

## **Mantenimiento en Minería - Segunda parte**

Por **Rubén Eduardo Klimasauskas**

### **Introducción**

En la entrega anterior, se puso énfasis en que el mantenimiento es una disciplina científica que lejos de ser considerada un mal necesario, debe ser un contribuyente de gran peso en la rentabilidad de la empresa, máxime teniendo en cuenta el cada vez mayor peso relativo en la estructura de costos de la empresa, en especial, en la gran minería.

No obstante, puede verse muy a menudo que los gerentes de mantenimiento (al igual que la mayoría de sus colegas) destinan gran parte del tiempo disponible a solucionar problemas del pasado, o a lo sumo, del presente, descuidando el futuro. Este síntoma no pasa inadvertido a estos ejecutivos y, casi siempre, integran temas de conversaciones, memorandos, etc. Como sostiene Peter Drucker “El ejecutivo pasa por alto el futuro porque no puede superar el presente”. Entonces, ¿Por qué estos inconvenientes tienen lugar, a pesar de ser detectados y no deseados por sus actores principales? la respuesta descansa en la falta de conocimiento que se manifiesta en la ausencia de una base de conocimientos para encarar el quehacer económico de la empresa.

Por otra parte, puede verse que aunque los ejecutivos están trabajando en el día a día, muy pocas veces ejecutan las tareas en forma correcta. Se la pasan yendo de un programa de contingencias a otro nuevo, pero no raramente se detienen a analizar la recurrencias y similitudes de problemas, o simplemente, repeticiones de éstos. No basta con hacer las tareas o actividades correctamente, sino hacer las actividades correctas en forma correcta.

En mantenimiento, se observa en muchos casos que las averías recurrentes se suceden sin que se tomen medidas para que, sencillamente no ocurran de nuevo. Los responsables de mantenimiento conocen estas situaciones no deseadas, pero, frecuentemente, las disposiciones que toman no conllevan consigo las medidas necesarias para evitar la recurrencia. La falta de un enfoque metódico que entienda la causa, potencialidad y probabilidad de ocurrencia de cada problema permitirá al gerente de mantenimiento y a todo su equipo de trabajo, edificar su “edificio de mantenimiento” sobre cimientos sólidos, de manera que sirva como un factor decisivo el aumento de rentabilidad de la empresa.

Es importante destacar que el Mantenimiento, afecta a los resultados de la organización y con una política adecuada permitirá que la disponibilidad de activos deberá permitir la maximización de los beneficios en forma global de toda la organización, minimizando o anulando los costos ocasionados por paradas imprevistas, baja calidad, multas por demoras, bajos índices de seguridad, agresiones al medio ambiente, etc. cuidando además, que el valor del activo sometido a estas prácticas.

### **Rentabilidad y disminución de costos**

Existen dos conceptos muy importantes que generalmente se toman como sinónimos y, que sin embargo no lo son. Tales son la disminución de costos y la rentabilidad de la empresa. Puede interpretarse la disminución de costos como el primer y más importante factor en el aumento de rentabilidad, pero no asumirse que de manera automática si una sección logra bajar sus niveles de gastos, la rentabilidad no aumentará de forma automática y sustentable en el largo plazo.

Dentro de una organización empresaria no existen beneficios ni resultados, solo costos, ya que toda la estructura insume esfuerzos y como consecuencia produce gastos. El resultado o rentabilidad de una empresa dependerá de cómo se administran los gastos, ya que éstos son los únicos factores que la organización puede controlar en forma directa, mientras que los resultados varían según un factor sobre el que, muchas veces, la organización tiene poco o nada de influencia: el cliente representado por el mercado. No obstante, si el único factor controlable es el nivel de gasto o costo, deberán destinarse todos los esfuerzos a mantenerlos en niveles previamente determinados y considerados como admisibles.

El Mantenimiento afecta al funcionamiento de la empresa, por lo que puede concluirse que tiene directa injerencia de en los resultados de la compañía, tal como se aseveró en “Mantenimiento en minería Primera parte”.

En mantenimiento, los costos pueden representarse con una curva como la de la figura 1, que ilustra las relaciones inversas entre los costos debidos al mantenimiento correctivo y los originados por el mantenimiento programado (MP). Un cambio de actitud hacia la programación de las tareas de mantenimiento desde las aplicaciones de actividades de rutina tles como lubricación, engrases, hasta netamente predictivas como análisis de vibraciones, de lubricantes, etc. generará un aumento en los costos totales de mantenimiento con una disminución notable de los tiempos perdidos, y pérdida de ingresos por ventas.

Para obtener un impacto óptimo de los costos de mantenimiento es menester que los gerentes de mina y planta junto con el gerente o superintendente de mantenimiento calculen o estimen los diferentes costos involucrados.

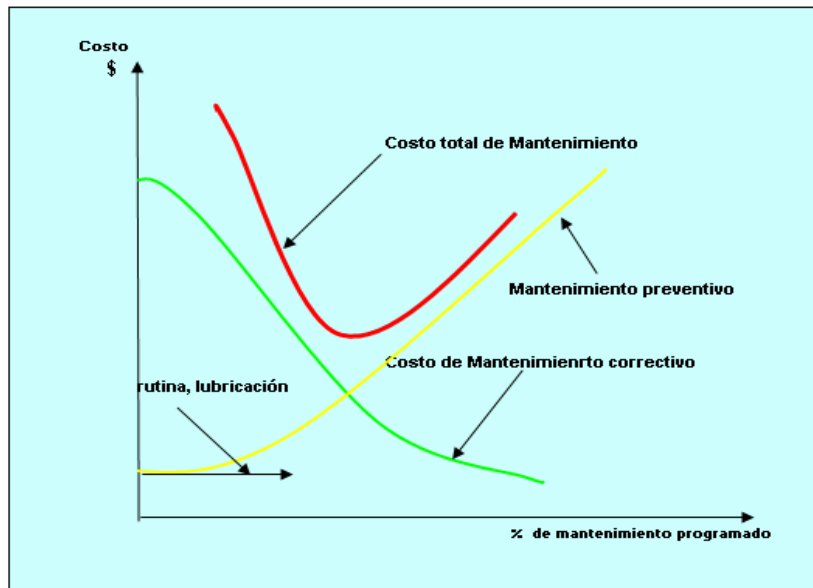


Figura 1

El nivel de gasto óptimo se encuentra en la zona de los valores mínimos del costo total. No obstante, es menester que el Costo total de mantenimiento se encuentra compuesto por:

- **Costo de horas de mantenimiento, debido al mantenimiento lucro cesante.**
- **Costo de mano de obra de mantenimiento (propia y contratada).**
- **Costo de materiales.**
- **Costo de herramientas (desgaste y roturas).**
- **Costo complementario: cuando afectan otras líneas de producción.**

**Ejemplo:** Calcúlese el costo de mantenimiento total anual de una locomotora eléctrica que se emplea para extraer el mineral en bruto desde la mina a la trituración. La locomotora comanda un convoy de 10 vagones de 10 toneladas cada uno con un coeficiente de llenado de 85%. La locomotora efectúa 10 viajes por turno de 12 horas cada uno, de los cuales el 80% de éstos se usan específicamente para llevar el mineral a la superficie. El resto se emplea en sacar la caja o piedra bruta sin mineral. Además los viajes de entrada se usan para introducir material de relleno (cemento y arena) en interior mina e insumos para el correcto funcionamiento de la faena. El precio de la tonelada del mineral, se ubica en 3500,00 USD / TN y la ley promedio es del 7%. y una concentración del 65%, el cronograma de mantenimiento de la locomotora se ilustra en la tabla 1, junto con los costos de materiales, servicios de terceros y horas de parada.

| Detalle            | ene-07 | feb-07 | mar-07 | abr-07  | may-07 | jun-07 | jul-07 | ago-07  | sep-07 | oct-07 | nov-07 | dic-07  |
|--------------------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|---------|
| Inspección (horas) | 250    | 500    | 250    | 1000    | 250    | 500    | 250    | 2000    | 250    | 500    | 250    | 1000    |
| Horas de parada    | 2      | 4      | 2      | 8       | 2      | 4      | 2      | 16      | 2      | 4      | 2      | 8       |
| Costo (USD)        | 280,00 | 560,00 | 280,00 | 1120,00 | 280,00 | 560,00 | 280,00 | 2240,00 | 280,00 | 560,00 | 280,00 | 1120,00 |

Figura 1

Para la ejecución de los trabajos, se afecta el personal que se detalla en la figura 2:

| Ítem | Descripción    | Cant. | Costo    |           | %      | Neto (\$) |
|------|----------------|-------|----------|-----------|--------|-----------|
|      |                |       | Mensual  | Anual     |        |           |
| 1    | Supte. De Mto. | 1     | 12500,00 | 162500,00 | 5,00%  | 8125,00   |
| 2    | Jefe seccional | 1     | 8500,00  | 110500,00 | 15,00% | 16575,00  |
| 3    | Supervisor     | 2     | 6500,00  | 84500,00  | 25,00% | 42250,00  |
| 4    | Operarios      | 2     | 4500,00  | 58500,00  | 55,00% | 64350,00  |

Figura 2

La locomotora, como el proceso productivo debe trabajar ininterrumpidamente las 24 horas al día durante todo el año. Los conceptos de desgaste de herramientas se ubican en un 5% del costo de materiales y servicios de terceros. Para la capacitación del personal, se ha previsto un valor igual al 8,5% del total de la mano de obra. La planta tiene un coeficiente de recuperación del 34,55%.

### Solución:

#### Determinación del lucro cesante:

Para ello deberá calcularse el costo horario de producción, el cual puede observarse en el cuadro 1, en donde se expuso de la manera más clara posible la metodología de cálculo. debe tenerse mucho cuidado en la exactitud e las paradas por mantenimiento ya que el factor que más contribuye en el costo de mantenimiento es el lucro cesante.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Cantidad de viajes anuales</b></p> <p><math>CVA = 20 \times 0,80 \times 365</math></p> <p><b>CVA = 5840 Viajes / Año</b></p> <p><b>Carga Anual Bruta</b></p> <p><math>CAB = CVA \times 10 \times 10 \times 085</math></p> <p><b>CAB = 496400 TN / Año</b></p> <p><b>Carga Anual según Ley</b></p> <p><math>CASL = CAB \times 7,00\%</math></p> <p><b>CASL = 34748 TN / Año</b></p> <p><b>Carga Neta Salida de Planta</b></p> <p><math>CNSP = CASL \times 35,44\% \times 65\% \times 55\%</math></p> <p><b>CNSP = 8005 TN / Año</b></p> | <p><b>Precio del mineral</b></p> <p><b>PM = 3500 \$ / TN</b></p> <p><b>Valor de Producción</b></p> <p><math>VP = CNSP \times PM</math></p> <p><b>VP = 28015922 \$ / Año</b></p> <p><b>Horas anuales = 8760 Horas / año</b></p> <p><math>Valor\ hora = VP / 8760</math></p> <p><b>VH = 3198 \$ / Hora</b></p> <p><b>Lucro Cesante Anual</b></p> <p><math>LCA = Horas\ de\ mantenimiento \times VH</math></p> <p><b>LCA = 179097,2 \$ / Año</b></p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Cuadro 1

#### Determinación de los demás costos (exceptuando el LC)

Con los datos, se elabora el cuadro 2

| Detalle               | Montos (\$)      |
|-----------------------|------------------|
| Materiales y terceros | 7840,00          |
| Mano de obra          | 131300,00        |
| Desgaste herramientas | 588              |
| Capacitación          | 13130            |
| <b>Subtotal</b>       | <b>152858,00</b> |

Cuadro 2.

Y el Costo Total Anual de mantenimiento, será:

$$\text{CMTA} = 331955,22 \text{ \$ / Año}$$

Obsérvese que el costo del lucro cesante es superior a la suma de todos los demás costos involucrados.

Del ejemplo anterior puede deducirse que el aumento de la rentabilidad no es sinónimo de reducción de costos en una sección ya que sería muy sencillo disminuir los gastos de mantenimiento no llevando a cabo alguna de las tareas programadas, pero, si el plan de mantenimiento está correctamente diseñado, solo se logrará aumentar las ganancias en un corto intervalo de tiempo y, luego debido a paradas por mantenimiento correctivo por falta de mantenimiento, la rentabilidad decrecerá rápidamente, ya que existen costos fijos tales como la mano de obra de producción, que deben seguirse pagando a pesar que una máquina no funciona, sumado a estos conceptos está el lucro cesante con las características y magnitudes ya descripta. Recuérdese el iceberg de mantenimiento expuesto en la entrega anterior. La reducción de costos debe ser el resultado de uno o varios estudios interdisciplinarios y acordados en conjunto por las secciones involucradas y no un intento de un área específica de la empresa, que no tenga en cuenta las necesidades de las demás.

### Generación de un plan de mantenimiento

Un plan de mantenimiento surge de una necesidad generada en el seno de una organización. y esa necesidad se manifiesta generalmente en el anhelo de alcanzar metas o estándares previamente establecidos y no logrados. El plan de mantenimiento debe ser (al igual que la mayoría de las que involucran al accionar mismo de la empresa) consensuado y debe tener en cuenta las necesidades y limitaciones de las secciones a las cuales debe dar el apoyo. En empresas mineras, las secciones son Mina y Planta concentradora, principalmente.

Los sistemas de organización, con administración de calidad, están formados por una serie de subprocesos con insumos que convierten en salidas, que a su vez, constituyen insumos de los procesos de transformaciones subsecuentes. Esta secuencia, está diseñada para satisfacer clientes internos y externos. Véase la figura 1.



Figura 3

Las 2 secciones principales constituyen lo que comúnmente se denomina Core Business, o núcleo del negocio, mientras que las restantes suelen llamarse secciones complementarias pues brindan el apoyo para que las secciones núcleo puedan operar adecuadamente, de acuerdo con procedimientos internos y/o normas legales

vigentes. La división entre secciones núcleo y complementarias o de apoyo, no pretende significar diferencias en cuanto a la importancia de los sistemas pues la existencia y permanencia en el mercado de una empresa, solo se concibe con la existencia de estos sistemas en forma simultánea e interactuando adecuadamente.

El modus operandi de una explotación minera lo marca Geología definiendo las zonas de la mina en las cuales debe extraerse el mineral con las propiedades acordadas junto con la Planta concentradora y Mina. Mina saca el mineral bruto y lo envía a PC para que obtenga el concentrado, producto de venta de la minera. M&S, debe velar para que los activos puedan ser utilizados de acuerdo con las exigencias de sus principales clientes, Mina, Geología y PC. El manejo de los recursos materiales y humanos está a cargo de Administración. La conducción no adecuada de cualquiera de estas secciones, puede llevar a una operación no rentable. Cada una de estas secciones debe tener en claro que su objetivo principal es aumentar la rentabilidad de la faena y no minimizar los costos como se sostenía hasta no hace mucho tiempo atrás (1). Por ejemplo, Mantenimiento puede recortar y efectuar menos rutinas que las planeadas y sus costos se verán reducidos. Las consecuencias de estas medidas las sufrirán sus clientes pues sus equipos no estarán disponibles para cumplir con los niveles de calidad y cantidad comprometidos. Como resultado, la empresa no podrá facturar las sumas previstas y/o sufrirá multas por parte de sus clientes externos o bien, pérdidas de clientes externos. Puede verse que una disminución de costos de una sección, no necesariamente significa mayor rentabilidad o disminución de la empresa en su conjunto.

Puede decirse que la meta principal del proceso es la adición continua de valor, reducción de pérdidas, sinónimo de mayor rentabilidad. En la figura 4, puede verse una ilustración de un modelo integrado de los procesos de la organización.

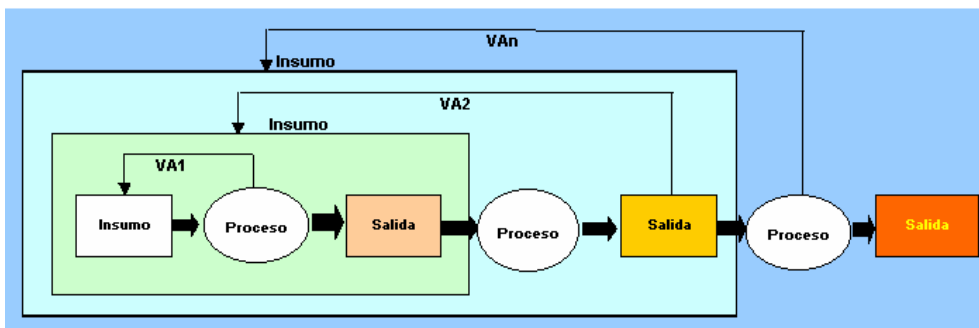


Figura 4

En la figura 5, Se observa el mismo cuadro de la figura 4 aplicado al proceso de una operación minera. No obstante, la planta concentradora no constituye una unidad homogénea sino que está compuesta por numerosos sub sistemas en los que tienen lugar diferentes transformaciones.

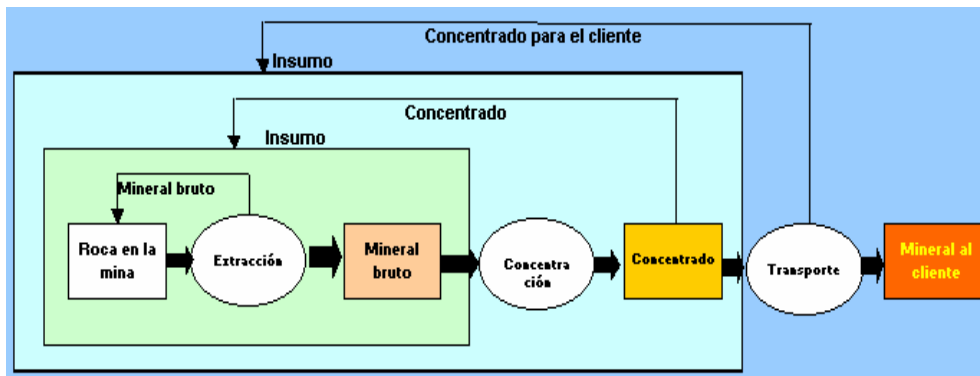


Figura 5

Como en todo proceso de agregado de valor, pueden notarse

- Entradas o Inputs.
- Herramientas y técnicas.
- Salidas.

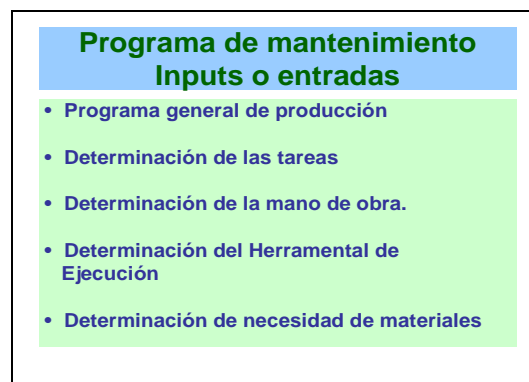


Figura 6

- **Programa de producción:** Es el principal input necesario para comenzar a dimensionar el plan. Es el generador de todas las otras actividades. Pues en base a éste se establecerán la mano de obra, materiales, activos a usarse, etc. debe ser un documento escrito y firmado por el gerente o jefe de producción: En caso de resultar más de una sección, deberá generarse un programa de producción por cada una de ellas.
- **Determinación de las tareas:** En base al plan de producción, se detallarán los trabajos a los que serán sometidos los activos. Este ítem servirá para que una vez confeccionado, pueda dimensionarse la cantidad y calidad de la mano de obra.
- **Determinación de la mano de obra:** Una vez detalladas las labores para cada activo: se establecerá la cantidad y calidad de mano de obra necesaria. El primer paso es analizar cuales son las tareas que conviene que las ejecute el personal propio y cual contratará. Para la mano de obra propia, se definirán las necesidades de capacitación. Para la contratada, se elaborarán contratos de prestaciones de servicios. (se verá en herramientas y técnicas).
- **Determinación del herramental necesario:** Para que el personal propio pueda llevar a cabo las tareas programadas, deberá contar con herramientas. Algunas ya estarán disponibles en los paños, otras deberán adquirirse y el

resto, alquilarse. A esta última categoría pertenecen aquellas herramientas de elevado costo y que serán usadas en casos muy puntuales. Generalmente, las herramientas menores o de mano serán adquiridas

- **Determinación de los materiales:** Además de mano de obra y herramientas, se necesitan materiales para poder ejecutar las inspecciones. Deberán listarse la totalidad de éstos.

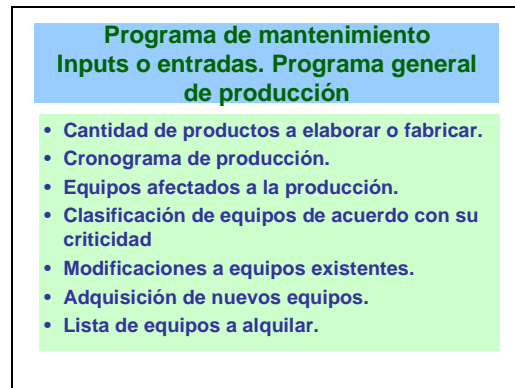


Figura 7

- **Cantidad de productos a elaborar:** Es menester que se conozca la producción esperada por varios factores: El primero es que el cumplimiento de las metas de producción no es solo responsabilidad del departamento o gerencia correspondiente. El segundo es que el plan de mantenimiento debe conocer el de producción para poder asegurarla en lo que a disponibilidad de activos se refiere.
- **Cronograma de producción:** En muchas industrias, la producción no se distribuye en forma uniforme a lo largo del año, sino que tiene picos o zonas de mayor producción. Las tareas de mantenimiento que requieren de detenciones importantes, deben asegurar la disponibilidad en estas épocas, por lo que los trabajos complejos deberán ejecutarse en épocas de producción baja o nula.
- **Equipos afectados a la producción:** Como todo plan de producción, necesitará de equipos o activos.
- **Clasificación de equipos:** Una vez generada la lista de equipos necesarios, las necesidades de éstos generalmente no son parejas. Producción debe determinar la importancia de los equipos afectados, así se pone mayor énfasis de control y seguimientos de los más importantes.
- **Modificación de equipos existentes:** Existirán equipos que deberán ser modificados según las necesidades de producción. Mantenimiento (y servicios) deberá obtener una lista De las modificaciones solicitadas así se incluyen en el programa como rediseños.
- **Adquisición de nuevos equipos:** Producción deberá indicar que equipos nuevos necesita adquirir de manera que mantenimiento pueda dar su opinión de los que se están seleccionando desde su punto vista y elaborar el plan de mantenimiento para éstos.

- **Listado de equipos a alquilar:** Si los equipos a alquilar deberán ser mantenidos por personal propio, deben conocerse para preparar el plan de mantenimiento. No obstante, es conveniente que mantenimiento se involucre en dar su punto de vista en cuanto a la procedencia y estado de activos a rentar.

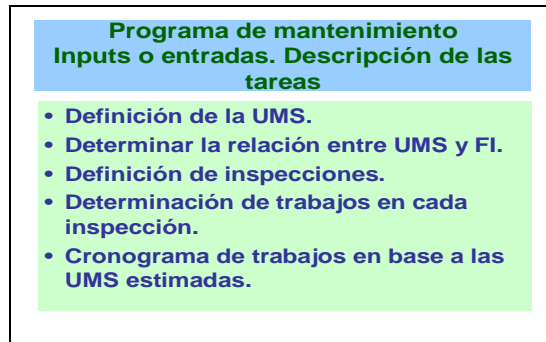


Figura 8

- **Definición de la UMS:** En base a los datos proporcionados por Producción y los de la experiencia, sobre todo estos últimos se establecerán las UMS para cada equipo seleccionado a mantener.
- **Determinar la relación entre UMS Y FI:** generalmente, sobre todo en lo que a cambio de fluidos y consumibles, se refiere, existe una relación entre el tiempo transcurrido desde el último cambio y la UMS. Tal es el caso de cambios de aceites y filtros cada 2590 horas o mensual. Deberá elaborar una lista de equipos necesarios. y la necesidad de éstos generalmente no es pareja. Producción debe determinar la importancia de los equipos afectados, así se pone mayor énfasis de control y seguimientos en los más importantes. Esta relación está ligada al caso de degradación de componentes de los fluidos.
- **Definición de las inspecciones:** Es importante destacar que las inspecciones no son patrimonios del mantenimiento preventivo, sino que pueden ser correctivas, predictivas y detectivas. Por ejemplo si se decide analizar las vibraciones de un cojinete cada 30 días. El acto de colocar el instrumento de medición y tomar los parámetros constituye una inspección de naturaleza predictiva. Si se inspeccionan las lámparas para ver cuales están quemadas, la inspección será correctiva, pues se actuará luego de ocurrida la falla. Si se verifica el estado del sistema contra incendio, será detectiva. Además de una inspección predictiva, podrá generarse una tarea correctiva: Por ejemplo, si del análisis de vibraciones se deduce que un cojinete debe ser cambiado, la próxima actividad ligada a este rodamiento, será el cambio, es decir una corrección. Esta a definición debe ser detallada lo más exactamente posible con el objeto de eliminar puntos grises.
- **Determinación de los trabajos en cada inspección:** Según la relación entre UMS y FI, deberá armarse cada inspección a llevar a cabo. Una inspección programada en general tendrá componentes correctivos, preventivos, predictivos y detectivos.
- **Cronograma de trabajos en base a las UMS estimadas:** Luego de definidas las inspecciones y agrupadas según la UMS, deberá estimarse el número de UMS que se consumirán en el período analizar. Estas deben ser además de PPPC tener un orden cronológico. El resultado es el cronograma de trabajos.

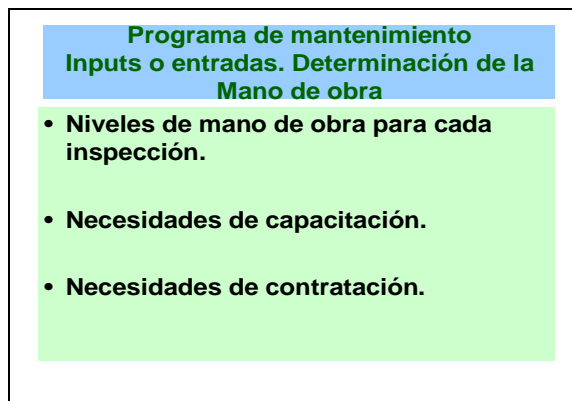


Figura 9

- **Niveles de mano de obra de cada inspección:** De acuerdo con la complejidad de cada inspección deberá asignarse la mano de obra para cada una de ella. De esta asignación se derivarán las necesidades de capacitación y de tercerización.
- **Necesidades de capacitación:** Como se dijo, según los trabajos a ejecutar se necesitará la mano de obra adecuada. Para ello debe determinarse el personal que deberá ser capacitado y un costo aproximado de esa capacitación.
- **Necesidades de contratación:** Una vez definidos los perfiles del personal que estará involucrado en las tareas de mantenimiento, podrá ocurrir que si bien algunas tareas serán hechas por personal propio, no se disponga de la (s) persona(s) con el (los) nivel (es) requerido (s). Esto requerirá la incorporación de personal nuevo. Para los trabajos que no serán llevados por personal propio, deberán especificarse los servicios que serán provistos por terceros. Según los montos estimados y procedimientos de la organización, deberán concursarse los precios (ver Herramientas y Técnicas) pero Mantenimiento debe dejar documentado cuales son las necesidades, que tipo de empresa o tercero busca y el contrato o convenio que considera más apto para formalizar.

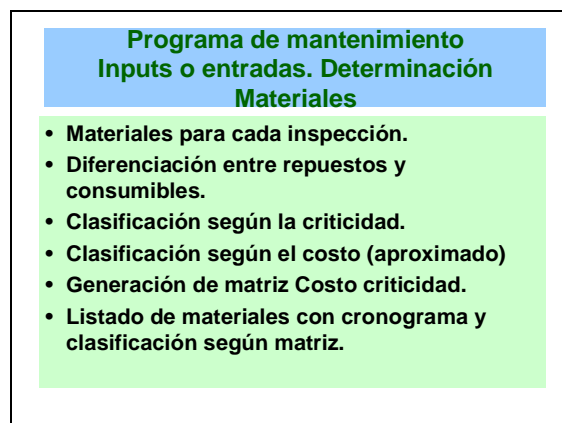


Figura 10

- **Materiales para cada inspección:** Cada inspección demandará el consumo de materiales. Algunos deberán ser sustituidos indefectiblemente, otros dependerá su reemplazo de los resultados de las inspecciones preventivas y /

o predictivas. En este paso deben listarse todos los materiales sin mayores clasificaciones.

- Diferenciación entre repuestos y consumibles:** Una vez hecha la lista de materiales, estos independientemente de que sean removidos en forma forzosa o no, corresponden a dos categorías: Consumibles y repuestos. Es conveniente realizar esta clasificación pues generalmente los consumibles tales como lubricantes, refrigerantes, filtros, etc. tienen un costo bajo y en muchas ocasiones se sustituyen por otros sin uso.
- Clasificación según la criticidad:** Para ello se definen 3 categorías: **Categoría 1:** Los fallos o colapsos acarrearán importantes contratiempos en la producción o pérdidas importantes de producción. Por esa razón deben ser sometidos a tareas de mantenimiento predictivo o a condición y debería disponerse de ellos en el inventario. **Categoría 2:** La grieta de un componente tendrá consecuencias que podrán ser subsanadas y que permitirán recuperar la producción perdida en un porcentaje importante (mayor o igual al 70%) si el costo de las inspecciones predictivas lo permiten deberán ser sometidos a ellas. A su vez, sería importante que se dispusiera de ellos en almacenes. **Categoría 3:** En este caso, la falla de un componente de este tipo tendrá implicancia nula o muy baja en la producción, por lo que sin mayores problemas puede trabajarse a la rotura. El nivel de inventario puede ser nulo o mínimo.
- Clasificación según el costo:** Este paso no constituye una cotización de materiales, pero si una aproximación de los valores del mercado. En la práctica se ponen valores sobre los cuales se va a clasificarlos. La elección de estos niveles variará según la escala del negocio, facturación de la empresa, etc. Se especifican 3 clases: **Clase A:** Elementos de alto costo, su existencia en inventario debería estar limitada a muy pocas unidades o a ninguna. **Clase B:** Elementos de costo medio, que sin llegar al nivel anterior, el valor de éstos es tal que su stock debe ser lo más reducido posible. **Clase C:** Mecanismos o componentes de muy bajo costo, la existencia de los mismos no afectará el costo del inventario aunque las cantidades sean importantes.
- Generación de matriz Costo Criticidad:** Si se analizan las dos clasificaciones por separado, se verá que por si sola, cada una dice muy poco. Por ejemplo, si un material es caro no conviene tenerlo en existencia. Pero si la falta de ese material puede ocasionar una parada de planta prolongada o el colapso de esta, el costo de disponer del componente se relativizará, Por lo que para decidir los niveles de inventario y las prácticas a aplicar, deben considerarse los 2 componentes. Criticidad y Costo con la que se elaborará una matriz cuadrada de 3 x 3. Véase la Figura 11.

|            |   | COSTO |    |    |
|------------|---|-------|----|----|
|            |   | A     | B  | C  |
| CRITICIDAD | 1 | 1A    | 1B | 1C |
|            | 2 | 2A    | 2B | 2C |
|            | 3 | 3A    | 3B | 3C |

**1A: Material de alta criticidad y alto costo:** Convendrá ser sometido tareas de mantenimiento predictivo para monitorear su condición de la manera más continua posible. Para este tipo de materiales es conveniente celebrar contratos de provisión con el proveedor. Si esto no es posible, deberá contarse en el inventario. Una forma de eliminarlo del costo del inventario es cargarlo al costo de mantenimiento y pagarse de acuerdo al tiempo que se estima su cambio.

**1B: Material alta criticidad y costo medio:** A diferencia del anterior, su costo es menor, pero no despreciable. Esto da un margen para que puedan disponerse de estos en inventario. Cuidado en la gran acumulación de materiales de esta categoría pues podrá dar como resultado un costo importante en el stock. Deben someterse a prácticas predictivas y las provisiones de éstos, en lo posible, deberá ser efectivizada a través de contratos. Si esto no es posible, se aconseja un tratamiento igual a la clase anterior.

**1C: Material de alta criticidad y bajo costo:** Si bien el material es crítico, su costo no representa una limitación para disponerse cuando sea necesario. Debido a la criticidad, no debe trabajarse a la rotura, por lo que de ser posible, deben aplicarse técnicas de predicción o prevención.

**2A: Material de criticidad media y alto costo:** si bien su escasez traerá complicaciones en la producción y los bajos volúmenes podrán recuperarse, no es conveniente que estos tengan lugar, por lo que se recomienda tratarlos de la misma manera que a los 1B.

**2B: material de Criticidad media y costo medio:** El tratamiento de éstos similar a los de la categoría anterior, con la salvedad que debido al costo menor se podría disponer de algunos en el inventario. Valen las mismas recomendaciones que para los materiales **1B**. de ser posible, sométaselos a tareas predictivas.

**2C: Material de Criticidad media y bajo costo:** Ídem 1C.

**3A: Material de baja criticidad y alto costo:** No deben disponerse de estos en stock ya que son caros y no ocasionan problemas en la producción. Pueden ser sometidos a tareas correctivas.

**3B: Material de baja criticidad y costo medio:** Ídem anterior.

**3C: Material de baja criticidad y costo medio:** Ídem anterior.

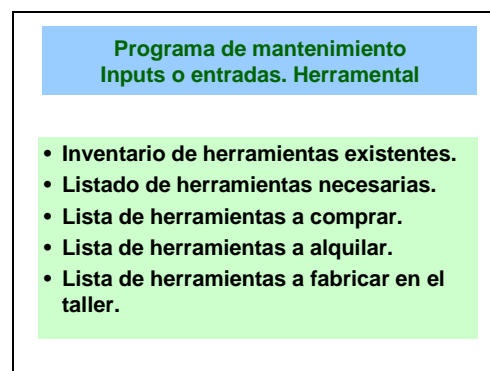


Figura 12

- **Inventario de herramientas existentes:** Es menester conocer las herramientas con las que se dispone para comenzar el plan de trabajos. No

solo la cantidad, sino el estado y la procedencia de cada una de ellas. Deberá elaborarse una planilla donde figuren estos datos.

- **Listado de herramientas necesarias:** Cada inspección de mantenimiento además de necesitar mano de obra y materiales demanda herramientas para la concreción de las actividades. La complejidad de éstas va desde simples destornilladores hasta software y hardware, pasando por analizadores de vibraciones, torquímetros, etc.
- **Listado de herramientas a comprar:** Ambas listas deben ser cruzadas para pueda elaborarse una tercera, de herramientas a adquirir. En ella debe hincarse, tipo de herramienta, código, marca y modelo o calidad necesaria.
- **Listado de herramientas a alquilar:** Existen ciertos tipos de herramientas que debido al costo, poco uso o rapidez de obsolescencia no conviene que sean adquiridas, sino rentadas a empresas que se dedican a ese rubro, tal es el caso de grúas, analizadores de vibraciones, prensas de gran porte, etc.
- **Lista de herramientas a fabricar en el taller:** Por último, existe una tercera categoría de herramientas que no son estándares y no son provistas por los distribuidores y / o fabricantes de maquinarias. Estas deben fabricarse en el taller propio o bien por terceros. Es necesario detallar cada una de estas herramientas con sus planos o croquis correspondientes, para que la fabricación corresponda a las necesidades reales. Como todo proyecto el de mantenimiento es susceptible de cambios. Existe resistencia por parte de los gerentes o jefes de mantenimiento a aceptarlos. Es de destacar que dichos cambios son perfectamente posibles, ya que también lo hacen en muchos casos las condiciones externas sobre las que no se tiene control o bien errores de cálculo o estimaciones. Muchos índices muestran estas y lo más importante, determinan parámetros relativos que muchas veces muestran la realidad sobre una primera visión absoluta, generalmente errónea. Para ilustrar esto veamos el siguiente ejemplo:

Supóngase que el costo anual de mantenimiento por toneladas de una empresa es de 200000 USD /Año. La cantidad de material estimada de producción es de 100000 TN /año, al finalizar el ejercicio, se gastó 240000 USD y la producción real fue de 200000 TN. De acuerdo con lo planificado, ¿Se estuvo por sobre lo presupuestado, igual o por debajo?

A simple vista, parecería que se gastó mas de lo presupuestado, \$ 240000 versus \$ 200000, pero los \$ 200000 eran para 100000 TN. Para ello debe analizarse el valor relativo, es decir el costo de mantenimiento y las cantidades producidas. (Se verá con más detalle en la sección correspondiente a indicadores de gestión, pero vale la pena dar una pequeña introducción). El costo de mantenimiento por unidades producidas en el presupuesto será de 2 USD / TN. En el caso real 1,20 USD / TN. Se ve que a pesar que los valores absolutos son mayores, los relativos, Costo de mantenimiento / Toneladas producidas es menor. Significa que se gastó el 67% menos.

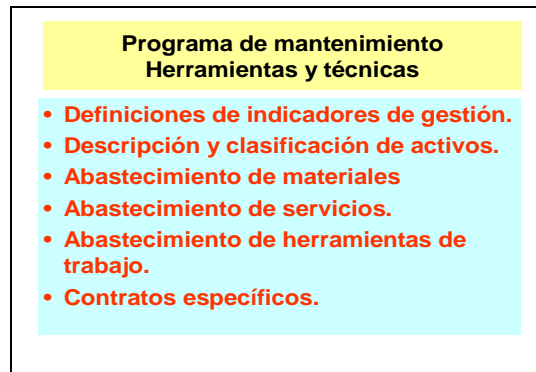


Figura 13

- **Definiciones de los indicadores de gestión:** Todo plan de trabajo debe tener indicadores que muestren su marcha. Éstos permiten visualizar el camino que está tomando la concreción, detectar las desviaciones y actuar de manera temprana sobre sus causas. Mantenimiento no es una excepción. Los indicadores que van a regir el programa deben ser definidos claramente. Una vez hecho esto, deben definirse con la misma claridad los valores mínimos y máximos admisibles: los indicadores no se limitan solamente a evaluadores de eficiencias y rendimiento, sino también a costos, seguridad, etc. Como todo proyecto el de mantenimiento es susceptible de cambios. Existe resistencia por parte de los gerentes o jefes de mantenimiento a aceptarlos. Es de destacar que dichos cambios son perfectamente posibles, ya que también lo hacen en muchos casos las condiciones externas sobre las que no se tiene control o bien errores de cálculo o estimaciones. Muchos índices muestran éstas y lo más importante, determinan parámetros relativos que muchas veces muestran la realidad sobre una primera visión absoluta, generalmente errónea. Para ilustrar esto veamos el siguiente ejemplo:
- **Descripción y clasificación de activos:** De acuerdo con el plan de producción se tendrá la lista de quipos que serán usados en el período productivo. Cada uno de éstos debe evaluarse y clasificarse según su criticidad y según el estado. De esta manera se tendrá una clara idea de la importancia y trabajos a ejecutar sobre los activos: para ello se elaborará la matriz Estado Criticidad, que se verá más adelante.
- **Abastecimiento de materiales:** Luego de definidas las inspecciones, clasificación de materiales y de activos, resta materializar las adquisiciones. Éstas deben hacerse de acuerdo con los planes de producción y mantenimiento y en lo posible eliminar la existencia de materiales en inventario que no van a ser usados en el corto plazo. Para llevar a cabo estas compras, debe recurrirse a contratos de adquisiciones que pueden ser compras programadas con entregas pactadas, compras abiertas, etc. Los proveedores de maquinarias juegan un papel relativo a la hora de comprarles repuestos, pues existen ítems que no son fabricados por el proveedor, sino adquiridos por éste a fábricas especializadas. Tal es el caso de rodamientos, turbo alimentadores, correas, contactores, lubricantes, etc. Generalmente los costos de materiales que caen en esta clase, son varias veces menores a los de la misma procedencia y calidad vendidos por el distribuidor de maquinaria. Se exceptúan materiales de equipos nuevos que estén en el período de garantía. De todas maneras, la idea es que los materiales que estén en el depósito sean los que van a usarse y no “por las dudas”. Lo descrito requiere un proceso de implementación y puesta en marcha. La compra de los materiales es

responsabilidad de la sección Compras, pero debe ser aprobada por mantenimiento. Es importante destacar un concepto: Mantenimiento puede exigir una determinada calidad, debidamente justificada. Esta justificación no debe ni puede ser hecha por una determinada marca. Por ejemplo si se solicita un lubricante, deberán especificarse sus propiedades físicas y químicas, tal como un valor del TBN, índice de viscosidad, etc. Abastecimiento comprará de los lubricantes que cumplan con lo solicitado el de menor costo (claro está que deben tenerse en cuenta otros factores como plazo de entrega, sistema de entrega, etc.)

- **Abastecimiento de servicios:** Análogamente al tratamiento de los materiales, la provisión de servicios por parte de terceros, debe quedar muy clara y acotada, asignando a los proveedores que resulten ganadores de las compulsas de precios hechas al principio del ejercicio. Deben ser correctamente detalladas por el cliente (Mantenimiento) y respetada por Abastecimiento. La adjudicación de los trabajos, si bien es responsabilidad de Abastecimiento, debe tener la aprobación de Mantenimiento (por lo menos en lo que a calidad del servicio se refiere): Deben eliminarse en lo posible, adjudicaciones directas, excepto en casos de monopolios, debidamente justificados. Por imprevistos puede disponerse de un sistema de compras abiertas para determinados proveedores.
- **Abastecimiento de herramientas:** El tratamiento de este punto es muy parecido al de materiales y servicios, por lo que no se justifica mayor extensión.
- **Contratos específicos:** Se incluyen aquellos contratos tipo MARC (Contrato de reparaciones y mantenimiento o Maintenance and repairs contract, en inglés) y se los trata por separado pues si bien son contratos de servicios, las características de éstos son tales que merecen su tratamiento aparte. Los contratos firmados bajo estas especificaciones, consisten en entregar la máquina o activo fijo al contratista generalmente el fabricante o distribuidor y por una suma acordada de UMS (horas de servicios, kilómetros, etc.) el proveedor se compromete a asegurar una disponibilidad mínima del activo. Por valores menores, el tercero deberá pagar una multa al cliente cuyo valor no es igual al del lucro cesante, pues haría inviable el contrato, sino una suma acordada. Como contra prestación, el cliente se compromete a usar la máquina un número de UMS mínima. Si las circunstancias son tales que el uso del activo resulta por debajo de la cantidad pactada, el cliente abona al proveedor el valor correspondiente al monto mínimo acordado. Estos contratos generalmente se hacen por altas sumas de dinero y existe un número importante de cláusulas preventivas y de seguridad. La materialización de estos tipos de contratos, suele tener mucho uso en operaciones mineras, petroleras, empresas navales, etc.

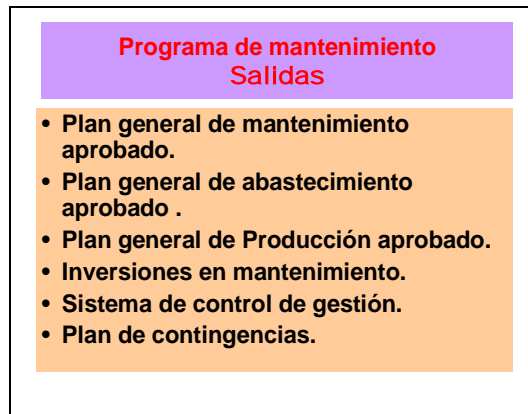


Figura 14

- **Plan general de mantenimiento aprobado:** El plan de mantenimiento debe ser un documento escrito donde figuren las tareas, materiales, mano de obra, Herramientas, contratos de terceros, alquileres de equipos, etc. deben disponerse los costos asociados a cada componente y el general. Además debe expresarse el costo del mantenimiento en función de los bienes y servicios a producir, en función del costo del activo nuevo, los índices de seguridad que se consideren mínimos, disponibilidad mínima, confiabilidad mínima, inversiones necesarias, definición de todos los índices de gestión con sus correspondientes valores mínimos admisibles, plan de contingencias. Deberá ser firmado por el gerente de mantenimiento, como principal responsable del conjunto del programa, gerente de compras o abastecimiento en lo que a provisión de materiales y servicios se refiere y el gerente de producción por las cantidades a fabricar o producir. Luego será aprobado por el directorio o alta gerencia y a partir de ese momento, tendrá validez legal.
- **Plan general de abastecimiento aprobado:** Al igual que el documento anterior, deberá ser hecho por escrito y quedar totalmente explicitados materiales y servicios a adquirir, modalidades, contratos, plazos de entrega, precios pactados y pagados, valores de compra esperados, fórmulas de corrección por inflación, valor esperado del dólar, justificación de la elección de ese valor, índices de gestión de abastecimiento, valores mínimos permisibles, etc. Deberá estar firmado por el gerente de compras como principal responsable y por los gerentes de mantenimiento y producción como apoyo del plan de abastecimiento. Deberá ser aprobado por la alta gerencia o directorio.
- **Plan general de producción:** Este es otro documento en el cual deben figurar todas las modalidades de producción, cronograma, calidades, normas internacionales a cumplir tareas de apoyo, índices de control de gestión, etc. Deberá ser firmado por el gerente de producción y refrendado por los gerentes de abastecimiento y mantenimiento, elevado a la alta gerencia para su aprobación final.
- **Inversiones de mantenimiento:** Con el objeto de cumplir lo programado, se generarán necesidades de bienes que no se consumirán en un ejercicio sino que tendrán vida útil por períodos más largos, Estos bienes constituirán lo que se denominan inversiones de capital o simplemente inversiones. La presentación de estos proyectos deberá hacerse mediante un documento escrito en el que se especifiquen las hipótesis que dan lugar a la inversión, las fuentes con las que se hicieron los cálculos financieros, la obtención del flujo

de caja, TIR VPN y el intervalo de repago. Deberá ser presentado por el gerente de mantenimiento a la alta gerencia para su aprobación.

- **Sistema de control de gestión:** Aunque ya se mencionó en todos los otros ítems, cada sección o gerencia involucrada deberá definir sus índices de control de gestión con sus respectivos valores mínimos admisibles. En lo que a mantenimientos se refiere, se definirán los más importantes.
- **Plan de contingencias:** Si bien este no es un programa que esté al alcance del gerente de mantenimiento o de los gerentes de área, debe ser previsto por la alta gerencia ante imprevisto o que pudieran surgir, tales como inundaciones, temblores, huracanes, etc.

No es el objetivo de este trabajo indagar sobre la implementación del plan de mantenimiento, sino dejar las pautas claras de por qué se genera la necesidad de un plan de mantenimiento, dar los lineamientos sobre los cuales deberá basarse el programa.

En el ejemplo que se detalla, puede verse que un plan de mantenimiento consiste en un conjunto de tareas destinadas a lograr que la calidad de producción de un bien o servicio sea la más alta posible, para ello es menester combinar un sinnúmero de técnicas de manera que cada componente del activo sometido a un programa racional y efectivo posea la atención adecuada, yendo de prácticas predictivas y / o detectivas a correctivas.

### **Ejemplo:**

Un caso típico que puede ilustrar lo expuesto es el de un motor de combustión interna. Las tareas de mantenimiento van desde medición de niveles hasta su recorrida general. Supóngase que se tiene el plan que se esboza en la figura 5.

| Tipo de inspección        | Tarea de mantenimiento                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10 horas o diaria         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- A y E: Inspeccionar el filtro de aire y tuberías.</li> <li>- Básico: Inspección visual por derrames o fugas.</li> <li>- Lubricación: Medición del nivel de aceite.</li> <li>- Refrigeración: Nivel de refrigerante.</li> <li>- Eléctrico: Nivel del electrolito de batería, funcionamiento de alternador y motor de arranque.</li> <li>- Transmisión: desgaste de correas.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                         |
| 250 horas o mensual       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Inspección anterior.</li> <li>- Básico: lavado general.</li> <li>- Combustible: Lavado de prefiltro, cambio de filtros de combustible.</li> <li>- Lubricación: Cambio de lubricante y filtros de lubricantes.</li> <li>- Refrigeración: Cambio de filtros de refrigerante.</li> <li>- Eléctrico: Batería: control de la densidad del electrolito. Alternador y motor de arranque: inspección de conexiones.</li> </ul>                                                                                                                                                                        |
| 500 horas o bimestral     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Inspecciones anteriores.</li> <li>- A Y E: Medición de la presión de carga del turbo.</li> <li>- Superior: Reglaje de válvulas.</li> <li>- Refrigeración: Medición de concentración de anticorrosivo.</li> <li>- Transmisión: Inspección de los engranajes de la distribución.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 2000 horas o semestral    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Inspecciones anteriores.</li> <li>- A Y E: Cambio de los filtros de aire. Medición de juegos axial y radial del turbo. Prueba de presión del enfriador de aire.</li> <li>- Superior: Reglaje de válvulas.</li> <li>- Combustible: Medición de la presión de la bomba de alimentación. Cambiar discos de acople de bomba inyectora.</li> <li>- Lubricación: Termostato de aceite: Control.</li> <li>- Refrigeración: Prueba de presión de la tapa del radiador. Reparación de bomba de agua. Termostato: Control.</li> <li>- Eléctrico: Servicio de alternador y motor de arranque.</li> </ul> |
| 4000 horas o anual        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Inspecciones anteriores.</li> <li>- A y E: Reparación integral del turbo.</li> <li>- Básico: Verificación de la presión de compresión del motor.</li> <li>- Combustible: Calibración de bomba inyectora y control de inyectores.</li> <li>- Lubricación: Cambio termostato de aceite.</li> <li>- Refrigeración: Cambio de líquido refrigerante. Cambio de termostato. Cambio de cojinete del cubo del ventilador.</li> </ul>                                                                                                                                                                  |
| 8000 horas o bianual      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Inspecciones anteriores.</li> <li>- Ay E: Desmontaje de m de a y e, cambiar espárragos de fijación. Cambio de abrazaderas y flexibles.</li> <li>- Básico: Aros de motor: Cambiar. Cambio de bujes de árbol de levas, control del mismo</li> <li>- Superior: Cambio de válvulas de admisión y escape, resortes de válvulas, guías y asientos. Prueba hidráulica de T/C. Verificación de árboles de balancines y balancines.</li> <li>- Lubricación: Reparación de bomba de aceite. Válvulas by pass: Cambiar. Desmontaje y control del enfriador de aceite.</li> </ul>                         |
| 16000 horas o tetra anual | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Inspecciones anteriores.</li> <li>- Básico: Reparación integral del motor. Camisas cambio y / o rectificación, según corresponda. Cambio de pistones. Cigüeñal: rectificar si corresponde, inspección al magnaflux.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

Figura 15

En los cuadros siguientes puede verse el cronograma del plan.

**Año 1:**

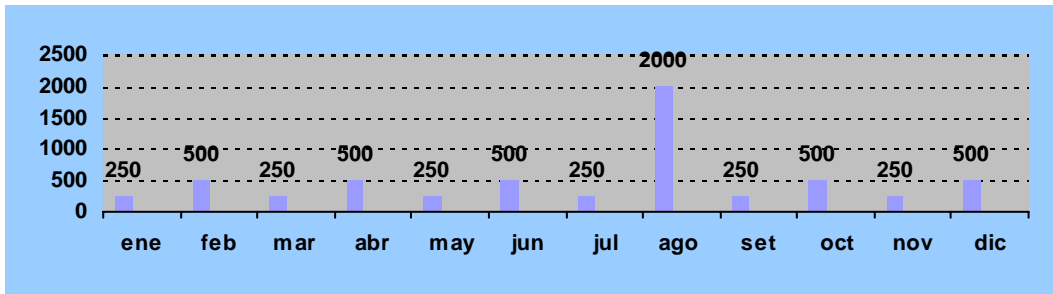


Figura 16

**Año 2:**

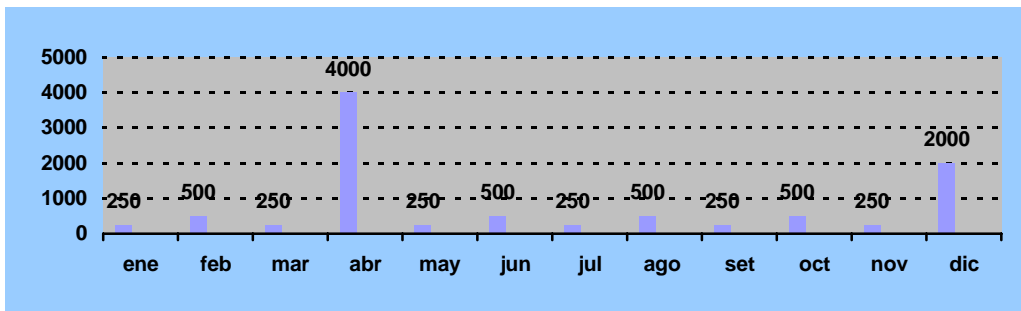


Figura 17

**Año 3:**

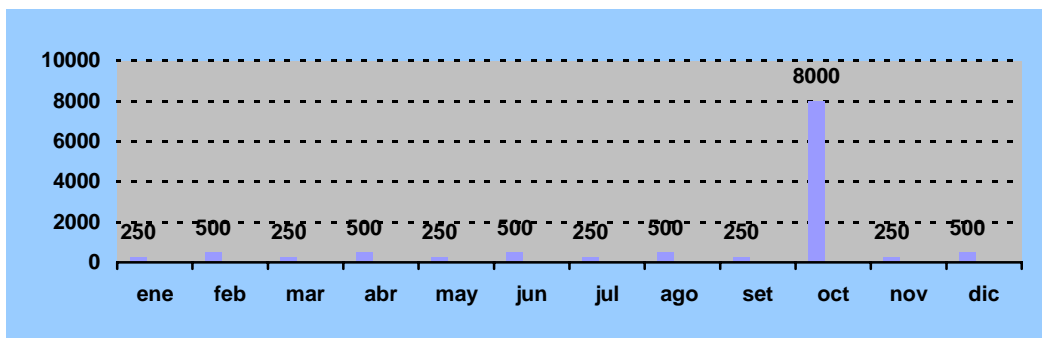


Figura 18

Las inspecciones diarias y mensuales son netamente preventivas y abarcan controles y cambios que no pueden obviarse y poseen un LVU determinado, tales como remociones de filtros y lubricantes. En la inspección 500 horas o bimestral se introdujo el análisis de la presión de carga del turbo alimentador y la inspección de los engranajes de la distribución. La primera tiene por objeto obtener información del estado de ese componente y la en la segunda debe desmontarse la tapa de distribución para inspeccionar el estado de los engranajes. Si se implementa un análisis de lubricante cada 1000 horas, y de éste surge que el motor no posee

contaminantes metálicos, significa que el desgaste no es importante. En ese caso no convendría destapar la distribución del motor. Si el mismo análisis demuestra que existe un alto contenido de sílice, será menester buscar la causa, que probablemente sea una manguera de aire con pérdidas o roturas, un filtro defectuoso, etc. Una vez encontrada y solucionada, deberá conocerse el real estado del motor, para lo que existen dos caminos, abrir la unidad motriz e inspeccionar los elementos que pudieron haberse dañado o, sin desarmar la unidad, recurrir a otras técnicas de mantenimiento predictivo tal como estudiar la compresión en el cárter de aceite. Si la presión se encuentra entre los valores adecuados dados por el fabricante, el desgaste no es representativo y el motor puede seguir trabajando sin mayores problemas. Asimismo, con sucesivos análisis se podrán obtener tendencias del desgaste normal, detectar anomalías tales como fallas de lubricante, desgastes prematuros, obtener la curva de desgaste, extrapolar y decidir el momento de llevar a cabo una intervención en el sistema analizado. Lo más importante de este complemento radica en que puede darse con muchísima exactitud un diagnóstico precoz, detectar las causas de una manera precisa y real y establecer las soluciones adecuadas en tiempo y forma. A las 8000 horas, está prevista la reparación de la parte alta del motor. Con la componente de mantenimiento predictivo materializada a través de análisis, mediciones, etc. podrá saberse a ciencia cierta el estado de los componentes que de no haber recurrido al complemento predictivo, se hubiesen desmontado independiente del estado real del motor.

Por otra parte, otros componentes no son plausibles de análisis preventivo y /o predictivo, tal es el caso de un sensor de temperatura, se remueve cuando deja de funcionar, aunque a veces para un mayor control, puede duplicarse el número de indicadores. En este caso particular podría disponerse un indicador mecánico y otro eléctrico para comparar sus mediciones, debe tenerse en cuenta que el operador se compromete a estar lo suficientemente preparado como para hacer las dos lecturas, analizarlas y decidir acerca del buen funcionamiento de cada indicador. El costo del elemento es bajo, no aumenta los niveles de inventario y en muchos casos no justifica la implementación de un sistema que analice su funcionamiento a través del tiempo, que, por otra parte, es muy difícil. No debe confundirse el sensor con el resto del sistema eléctrico que sí debe ser sometido a inspecciones preventivas y / o predictivas para conocer su real estado.

## **Conclusiones**

Si bien los desembolsos del MP representan costos, en el largo plazo constituyen ahorro de dinero que se capitaliza con la continuidad operativa del equipo de producción, proveyendo además a la empresa, un buen coeficiente de seguridad para el personal asociado a las tareas de producción y mantenimiento, lo que provoca disminuciones en los costos de los aportes de la organización a las ART, menor índice de ausentismo por accidentes de trabajo, disminución de los indicadores de accidentes y gravedad, menor caudal de juicios laborales y civiles, etc. Por otra parte, un equipo bien mantenido asegura el uso correcto de la energía, conservación del medio ambiente y tiene directa incidencia en la calidad de los bienes o servicios que la empresa produce o brinda. El programa de mantenimiento debe ser realizable y la implementación del mismo debe partir de las más altas esferas de la compañía. Debe ser tomado como una política empresarial. Pues ante todo significará un cambio en la manera de pensar y actuar del personal involucrado.

Como puede deducirse de lo expuesto, no solo el personal técnico está involucrado en la elaboración de un programa de mantenimiento. Sino que comprende a todos los sectores, desde la alta gerencia, pasando por abastecimiento, contabilidad y finanzas, sistemas, higiene y seguridad industrial, y,

por supuesto, personal de mantenimiento. Cada una de las secciones debe comprometerse en sus objetivos específicos para que el conjunto pueda alcanzarlos sin mayores problemas.

Otro punto importante de destacar es que si bien la alta gerencia debe tomar la implementación del programa de mantenimiento como política propia, la elaboración del programa no debe ser impuesto por ésta u otras gerencias al personal subalterno. Sino que debe partir de los operadores y personal que está en contacto cotidiano con los activos, enriquecidas por los aportes de los supervisores, jefes y gerentes de área. De esa manera el plan podrá satisfacer las necesidades partiendo de las más básicas que por otra parte, son cotidianas. Dicho de otra manera:

**Mientras la implementación del programa de mantenimiento debe partir de la alta gerencia y llegar los trabajadores pasando por gerentes, jefes, supervisores y capataces, la elaboración del plan debe generarse en los trabajadores y llegar a la alta gerencia.**

Autor: **Rubén Eduardo Klimasauskas**

Ingeniero Aeronáutico. Universidad Nacional de la Plata. 1989  
Maestría en Administración de Negocios: Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, en curso.  
Gestión de Mantenimiento en empresas de producción y servicios: Universidad Nacional de Mar del Plata. En curso.  
Project Management: Universidad de Belgrano. Finalizado y Aprobado. Diciembre de 2005.  
Ingeniería y gestión del Mantenimiento. Universidad Austral May 04-Jun 05. Finalizado y aprobado.  
Maestría en Administración de Negocios: Universidad de Belgrano / Universidad Católica de Salta. 1996.

## Bibliografía:

- **Lourival Augusto Tavares**, “**Administración moderna del mantenimiento**”, Novo Polo Publicacoes, 1999, Río de Janeiro, Brasil.
- **Edwin Kreyszig**: “**Matemáticas avanzadas para Ingeniería**”, versión en español de José Hernán Pérez Castellanos, tercera reimpresión, México 1994.
- **Ken Blanchard & Sheldon Bowles**, “**Raving fans. A Revolutionary Approach to Customer Service**”. William Morrow and Company, New York, USA. 1993.
- **Rupert Booth**: **Como controlar sus gastos generales**. Ediciones Folio SA, España, 1994.
- **Tizio Raúl**: “**Filosofía del Mantenimiento Preventivo**”. Sociedad Argentina de Organización Industrial; Buenos Aires 1970.
- **John Murbay**: “**Reliability Centered Maintenance**”, Butterworth Heinemann Ltd. Oxford, England, 1991.
- **Luís Améndola**: “**Modelos mixtos de confiabilidad**”, Valencia, España, 2002.
- **Mohamed Zairi**: “**Administración de la calidad total para ingenieros**” Primera edición en español, Editorial Panorama, México 1993. **Oswaldo César Bellettini**. **Ingeniería Económica** Tomo I Editorial CEILP, La Plata 1988.
- **Gabriel Baca Urbina**. **Evaluación de Proyectos**. Tercera Edición. MC Graw Hill 1995.
- **Leland T. Blank & Anthony Tarquin**. **Ingeniería Económica**. Tercera Edición. Mc Graw Hill. 1997.
- **The Project Management Body of Knowledge’s Guide (PMBOK)**. Third edition, Project Management Institute, Newtown Square, PA . 2004.

