando el conocimiento en tipos de averías más frecuentes).
- Datos técnicos específicos: r.p.m., potencia, número de álabes, cojinetes (datos geométricos característicos), reductor (número de dientes, relaciones de transmisión), etc.
- Conocimiento de la máquina: condiciones de operación, función de la máquina en el proceso, alteración de los niveles de vibración con los cambios en las condiciones de operación (temperatura, carga, velocidad y otros), entre otras.
- Codificación e identificación de las máquinas seleccionadas: la codificación deberá indicar lugar, posición, tipo de máquina, número de ellas, entre otras.

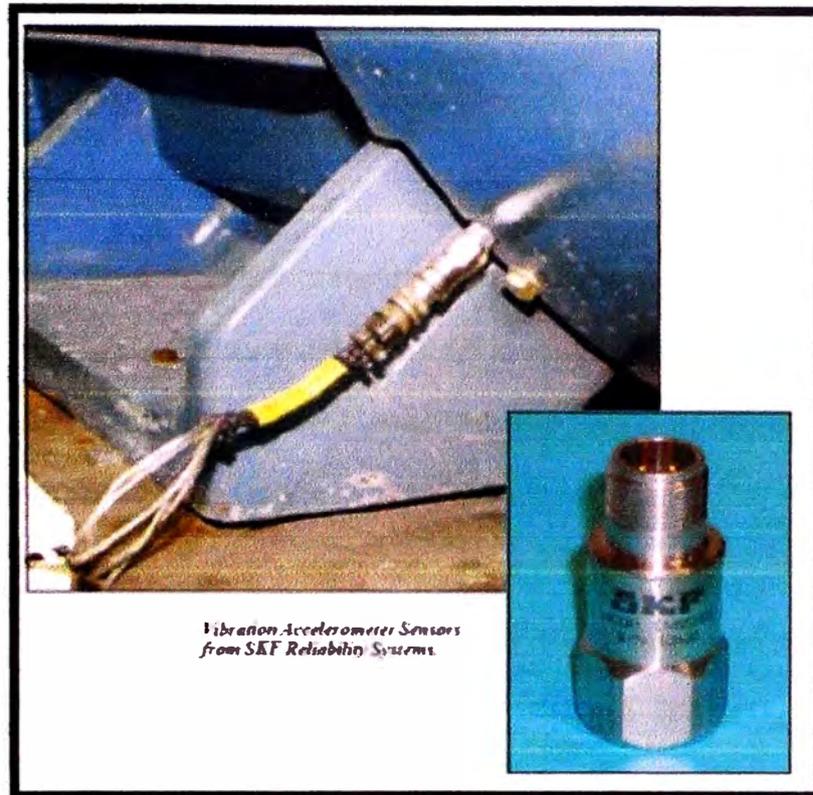


Fig. 4.6 Montaje de un sensor vibracional en la cubierta de un motor eléctrico

Luego a cada máquina seleccionada se le definen los siguientes aspectos:

- Puntos y direcciones de mediciones (axiales, radiales).
- Magnitud a medir (desplazamiento, velocidad, aceleración).
- Tipo de sensor adecuado.

Una vez cumplidos los pasos anteriores, es conveniente que se ejecuten varias mediciones de pruebas que permitan:

- La familiarización con los espectros característicos de cada máquina.
- La optimización de puntos de medición y direcciones.
- En caso que no se hayan podido conseguir los espectros de referencia, previamente del fabricante, se procederán a obtener directamente de un equipo nuevo con la ayuda del personal más experimentado.

Para cada máquina es preciso establecer los criterios de severidad, considerados, por ejemplo, de la siguiente manera:

- ALARMA - nivel de vibración severo.
- PARADA - nivel de vibración no aceptable.

En caso de no disponer de criterios del suministrador se acudirá, como referencia de partida, a las normas existentes. El conocimiento de la máquina y su correspondiente historial, serán la base más segura para la redefinición de los niveles óptimos de la máquina en uso.

No existe ninguna regla que establezca cuál debe ser el intervalo entre dos mediciones consecutivas en cada máquina. Esta frecuencia de muestreo está sujeta a factores tales como:

- Importancia de la máquina en el proceso de producción.
- Características específicas de la propia máquina.
- Historial de averías.

En definitiva, esta frecuencia se establece primeramente de acuerdo a estos criterios y será el proceso dinámico de optimización del programa quien defina el intervalo más adecuado para cada máquina.

Sobre la base de la información que se obtenga y como síntesis para la toma de decisiones, se elaborarán los resúmenes siguientes:

- Curva de análisis de tendencia que representa la variación de la amplitud de la vibración total en el tiempo.
- Curvas de análisis de tendencia de frecuencias típicas y armónicos más significativos del espectro.
- Mapas espectrales en función de las condiciones de operación.

Para nuestro caso el tiempo transcurrido entre cada medición debe ser muy corto, debido a que los equipos que hemos seleccionado están ubicados de tal

forma en el proceso que su avería ocasionaría la falla del sistema, además para el criterio de severidad tipo alarma, y según nuestra estrategia de mantenimiento, optamos por enviar de inmediato un equipo de reemplazo al lugar, esta decisión es tomada por el Gerente de Mantenimiento quien visualiza el estado operacional de cada uno de los equipos críticos en tiempo real como se aprecia en la Fig. 4.7.

La ejecución del reemplazo del equipo se realiza lo antes posible, pues una avería además del tiempo en que deja indisponible la planta, nos ocasiona pérdida de producto e incremento de horas hombre para trabajos de limpieza y recuperación del producto (principalmente harina de pescado).

Condición de búsqueda

Status	Etiquetas	Etiqueta de la descripción	Tag del Padre	Descripción del Padre	Observación
OK	MTCA(2Reb, 5/Inver)	TK1	TK1	CRISTALIZACION TK1	EQUIPO EN CONDICIONE
OK	CxEngr(2Einos) PP	TK1	TK1	CRISTALIZACION TK1	EQUIPO EN CONDICIONE
OK	MTCA(2Reb, 5/Inver)	TK2	TK2	CRISTALIZACION TK2	EQUIPO EN CONDICIONE
OK	CxEngr(2Einos) PP	TK2	TK2	CRISTALIZACION TK2	EQUIPO EN CONDICIONE
OK	MTCA(2Reb, 5/Inver)	TK3	TK3	CRISTALIZACION TK3	EQUIPO EN CONDICIONE
OK	CxEngr(2Einos) PP	TK3	TK3	CRISTALIZACION TK3	EN EL ESPECTRO SE OBS
OK	MT AGITADOR	SIL01	SIL01	EVAPORACION SIL01	EL EQUIPO PRESENTA LE
OK	Cx AGITADOR	SIL01	SIL01	EVAPORACION SIL01	EQUIPO EN CONDICIONE
OK	MT AGITADOR	SIL02	SIL02	EVAPORACION SIL02	EQUIPO EN CONDICIONE
OK	Cx AGITADOR	SIL02	SIL02	EVAPORACION SIL02	EQUIPO EN CONDICIONE
OK	MT TPA CAL 1	EVAPORADOR2	EVAPORADOR2	EVAPORACION EVAPORADOR2	ESTE EQUIPO PRESENTA
OK	MT REC CAL 1	EVAPORADOR2	EVAPORADOR2	EVAPORACION EVAPORADOR2	ESTE EQUIPO PRESENTA
OK	MT TRA CAL 2	EVAPORADOR2	EVAPORADOR2	EVAPORACION EVAPORADOR2	ESTE EQUIPO PRESENTA
OK	MT REC CAL 2	EVAPORADOR2	EVAPORADOR2	EVAPORACION EVAPORADOR2	ESTE EQUIPO PRESENTA
OK	MT TRA CAL 3	EVAPORADOR2	EVAPORADOR2	EVAPORACION EVAPORADOR2	ESTE EQUIPO PRESENTA
OK	MT REC CAL 3	EVAPORADOR2	EVAPORADOR2	EVAPORACION EVAPORADOR2	ESTE EQUIPO PRESENTA
OK	MT TRA CAL 4	EVAPORADOR2	EVAPORADOR2	EVAPORACION EVAPORADOR2	ESTE EQUIPO PRESENTA
OK	MT REC CAL 4	EVAPORADOR2	EVAPORADOR2	EVAPORACION EVAPORADOR2	EQUIPO EN CONDICION
OK	MT REC 2 CAL 4	EVAPORADOR2	EVAPORADOR2	EVAPORACION EVAPORADOR2	EQUIPO EN CONDICION
OK	MT YACIO 1	EVAPORADOR2	EVAPORADOR2	EVAPORACION EVAPORADOR2	EQUIPO CON CONDICION
OK	BB YACIO 1	EVAPORADOR2	EVAPORADOR2	EVAPORACION EVAPORADOR2	EQUIPO CON CONDICION
OK	MT COND CAL 2 Y 3	EVAPORADOR2	EVAPORADOR2	EVAPORACION EVAPORADOR2	VERIFICAR RIGIDEZ EST
OK	MT COND CAL 4	EVAPORADOR2	EVAPORADOR2	EVAPORACION EVAPORADOR2	EQUIPO CON CONDICION

Base de datos: CDR_SEF_ALCORP
 Área de trabajo: SOP-PULV-JUNI1
 Ruta: []

Diagnóstico: ACOPLE, ACOPLE SIN GUARDA, ALOJAMIENTO, ALTA TEMPERATURA, ANCHORAGE SYSTEM, BACHLASH, BARRAS ROTAS

Status: Normal, Observación, Abata, Alarma, Emergencia

Técnica: ANALISE DE OLEO, ESTATICOS, FERROGRAFIA, LUBRIFICACAO

Tipo insp.: Ruta, Fuera de ruta, Post mantenimiento

Periodo: Inicio 04/09/2011, Fin 07/09/2011

Exec. Filtro: , , ,

Fig. 4.7 Estado operacional de los equipos críticos utilizando el Software SKF Aptitude

4.3 MONITOREO REMOTO

De lo revisado anteriormente observamos que para nuestro tipo de negocio (corto periodo de tiempo) y por nuestras tipo de criticidad (disponibilidad de planta, determinamos que fue necesario tener un monitoreo continuo de nuestro

equipamiento seleccionado. Además considerando la selección del sensor de vibración SKF CMSS2200 y según revisamos en la lista de compatibilidades de sistemas de medición en el portal de SKF, seleccionamos el Sistema Multilog Online WMx (Fig. 4.8) y el Software de análisis de información SKF Aptitude.



Fig. 4.8 Sistema Multilog Online WMx

El Sistema Multilog Online WMx es un dispositivo que nos ofrece un monitoreo compacto de ocho canales, instalado in situ, se comunica a través de una conexión de red inalámbrica 802.11b/g y cuenta con hasta 08 entradas para monitorear más de un equipo a la vez. Este dispositivo recolecta la siguiente información:

- Aceleración
- Velocidad
- Desplazamiento
- Temperatura
- Estado del rodamiento (opcional)

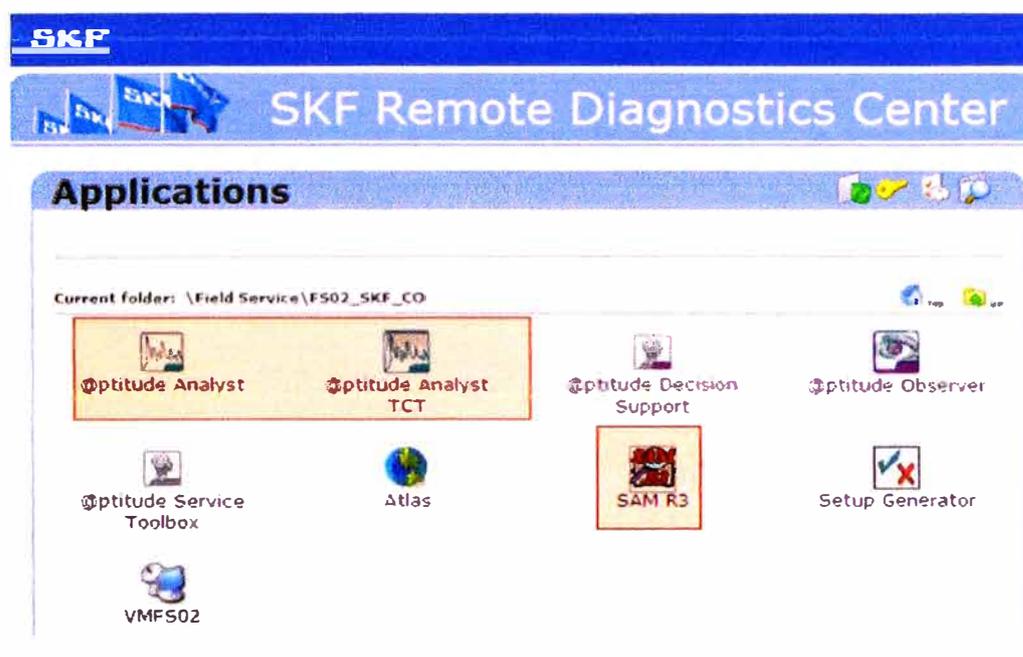


Fig. 4.9 Software SKF Aptitude

El WMx envía automáticamente los datos para su visualización, evaluación de alarmas y posterior análisis en el software SKF Aptitude, por lo que se debe habilitar un punto de acceso para cada planta de Pesquera Diamante tal como se ve en la Fig. 4.9 . Este sistema utiliza un protocolo inalámbrico de comunicación, lo que a su vez ofrece un medio simple, confiable y seguro de extender el mantenimiento basado en la condición a zonas de la planta en las cuales el costo de instalar sistemas cableados es prohibitivo, y permite que los datos estén disponibles para los sistemas existentes de control e información de procesos. Para superar los obstáculos de la comunicación inalámbrica, los sistemas multilog online pueden configurarse para funcionar como nodos de routers, lo que les permite retransmitir datos de otros sensores.

Luego, solución propuesta podemos resumirla con los siguientes 03 pasos:

1. Se instalan sensores de vibración en cada punto de medición y se cablea hasta la unidad de monitoreo más cercana. Además se instalan los Sistemas

Multilog Online cerca de las máquinas. Cada unidad es capaz de monitorear hasta 8 puntos.

2. Las unidades de medición a través de los Sistemas Multilog Online envían los datos a un servidor central de almacenamiento de información (es necesario un computador exclusivo para mantenimiento predictivo en cada planta de Pesquera Diamante).

3. A su vez estas estaciones por planta son las responsables de subir los datos de manera segura a nuestra base de datos principal, en la que se ha instalado el software SKF Aptitude. Para finalmente poner a disposición de los usuarios autorizados, los estados mecánicos de la maquinaria, este software permite al usuario ver los promedios de la vibración, puntos medidos, así como sus curvas de tendencia y valores de aceleración en tiempo real. (norma ISO 10816).

Estos 03 pasos los podemos ver en la Fig. 4.9 de forma sencilla.

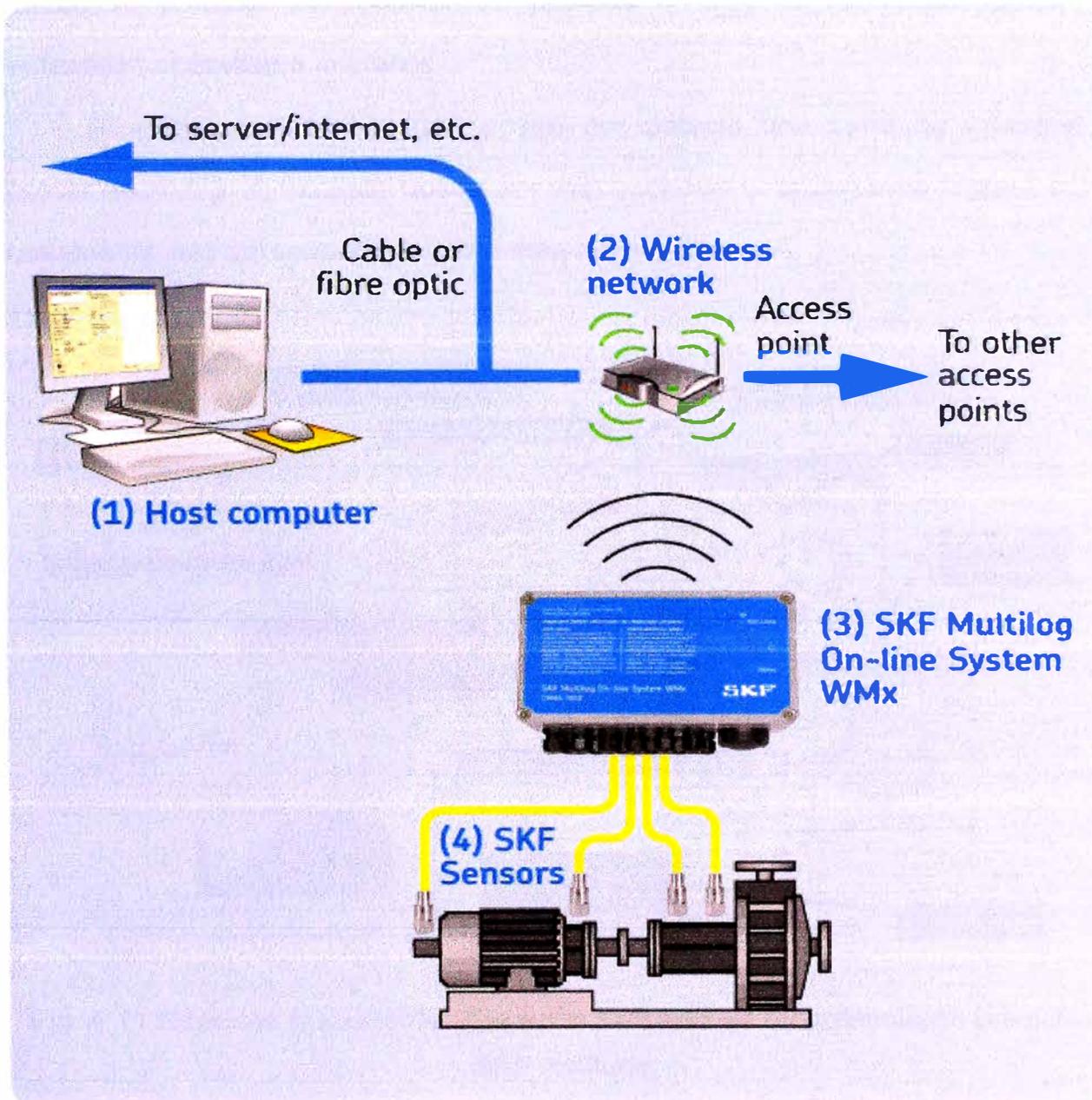


Fig. 4.10 Capas de comunicación del Monitoreo Remoto.

Para esta solución hemos definido conveniente contratar un técnico especialista en análisis vibracional quien se ubicará durante el desarrollo del proyecto en la sede principal de Pesquera Diamante. Esta persona se encargará de generar los reportes para que luego el Gerente de Mantenimiento decida que

plantas va priorizar para enviar un equipos críticos de reemplazo poder dar continuidad operativa a la planta.

El software SKF Aptitude posee por defecto una serie de reportes, se aprecia en la Fig. 4.10. Esto puede ser aprovechado si la empresa lograra contar nuevamente con personal dedicado a esta labor.

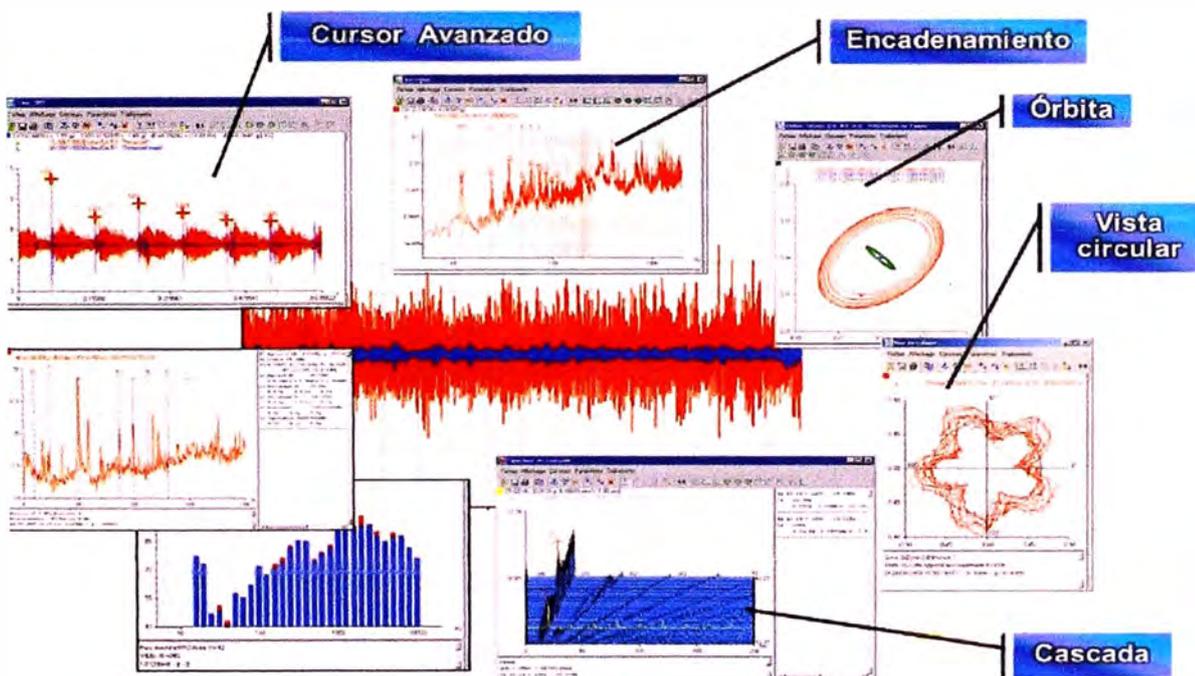


Fig. 4.11 Reportes pre establecidos en el Software de mantenimiento predictivo SKF Aptitude.

Con esta herramienta tecnológica y aplicando principios de mantenimiento logramos reducción significativa de paradas de planta, disminución de stock de equipos de reemplazo y ahorro en mantenimiento correctivo y preventivo para los equipos a los que se le aplicó mantenimiento predictivo.

CAPÍTULO 5

JUSTIFICACION ECONOMICA

5.1 COSTO DE INSTALACIÓN

Es apropiado mencionar que el Mantenimiento Predictivo de por sí es costoso y sólo debe ser aplicable en los casos donde se tenga una gran fuga de dinero y que con el mantenimiento tradicional no se pueda controlar. Con esta implementación se apertura una nueva etapa para el Departamento de Mantenimiento en Pesquera Diamante, se establecen las bases de la nueva estrategia de la compañía, así como permanece como bien intangible todo el material humano que con esta experiencia se formó.

Habiendo definido (en el Capítulo II) los equipos en los cuales se implementará mantenimiento predictivo utilizando monitoreo remoto, hacemos el conteo de cada uno de ellos por cada planta de Pesquera Diamante en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Cantidad de Equipos Críticos identificados en las 9 plantas de Pesquera
Diamante

PLANTA	Centrifugas	Separadores	Compresoras	Tricanter
BAYOVAR	8	4	2	1
MALABRIGO	8	4	-	1
SAMANCO	12	5	-	2
SUPE	10	5	-	1
CALLAO	12	6	10	2
PISCO NORTE	10	4	-	1
PISCO SUR	10	4	-	1
MOLLENDO	6	4	-	1
ILO	8	5	-	1
Total	84	41	12	11

Cant. Total de Equipos	148
-----------------------------------	------------

Por cada uno de los 148 equipos a dar seguimiento se instalaran 03 sensores medidores de vibración, esto hace un total de 444 unidades.

Luego calculamos la cantidad de Sistemas Multilog Online vamos a utilizar, aquí debemos considerar cada una de estas unidades es capaz de recoger datos de hasta ocho (08) canales a la vez, este detalle se puede apreciar en la Tabla 5.2

Tabla 5.2 Cantidad de Sistemas Multilog Online para las 9 plantas de Pesquera
Diamante

PLANTA	Sistemas Multilog Online
BAYOVAR	9
MALABRIGO	6
SAMANCO	9
SUPE	9
CALLAO	12
PISCO NORTE	6
PISCO SUR	6
MOLLENDO	6
ILO	6
Total	69

Favorece a este proyecto que las centrífugas y decantadoras industriales se encuentren juntas en un área llamada Sala de Separación de Líquidos – Sólidos, por otro lado sólo contamos con Compresoras en Plantas Bayovar y Callao, estas también se encuentran juntas en Salas de Compresoras completamente acondicionadas y con aislamiento acústicos pues son bastante ruidosas. Este hecho facilita que a un Sistema Multilog Online pueda recibir datos de más de un equipo a la vez.

Ya habiendo obtenido la cantidad de sensores y dispositivos de captura y envío de información y considerando el precio unitario de estos calculamos el costo total de la inversión. Este detalle lo vemos en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3 Costo total de inversión

Categoría	Cantidad	Precio Unit. (US \$)	Precio Total (US \$)
Sensores	444	67	29,748
Sistemas Multilog	69	749	51,681
Cableado y Montaje	9 (plantas)	16230	146,070
Software Aptitude	-	-	30,000
Licencias Adicionales Soft.	12	225	2,700
Capacitación Personal	24	450	10,800
Sub total (US \$)			270,999
IGV (18%)			48,780
Total (US \$)			319,779

Es válido aclarar que en la categoría Cableado y Montaje y para facilidad de visualización de la tabla se promedió el monto correspondiente de cada unidad de negocio de Pesquera Diamante.

Finalmente el costo de implementar Mantenimiento Predictivo para los equipos de alta criticidad por disponibilidad de planta utilizando monitoreo remoto asciende a 319,770 dólares americanos.

5.2 BENEFICIOS DEL NUEVO SISTEMA

En realidad son muchos los beneficios de implementar un programa de mantenimiento predictivo, más aún si consideramos que podemos extender la solución a otros equipos, colocándolas en orden de nuestro interés serían:

Paradas imprevistas. No más paradas no-programadas. Podemos determinar cuáles son las máquinas en estado de alarma y programar las operaciones de reparación o sustitución durante las paradas programadas de planta. De esta forma se reduce drásticamente las paradas de planta imprevistas y

aumenta la disponibilidad y eficiencia de la misma. (Reducción de horas de para de planta en 31%)

Operaciones de Mantenimiento innecesarias. Evitamos las rutas de seguimiento de maquinaria rutinarias. Solamente se medirán las máquinas en valores de pre-alarma. Se substituirá únicamente la maquinaria en valores de alarma. Solamente destinaremos tiempo y recursos a los motores o generadores eléctricos que realmente lo necesiten. (Reducción de Mantenimiento Preventivo en 12%)

Averías Catastróficas. Es la evolución de una avería prematura que desencadena en una avería que deja fuera de servicio a una máquina y posiblemente a una planta de producción. Con la implementación del mantenimiento predictivo, las averías se deben detectar en estos estados iniciales y solucionarse. Por tanto las averías catastróficas no se deben llegar a producir. (Reducción de Mantenimiento Correctivo en 10%)

Stock de Recambios. Eliminación de stocks innecesarios de equipos críticos. En todo momento y con suficiente antelación, sabremos cual es el componente que se debe sustituir. Sin averías catastróficas no hay necesidad de stocks innecesarios. Pesquera Diamante no puede ser competitiva mientras mantenga la totalidad de la maquinaria que poseía antes de la implementación de la Ley de Cuotas Pesqueras. (Reducción de Stock de Recambios en 9%).

5.3 RETORNO DE LA INVERSIÓN

El objetivo principal de este proyecto fue reducir significativamente las horas de para de planta, estas eran ocasionadas principalmente por avería de alguno de los equipos críticos, de ahí que tengamos en este beneficio la oportunidad de obtener la mayor cantidad de retorno de inversión. Considerando un costo de 15

000 dólares / hora de planta parada por avería catastrófica obtenemos los resultados que se muestran en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4 Cálculo del ahorro con el programa de mantenimiento predictivo, en funcionamiento desde el 2013

Categoría	03 últimos años	2013	Reducción	US \$
Parada de planta	26 horas	18 horas	31%	180,000
Mantenimiento Correctivo	232000	209000	10%	23,000
Mantenimiento Preventivo	119000	102000	14%	17,000

Ahorro Anualizado	220,000
-------------------	---------

Por último hacemos uso de herramientas de finanzas, TIR, VAN, Plazo de Recuperación, entre otras, estas nos ayudan a tomar decisiones para un proyecto de este tipo (el cual posiblemente se extienda por varios años). Hemos considerado 9% como tasa actual máxima en el mercado para ahorro de cientos de miles de dólares acorde a nuestra inversión, asimismo una inflación de 3% según la realidad saludable que atraviesa el país. Obtenemos como resultado los datos de la Tabla 5.5.

Tabla 5.5 Análisis de la inversión

DATOS DE LA INVERSIÓN			
Capital :	319,779.00	Tasa :	9.00%
Cobro inicial:	220,000.00	Inflación cobros:	3.00%
Pago inicial:	17,000.00	Inflación pagos:	3.75%
		Años :	10

Tabla anual

Años	Inversión	Cobros	Pagos	Flujos Caja	Valor Actual	Acumulado
0	-319,779.00			-319,779.00	-319,779.00	-319,779.00
1		220,000.00	17,000.00	203,000.00	186,238.53	-133,540.47
2		226,600.00	17,637.50	208,962.50	175,879.56	42,339.09
3		233,398.00	18,298.91	215,099.09	166,095.97	208,435.05
4		240,399.94	18,985.12	221,414.82	156,855.84	365,290.90
5		247,611.94	19,697.06	227,914.88	148,129.03	513,419.93
6		255,040.30	20,435.70	234,604.60	139,887.06	653,306.99
7		262,691.51	21,202.04	241,489.47	132,103.01	785,410.00
8		270,572.25	21,997.11	248,575.14	124,751.48	910,161.48
9		278,689.42	22,822.00	255,867.41	117,808.47	1,027,969.95
10		287,050.10	23,677.83	263,372.27	111,251.29	1,139,221.24

Análisis de la inversión

Otros indicadores:	V.A.N.	1,139,221.24	Valor actual neto
	T.I.R.	65.88%	Tasa interna rentabilidad
	V.A.	1,459,000.24	Valor actual
	I.R.	456.25%	Índice de rentabilidad
	PAYBACK	2	Plazo de recuperación
	R.C.	12.50	Rendimiento contable

Luego, se elabora un gráfico con los datos calculados en el análisis de la inversión y se detalla en la Fig. 5.1, aquí se puede ver que hay un punto de recuperación de la inversión en el corto periodo.

INVERSIÓN



Fig. 5.1 Gráfica de punto de intersección entre inversión y el ahorro

Nuestra inversión tardaría 1.86 años en recuperar su monto y comenzar a dar ganancia a la empresa, si se considera que el proyecto concluyó a finales del 2012 y durante el 2013 generó ahorro significativo de forma sostenible, concluimos que la inversión será recuperada a finales del año en curso (2014).

Si bien los datos de ahorro que nos dejó el 2013 son gratificantes para el gran esfuerzo que se hizo para la culminación de este proyecto, aún existe una gran brecha de ahorro por ganar y algunos equipos que fueron dejados de lado, pues se comenzó este proyecto sólo con los equipos muy críticos.

Actualmente tanto el staff de ingenieros como el equipo técnico de Pesquera Diamante rompió la inercia hacia la nueva estrategia de mantenimiento e incrementó su dominio en el uso de herramientas tecnológicas como el análisis vibracional y el monitoreo remoto, esto nos augura futuras implementaciones satisfactorias.

CONCLUSIONES

1. Es posible recuperar la inversión que se hace en mantenimiento predictivo siempre que sea enfocado adecuadamente, es decir a problemas o inconvenientes que estén resultando gastos elevados a la empresa. En nuestro caso, esto se evidenció logrando un ahorro anual sostenible de 220 000 dólares americanos al implementar el programa de mantenimiento predictivo a los equipos críticos según disponibilidad de planta.
2. Las técnicas de mantenimiento predictivo no exponen al personal a un riesgo elevado, pues ellos no entran en contacto directo con los equipos, sin embargo se debe estar en zonas cercanas al equipo que se analice. Utilizando monitoreo remoto, es posible reducir completamente este riesgo.
3. Las técnicas de mantenimiento predictivo en general y las técnicas de análisis vibracional en particular no entorpecen el proceso normal de producción pues estas se efectúan cuando las máquinas se encuentran en condiciones normales de funcionamiento.
4. Durante el desarrollo del proyecto se hizo notorio que invertir en evitar paradas de planta y averías catastróficas en una planta industrial genera también bienestar laboral y ahorro al tener trabajadores sanos e índices de accidentalidad bajos. Este indicador toma mucha importancia en el sector pesquero pues tiene uno de los más altos índices de mortalidad de la región.
5. Finalmente, se puede dejar en claro que el mantenimiento predictivo mediante análisis vibracional está apoyado sobre una extensa y compleja teoría, asociada a fenómenos físicos que no pueden ser visualizados o percibidos directamente por

los sentidos humanos de la visión y la audición; lo cual supone un verdadero reto, tanto para quien realiza las pruebas como para quien analiza los resultados; ya que se deben considerar estos fenómenos imperceptibles de manera indirecta, y lo más objetivamente posible y es aquí precisamente, donde los sensores y la tecnología de comunicación adquieren un gran valor, en otras palabras la aplicación de esta técnica sólo puede ser posible con la adquisición de equipos de instrumentación.

RECOMENDACIONES

Antes de realizar cualquier prueba de análisis vibracional en equipos en funcionamiento en una planta industrial, es muy importante que el personal técnico respete las normas de seguridad vigentes en la empresa, esto con el objetivo de evitar accidentes que puedan poner bajo riesgo su vida; esto incluye respetar las distancias mínimas de aproximación a elementos energizados, el contacto físico con cualquier equipo, dispositivo o elemento presentes; además antes de cualquier intervención, se debe disponer de todos los implementos de seguridad como cascos, botas dieléctricas en buen estado y constante capacitación en medidas preventivas de seguridad.

1. Se recomienda a la empresa tramitar la certificación a los técnicos que realicen las pruebas de análisis vibracional; dicha credencial es expedida por empresas especializadas de reconocida trayectoria con la finalidad de reducir errores en la inspección, detección, diagnóstico y análisis de fallas; y al mismo tiempo mejorar la confiabilidad de las pruebas realizadas.
2. Es recomendable elaborar un estudio de ahorro energético para aquellas máquinas a las que se le controla la vibración, partiendo del hecho que las máquinas con bajo nivel de vibración aprovechan mejor la energía que reciben convirtiéndola en movimiento rotativo.
3. Finalmente se recomienda a los futuros profesionales de ingeniería que asuman el reto de continuar realizando aportes al mantenimiento predictivo que cada año cobra mayor importancia por ser el salto generacional natural de todo departamento

de mantenimiento. Hago extensiva la recomendación de enfocarse sobre todo en equipos de alta criticidad, pues aquí hay mayor oportunidad de justificar la inversión. Esta mención personal tiene el propósito de encontrar los modelos físicos y matemáticos que representen el comportamiento cada una de estas máquinas y tener información lista para ser utilizada según sea el sector industrial.

BIBLIOGRAFÍA

1. Rosaler, Robert C. (2002). Manual del Ingeniero de Planta.
2. Cesar Rojas Mesias (2007), Análisis técnico de un programa de mantenimiento en una planta de harina de pescado de 60 ton/h de capacidad.
3. Cristiam Mundarain Castañeda (2009), Diseño de un programa de mantenimiento basado en condición, enfocado a la mejora de la efectividad de los activos rotativos.
4. Amendola, L., Depool, T. (2009). La Gestión de Competencias en la Implementación.
5. Mariano Gutiérrez Torero (2011), Efectos de la ley de cuotas (DL-1084) sobre la pesca artesanal: Caso de estudio sobre la pesquería industrial de anchoveta
6. Glen White (2010), Introducción al Análisis de Vibraciones
7. Gonzalo de Palma (2008) Vibraciones en máquinas. Mantenimiento predictivo.

APENDICE

CAUSA	AMPLITUD	FRECUENCIA	OBSERVACIONES
Desequilibrio	Proporcional al desequilibrio. Mayor en dirección radial.	1 x RPM	La causa más frecuente de vibraciones
Desalineación Par de cojinetes y eje deformado (flexado)	Grande en dirección axial, 50% o más en radial	1 x RPM normal. 2 ó 3 x RPM, algunas veces	Óptimo para aparición de largas vibraciones axiales Para diagnóstico usar indicadores de fase Si no hay desalineamiento en cojinetes equilibrar rotor
Cojinetes antifricción malos	Inestable, medir velocidad si es posible.	Muy alta Varias veces la velocidad	Con seguridad el cojinete responsable es el más cercano al punto de vibración con frecuencia más alta
Apoyos excéntricos	Generalmente no grande	1 x RPM	En engranajes las vibraciones mayores en línea de centros. En motor o generador las vibraciones desaparecen al apagarlos. En bombas y ventiladores intentar el equilibrado.
Engranajes malos o ruido de engrane	Baja - medir velocidad si es posible -	Muy alta Dientes x RPM	
Holgura mecánica		2 x RPM	Usualmente acompañado con desequilibrio y/o desalineación
Transmisión por correa defectuosa	Errática o pulsante	1,2,3 & 4 x RPM de correas	La luz estroboscópica es la mejor herramienta para detectar correa defectuosa
Eléctrica	Desaparece al cortar la corriente	1 x RPM ó 1 ó 2 x frec. de sincronismo	Si la amplitud de vibración cae instantáneamente cuando desaparece la corriente, la causa es eléctrica
Fuerzas hidráulicas y aerodinámicas		1 x RPM ó número de palas del ventilador o impulsor x RPM	Raro como causa de problemas excepto en los casos de resonancia.
Fuerzas alternativas		1,2 & órdenes mayores x RPM	Propio de máquinas alternativas solamente puede reducirse con cambios de diseño o aislamiento