

MODELO GESTION DEL TRABAJO ACUMULADO

César Arróspide M.

Maintenance Engineering Ingeniería Ltda., Chile

RESUMEN

El presente trabajo presenta una revisión de la gestión del trabajo acumulado como parte integral y fundamental de la función de mantenimiento, lo que no se entiende única y exclusivamente como trabajo no realizado en su totalidad, sino que también hace referencia al trabajo incompleto o hecho a medias, es decir, las labores importantes que dejamos para más tarde, por realizar acciones urgentes determinadas o tipificadas así en una forma subjetiva y errónea. En general, la acumulación se debe a la falta de seguimiento y a la improvisación de trabajos debida a una inadecuada planeación causada por dos aspectos principalmente; el no trabajar bajo ningún tipo de metodología gerencial para el mantenimiento y el no haber definido prioridades a los trabajos, apoyados en modelos de criticidad objetivos.

Toda anomalía detectada a un equipo y/o componente que no amerita ser corregida de inmediato y que puede ser programada su intervención, se considera como una actividad de reparación pendiente, denominada Backlog. La oportuna generación permite establecer las condiciones de corrección antes de que se produzca la falla. Cabe destacar que a medida que un Backlog permanece en el sistema, sin ejecutarse el trabajo requerido, la tasa de falla del equipo se incrementa en el tiempo.

El trabajo realiza una revisión de la gestión del trabajo acumulado como parte integral y fundamental de la función de mantenimiento. Se muestra que la gestión de Backlogs debe ser la "fuente de captura" única de todos los desperfectos detectados, diferidos y comunicados, y la herramienta de gestión para conducir/guiar las rutinas de mantenimiento a través del análisis de sus indicadores y costos asociados. Se entrega una metodología de estructura del sistema de gestión de Backlogs, a través de la cantidad de estados considerados en el proceso y la construcción de un Modelo de Markov asociado para su mejor entendimiento. Adicionalmente se muestra que un factor crítico en la gestión es la priorización de los trabajos, para lo cual se plantea un procedimiento considerando no sólo la edad de los trabajos detectados, sino que también la comparación de sus costos con la finalidad de determinar la estrategia óptima para la realización del requerimiento de trabajo.

ABSTRACT

This paper conducts a review of the backlog management as an integral and fundamental function of maintenance. It shows that management Backlogs must be the "source capture" one of the problems detected and reported deferred, and the tool management to guide the routine maintenance through analysis of indicators and costs. A methodology is delivered for structuring the management system of the backlog at through the number of states considered in the process and the construction of a Markov Model for better understanding. In addition we show that a critical factor in managing the prioritization of work, which is a procedure not only considering with the age of found work, but also to compare their costs with the aim to determine optimal strategy for implementing the work requirement.

INTRODUCCIÓN

La acumulación de trabajo no se entiende única y exclusivamente al trabajo no realizado en su totalidad, sino que también hace referencia al trabajo incompleto o hecho a medias [5], es decir, las labores importantes que dejamos para más tarde, por realizar acciones urgentes determinadas o tipificadas así en una forma subjetiva y errónea al interior de las compañías. En general, la acumulación se debe a la falta de seguimiento y además a la improvisación de trabajos debida a una inadecuada planeación causada por dos aspectos principalmente; el no trabajar bajo ningún tipo de metodología gerencial para el mantenimiento (TPM, RCM, etc.) y el no haber definido prioridades a los trabajos, apoyados en modelos de criticidad objetivos [5].

Toda anomalía detectada a un equipo y/o componente que no amerita ser corregida de inmediato y que puede ser programada su intervención, se considera como una actividad de reparación pendiente, denominada Backlog [1]. Existen numerosas definiciones de Backlogs, como por ejemplo: *Trabajo de mantenimiento planeado esperando ser programado*, *Trabajos no completados en la debida fecha*, entre otras. Un hecho relevante es que la definición usada en una compañía, sea conocida por toda la organización, para evitar ambigüedades y garantizar que un requerimiento de trabajo sea autorizado convirtiéndose en una orden de trabajo [3].

La generación de Backlog puede ser realizada por cualquier persona que detecta una anomalía en un equipo, y el único requisito que debe cumplir, es presentar los antecedentes en un formato llamado Formulario de Backlog. La oportuna generación de Backlogs significa evaluar una anomalía del equipo y establecer las condiciones de corrección antes de que se produzca la falla. Los Backlogs pasan por varios estados al interior del área de mantenimiento, a saber: se deben generar e ingresar al sistema de administración, validar y/o corregir, completar con los repuestos requeridos, programar y ejecutar bajo una priorización entregada por el área de Ingeniería de Mantenimiento, como se muestra en la Figura 1 [1].

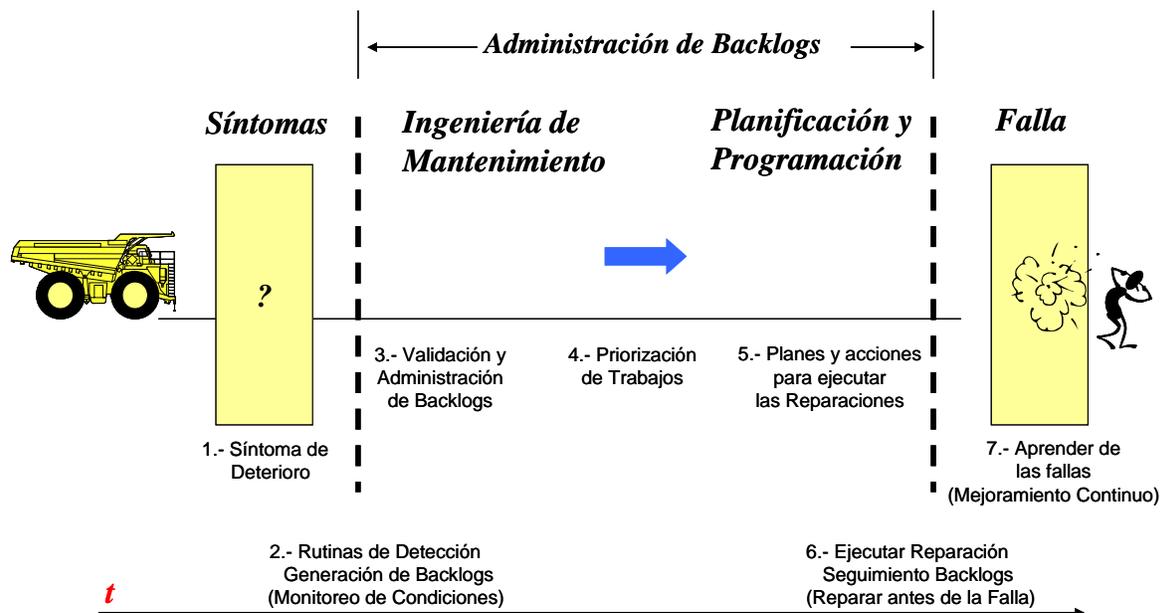


Figura 1: Proceso administración del trabajo acumulado

Los objetivos planteados para este trabajo son realizar una revisión de la gestión del trabajo acumulado como parte integral y fundamental de la función de mantenimiento. Se realizó una clasificación de los Sistemas de Administración de Backlogs, en relación a los posibles estados que utilizan las organizaciones para la administración del trabajo acumulado y las posibles configuraciones que son factibles y su relación con una Cadena de Markov Continua asociada. A partir del modelo de Markov se encontraron las probabilidades estacionarias para el caso de un sistema de administración del trabajo acumulado con 7 estados como el que se muestra en la siguiente Figura 2.

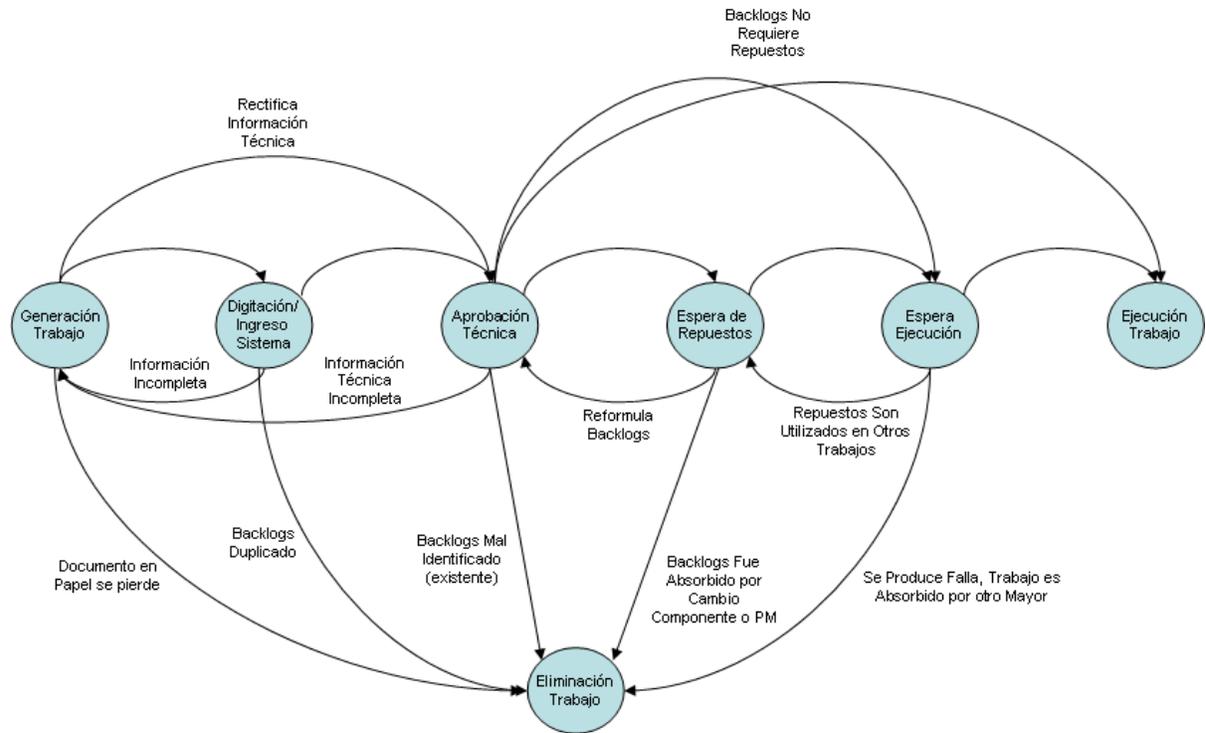


Figura 2: Configuración factible para 7 estados de la administración backlogs

El modelo empleado corresponde a una Cadena de Markov en tiempo continuo, comúnmente utilizada en el ámbito de la Investigación de Operaciones para describir y predecir el comportamiento de ciertos sistemas bajo condiciones de incertidumbre a través del tiempo. La utilización de estos modelos ha resultado adecuada para modelar dinámica de poblaciones, sistemas de espera, control de inventarios, mantenimiento y reemplazo de equipos y en apoyo a la toma de decisiones en administración, ingeniería y medicina entre otras [7, 10, 11, 12].

En general, las técnicas utilizadas actualmente para optimizar la gestión del mantenimiento, son clasificadas en dos grandes grupos:

- Métodos basados en minimización de funciones objetivos a partir de métodos de programación lineal y no lineal
- Métodos basados en Modelos de Markov

Un modelo de Markov es una representación gráfica que consiste de nodos (o estados) y de arcos (o transiciones entre estados), como la representada en la Figura 2. La hipótesis crucial en un modelo

de Markov es que el sistema está completamente especificado por los nodos, y que la historia pasada del sistema es irrelevante para transiciones futuras. Así, por ejemplo; el envejecimiento puede ser representado al discretizar la vida del componente en estados separados y estimando las probabilidades de transición entre ellos. Intervenciones que dejen el equipo *como nuevo* pueden ser representadas por una transición al primer estado discretizado. Gertsbakh (1977) entrega una lista de problemas de optimización de mantenimiento resueltos con modelos de Markov. Este tipo de modelos provee una representación simple que permite estimar la función objetivo como una función de las variables de decisión sin tener que realizar simulaciones de Monte Carlo o integraciones múltiples sobre todos los eventos posibles (horizonte finito de análisis).

Por último, se muestra que a partir de la definición del modelo de Markov que realice una organización es posible determinar una ecuación de inventario del trabajo acumulado, y extraer indicadores de gestión para medir la eficiencia del área de mantenimiento, y que a medida que se enriquece el modelo la calidad de los indicadores es mayor, en relación a la focalización de los problemas en las respectivas áreas involucradas. Además se realizó un procedimiento de priorización de criticidad objetivo, incorporando el análisis de costos de los trabajos y las posibles estrategias de mantenimiento a seguir para la concreción del requerimiento de trabajo.

METODOLOGIA

Se realizó una revisión bibliográfica y una investigación en terreno en distintas compañías, principalmente Mineras, para observar la forma de como están llevando la administración del trabajo acumulado. A partir de esta información se diseñó el proceso de Administración de Backlogs a nivel 2 (para 7 estados), utilizando la metodología de documentación ISO 9001:2000, con la finalidad de tener un claro conocimiento de las tareas, roles y responsabilidades que envuelven cada uno de los estados [2].

Utilizando esta información se construye el Modelo de Markov Continuo asociado a los estados de la administración del trabajo acumulado, se estudian las posibles configuraciones y se realiza una clasificación en relación a la cantidad de estados utilizados para la gestión. Aplicando la teoría de Cadenas de Markov [7] se dan respuesta algunas preguntas naturales que se presentan en este tipo de modelos. Se realizaron pruebas computacionales utilizando la aplicación MATLAB para la obtención de las probabilidades de transición en el largo plazo con la finalidad de observar la consistencia del modelo planteado.

Se realiza un análisis de las técnicas de priorización de trabajos, con la finalidad de plantear un modelo de gestión reducido para la priorización del trabajo acumulado.

RESULTADOS Y DISCUSION

Pocas herramientas son tan útiles para administrar la cantidad de trabajo de mantenimiento y su eficiencia como la Administración de Backlogs. Claro esta, que en muchas compañías hoy en día la administración de Backlogs debe ser mejorada, pues ellas están generalmente ahogadas en sus propios datos teniendo efectos dramáticos en la entrega del servicio de mantenimiento. Aunque la situación puede parecer aleatoria y caótica, existen varios síntomas comunes de una mala administración de Backlogs, como: órdenes de trabajo duplicadas (con efectos en el re-orden de

materiales, partes, y esfuerzos adicionales de planificación), no estandarización de textos en el ingreso al formato de backlogs, no indicación de los requerimientos de recursos, mala codificación de ordenes de trabajo, repuestos, y herramientas entre otras, poca focalización sobre prioridades, muchas ordenes de trabajo no priorizadas, muchas tareas no guardadas en el sistema de backlogs, y trabajos no requeridos [2, 4].

El objetivo de la gestión del trabajo acumulado es: *Ser una contribución clave a las tareas de Mantenimiento y Reparación dirigiendo proactivamente el trabajo hacia las reparaciones antes de falla para concordar con las metas de desempeño de Mantenimiento* [1].

En general, se deben aprovechar las detenciones programadas como las no programadas para inspeccionar los equipos (ventana de oportunidad), detectar anomalías y generar Backlogs. Los operadores, técnicos e inspectores deben ser los principales generadores de Backlogs. El área de Planificación y Programación debe utilizar intensivamente las ventanas de oportunidades para programar la ejecución de los Backlogs, y mantener un control exhaustivo del status de los mismos.

Existen organizaciones que utilizan la gestión de Backlogs con tres, cuatro y más estados. La Tabla 1 muestra las posibles configuraciones que se presentan en general en las compañías para la Administración de Backlogs. Las cuales tienen sus ventajas y desventajas en relación al número de tareas, roles y responsabilidades que contiene cada estado.

Tabla 1: Posibles configuraciones para la administración de backlogs

3 Estados	4 Estados	5 Estados	6 Estados	7 Estados
Generación Espera Repuestos Espera Ejecución	Generación Espera Repuestos Espera Ejecución Eliminación/Ejecución	Generación Aprobación Espera Repuestos Espera Ejecución Eliminación/Ejecución	Generación Aprobación Espera Repuestos Espera Ejecución Ejecución Eliminación	Generación Digitación Aprobación Espera Repuestos Espera Ejecución Ejecución Eliminación

Notemos que en la clasificación de 4 y 5 estados, hemos considerado el Estado Eliminación/Ejecución, haciendo alusión que hay organizaciones que consideran sólo el estado Ejecución y no el de Eliminación, quedando estos backlogs históricamente en la base de datos de los equipos, he inversamente el Estado Eliminación por sobre el de Ejecución.

En general, el inventario del trabajo acumulado para estas configuraciones es posible de obtener con la expresión:

$$P_t = P_{t-1} + G_t - EJ_t - E_t \quad t = 1, \dots, n \quad (1)$$

donde: P_t = Cantidad de Backlogs pendientes, G_t = Cantidad de Backlogs generados, EJ_t = Cantidad de Backlogs ejecutados, E_t = Cantidad de Backlogs eliminados, en el periodo t. Con esta expresión (recursiva), suponiendo $P_0 = 0$, podemos calcular indicadores generales, tales como: Total Backlogs Pendientes, Generados, Ejecutados y Eliminados por periodo, equipo, sistema, componentes, etc. Cabe destacar (suponiendo una configuración de 7 estados) que los

Backlogs pendientes del periodo anterior ingresados al sistema de administración se distribuyen en forma aleatoria en los estados de Digitación (d_t), Aprobación (a_t), Espera de Repuestos (er_t) y Espera de Ejecución (ee_t). Entonces podemos escribir:

$$P_t = d_t + a_t + er_t + ee_t \quad t = 1,2,3,\dots \quad (2)$$

A partir de (2) es posible determinar otros importantes indicadores de gestión como: el nivel de servicio del área de digitación, la cantidad de horas – hombres necesarias para realizar el total de trabajo acumulado, las horas – máquinas requeridas que tienen su efecto inmediato en la disponibilidad, el nivel de servicio de bodega, entre otros. Nótese que si se consideran menos estados, la ecuación 2 se reduce, obteniéndose indicadores menos confiables y/o focalizados. Con esto podemos construir informes como los de la Figura 3, para tener una mejor apreciación de la gestión del trabajo acumulado.

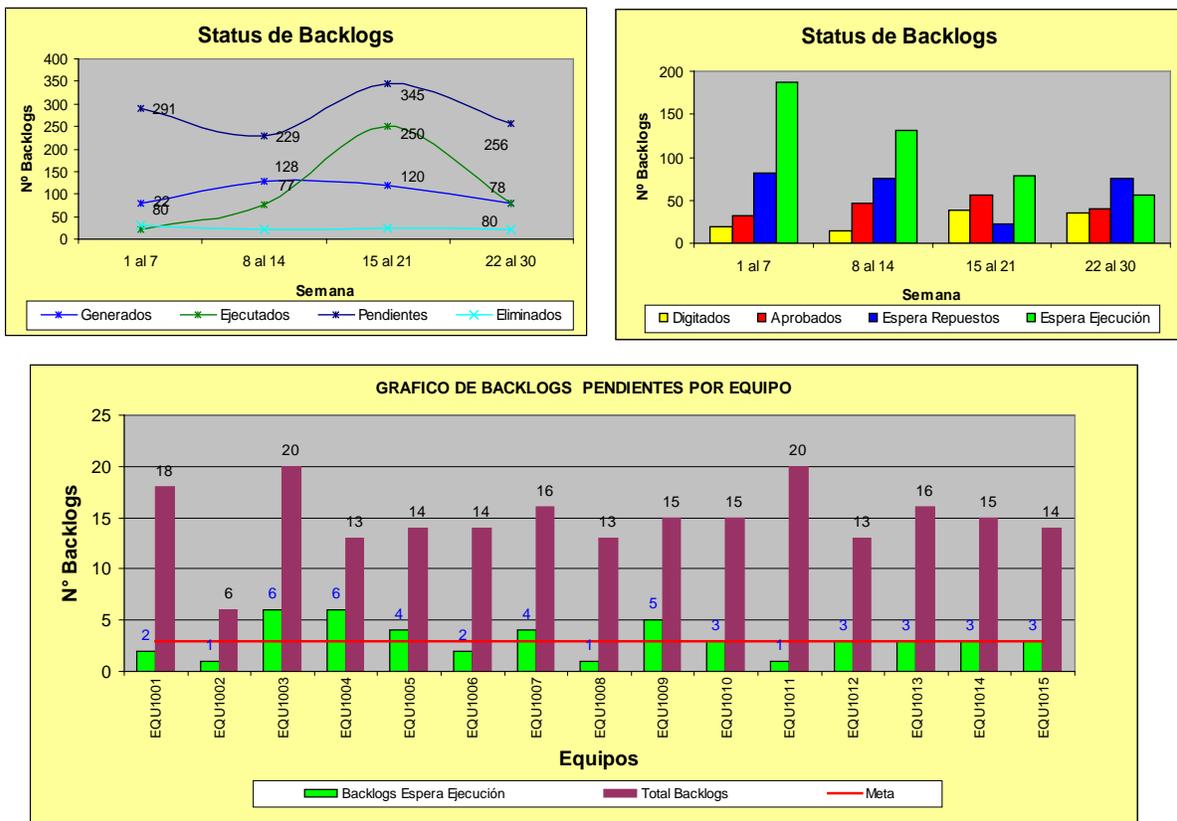


Figura 3: Informes Genéricos de la Administración de Backlogs

Por otra parte, para responder otras preguntas naturales que nacen de la gestión de Backlogs, introducimos el concepto de Cadena Markov. El estado del sistema en el instante t es denotado por $X(t)$, y estamos interesados en estimar la probabilidad de que el sistema este en un estado específico en un instante t . La hipótesis crucial que estamos utilizando es que el sistema esta completamente especificado por los estados (nodos), y que la historia pasada del sistema es

irrelevante para las transiciones futuras. Considerando la Tabla 1, vemos que existen varias configuraciones para la Cadena de Markov asociada al modelo que tienen su efecto en la forma de administrar el trabajo acumulado, y que a su vez existen varios casos factibles en cada una de estas configuraciones de ser implementadas o usadas por las organizaciones, un ejemplo de esta será presentada en el caso de estudio más adelante.

Un elemento fundamental es tener un criterio de priorización para el análisis de Backlogs, lo cual ayuda a reducir los niveles de acumulación de trabajo. Dicha priorización de actividades acumuladas, suele hacerse bajo un criterio de antigüedad o envejecimiento del servicio requerido, o utilizando alguna matriz de riesgo, o algún número de decisión construido con algunas variables de riesgo, consecuencia, probabilidad de falla y tiempo, entre otras [5, 6]. Todas estas formas de priorización no se encuentran asociadas a una estrategia de mantenimiento. A continuación se presenta un procedimiento para la toma de decisiones en la administración del trabajo acumulado, Figura 4:

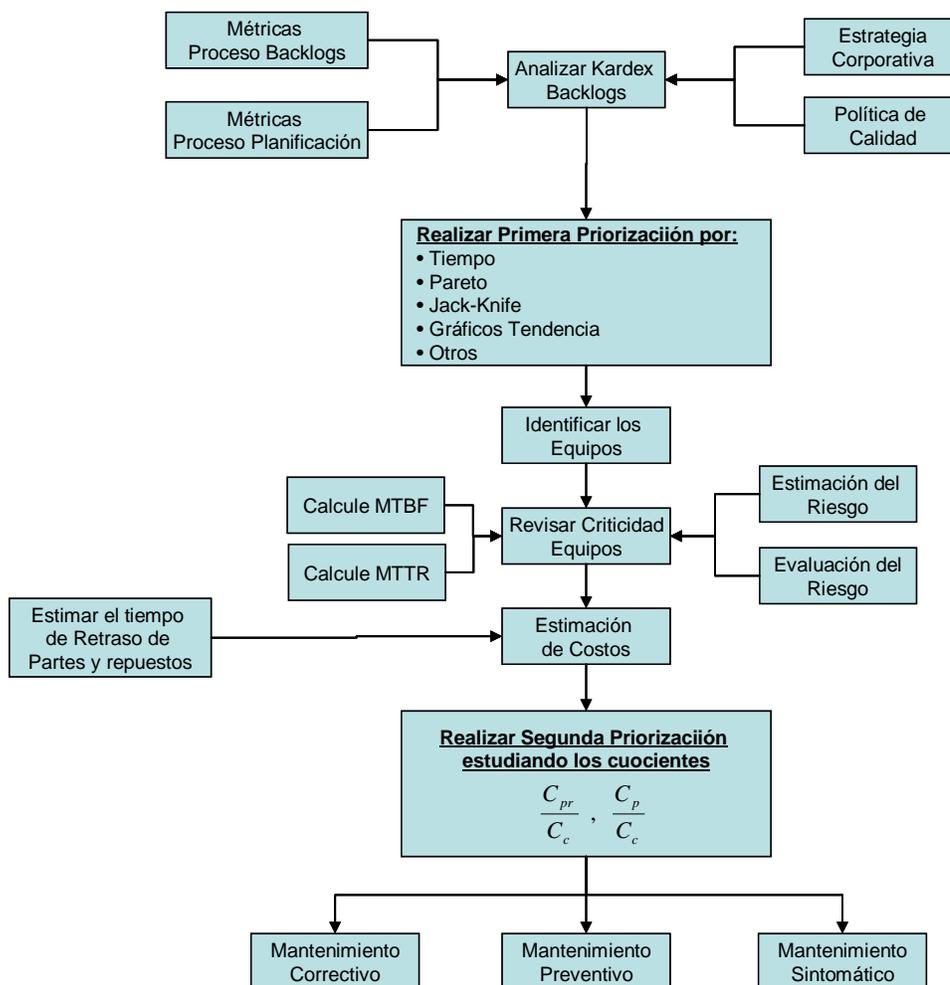


Figura 4: Procedimiento priorización de backlogs

ESTUDIO DE CASO

Como un ejemplo a lo expuesto anteriormente, consideremos la configuración para 5 estados entregada en la Tabla 1, entonces podemos tener los siguientes casos o situaciones factibles presentadas en la siguiente Figura 5.

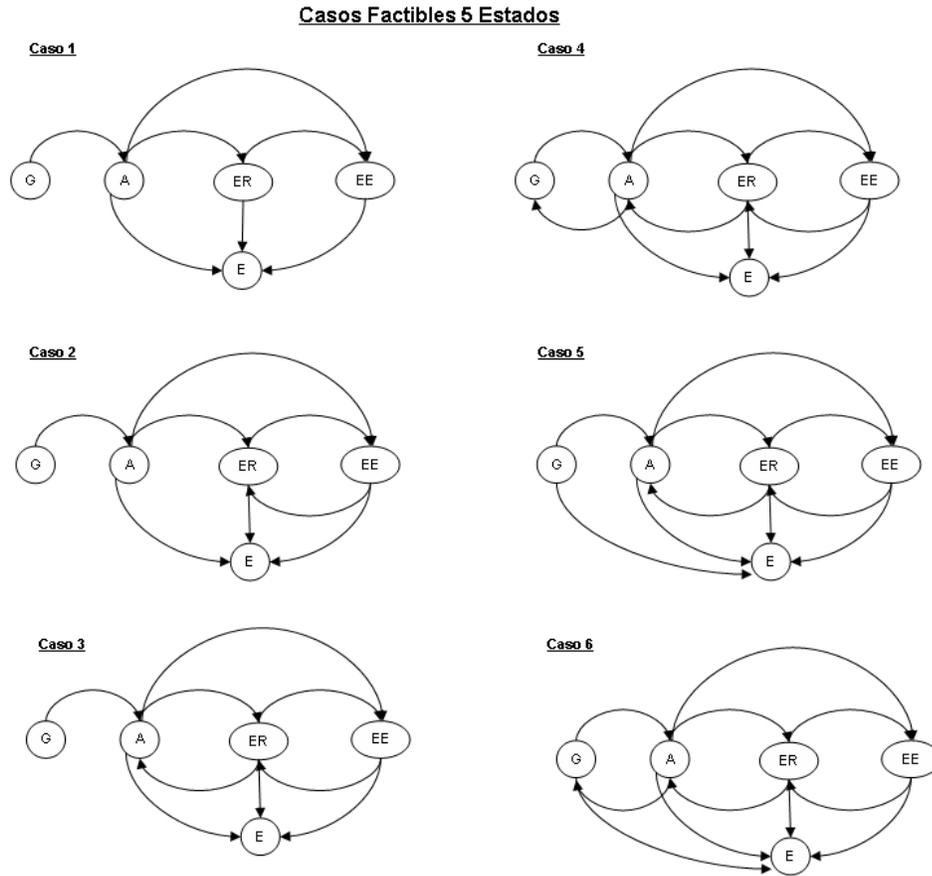


Figura 5: Configuraciones factibles para 5 estados

En este caso se incorpora el estado de Aprobación de los Backlogs generados mostrados en la Tabla 1. Una vez generados los Backlogs son ingresados inmediatamente al sistema de administración por los generadores (ya sea manualmente, por dispositivo de OT electrónica o digitadores no identificados por la configuración actual). En los casos 1 al 3 vemos que los Backlogs son técnicamente rectificadas (generalmente por Analistas de Equipos), cuando un Backlogs no es aprobado es eliminado inmediatamente, pero en los casos 4 y 6 se da la alternativa de que cuando hay dudas de la anomalía detectada o existe falta de información para dar un veredicto, estos puedan ser devueltos al Generador para completar la información faltante. Ahora si los Backlogs son aprobados y estos no requieren repuestos son enviados directamente al estado de Esperando Ejecución, en caso contrario pasaran al Estado de Espera de Repuestos. Notemos que en los casos 2, 3, 4, 5 y 6 se da alternativa que aquellos Backlogs que están completos y en espera de ejecución, los repuestos sean ocupados por otros trabajos, lo que obliga a los Backlogs volver al estado de Esperando Repuestos, y estando en este estado también puedan pasar a Eliminados si el equipo falla

o el Backlogs es absorbido por un trabajo mayor como un cambio de componente, o mantención preventiva, igual situación se presenta para aquellos Backlogs en espera de ejecución. En los casos 5 y 6 se da la alternativa de que quienes estén ingresando los Backlogs al sistema los puedan eliminar inmediatamente si estos están duplicado (ya había sido detectada y notificada la anomalía). Vemos que el caso 6 es la situación más general que se presenta al momento de considerar 5 estados para la Administración de Backlogs.

Por otra parte, para el caso de 7 estados como el mostrado en la Figura 2, supongamos que el tiempo de permanencia en los diferentes estados están exponencialmente distribuidos con media $1/\mu_i$ $i=1,2,\dots,7$, y que con probabilidad α_i se pasa a un siguiente estado o es eliminado. Se obtienen las siguientes probabilidades de transición:

$$\begin{aligned}\pi_2 &= \alpha_2 \frac{\mu_1}{\mu_2} \pi_1 \\ \pi_3 &= \frac{(1-\alpha_5\alpha_2)}{\alpha_{11}} \frac{\mu_1}{\mu_3} \pi_1 \\ \pi_4 &= \frac{1}{\alpha_{13}} \left[\frac{(1-\alpha_5\alpha_2)}{\alpha_{11}} - (\alpha_1 + \alpha_4\alpha_2) \right] \frac{\mu_1}{\mu_4} \pi_1 \\ \pi_5 &= \left[\left(\frac{\alpha_{12}}{\alpha_{13}} + \alpha_8 \right) \left(\frac{1-\alpha_5\alpha_2}{\alpha_{11}} \right) - \frac{\alpha_{12}}{\alpha_{13}} (\alpha_1 + \alpha_4\alpha_2) \right] \frac{\mu_1}{\mu_5} \pi_1 \\ \pi_6 &= \left[\left(\alpha_{15} \left(\frac{\alpha_{12}}{\alpha_{13}} + \alpha_8 \right) + \alpha_7 \right) \left(\frac{1-\alpha_5\alpha_2}{\alpha_{11}} \right) - \frac{\alpha_{15}\alpha_{12}}{\alpha_{13}} (\alpha_1 + \alpha_4\alpha_2) \right] \mu_1 \pi_1 \\ \pi_7 &= \left[\alpha_3 + \alpha_6\alpha_2 + \left(\alpha_{10} + \frac{(\alpha_{14} + \alpha_{17}\alpha_{12})}{\alpha_{13}} + \alpha_{17}\alpha_8 \right) \left(\frac{1-\alpha_5\alpha_2}{\alpha_{11}} \right) - \left(\frac{\alpha_{14} + \alpha_{12}}{\alpha_{13}} \right) (\alpha_1 + \alpha_4\alpha_2) \right] \mu_1 \pi_1\end{aligned}$$

El valor de π_1 escribiendo en forma simplificada, esta dado por:

$$\pi_1 = \frac{1}{1 + \alpha_2 \frac{\mu_1}{\mu_2} + A_3 \frac{\mu_1}{\mu_3} + A_4 \frac{\mu_1}{\mu_4} + A_5 \frac{\mu_1}{\mu_5} + A_6 \mu_1 + A_7 \mu_1}$$

donde los valores de A_i corresponden a las componentes que acompañan los valores de las probabilidades π_i , $i=2,3,4,5,6,7$, en las ecuaciones de arriba. Utilizando la aplicación MATLAB se pueden hacer simulaciones para obtener estas probabilidades de transición en el largo plazo con la finalidad de observar la consistencia del modelo planteado.

CONCLUSIONES

La apreciación del cliente sobre la gestión del área de mantenimiento se basa fuertemente en los trabajos que están pendientes de realización (Backlogs). Podemos decir que en un muy alto porcentaje el éxito de la gestión de mantenimiento se basa en una buena gestión de Backlogs. Por

eso el análisis de los indicadores de la gestión de Backlog es crucial para el éxito de la gestión del área de mantenimiento. Y la riqueza de los indicadores en esta área depende de la cantidad de estados considerados para la gestión, los cuales quedan graficados en las ecuaciones de inventario que es posible construir.

Se observa que cada configuración factible para la administración del trabajo acumulado puede ser representada mediante una Cadena de Markov, con distintas propiedades, clases y tipos de estados. Un hecho común es la presencia de uno o dos estados absorbentes (Eliminación y Ejecución). En

este caso, se puede escribir la matriz de transición en la forma: $P = \begin{bmatrix} Q & R \\ 0 & I \end{bmatrix}$, entonces, en el largo

plazo obtenemos: $\lim_{n \rightarrow \infty} P^n = \begin{bmatrix} 0 & (I - Q)^{-1} R \\ 0 & I \end{bmatrix}$. Esto quiere decir que una vez alcanzada la

situación estacionaria, el vector de punto fijo será canónico, igual a la distribución límite e independiente del punto de partida, todos los estados no absorbentes de la cadena serán absorbidos por el estado absorbente. Es decir, que todos los estados quedarán vacíos excepto el estado absorbente que acapará toda la población, o lo que lo es lo mismo, tendrá probabilidad uno. Con esta metodología podemos dar respuesta a las siguientes interrogantes: (1) ¿cuál es el número esperado de veces que se ingresa a cada estado?, (2) ¿cuántos periodos (tiempo promedio) se espera pasar en un determinado estado transitorio antes de que tenga lugar la absorción? (el tiempo promedio que pasaremos en un estado transitorio vienen dadas por los ij -ésimo elementos de la submatriz $(I - Q)^{-1}$), (3) ¿cuál es la probabilidad de que terminemos en cada estado absorbente? (las probabilidades de absorción vienen dadas por los ij -ésimo elementos de la submatriz $(I - Q)^{-1} R$). Se realizaron varias corridas computacionales en MATLAB haciendo cambios en las condiciones de la matriz de transición de inicio, obteniendo los resultados mencionados.

Se entrega un procedimiento para la priorización de los trabajos acumulados, el cual es un elemento fundamental que incorpora una priorización inicial a partir de algún criterio de antigüedad o envejecimiento del servicio requerido, o utilizando alguna matriz de riesgo (Pareto), etc., pero incorporando un segundo criterio que resulta fundamental, la observación de los costos de los trabajos, para determinar la estrategia de ejecución del trabajo solicitado, esto debido a que no se trata de ejecutar trabajos por ejecutar, sino de optimizar el servicio de mantenimiento.

Del análisis de la gestión de Backlog se pueden extraer múltiples oportunidades, mejoras, redireccionamientos, optimización de la gestión de mantenimiento, entre otros, lo cual permite afirmar, que la Gestión del Mantenimiento depende en altísimo grado de la Gestión del Backlog y en un sentido un poco más amplio son sinónimos.

REFERENCIAS

- Arróspide, C.** (2008). *Modelo de Mantenición y Reparación Finning S.A.* [1]
Arróspide, C. (2009). *Modelo de Mantenición y Reparación Compañía Minera Quebrada Blanca.*[2]
Finch, D. (2008). *Manage Backlog, a Star in Managing Maintenance.* MSc, MIEAust, CEng, FSOE, AIMM, - Operations & Maintenance Manager - Clough AMEC JV. [3]

- Mather, D.** (2008). *Backlogs Management*. <http://physical-assets.blogspot.com> [4]
- Orrego, J. C.** (2005). *Backlogs –Acumulación de Trabajo*. Mantonline. [5]
- Rodríguez, M.** (2005). *Gestión de Mantenimiento en la Refinería de la Teja ANCAP*. URUMAN 2005 Montevideo Uruguay. [6]
- Ross, S. M.** (1996). *Stochastic Processes*. Second Edition. Ed. Willey. [7]
- Ross, S. M.** (1997). *Introduction to probability models*. 6 th. Ed., San Diego, Academic Press. [8]
- Gertsbakh, I. B.** (1977). *Models of Preventive Maintenance*. Elsevier, New York. [9]
- Carter, M. W.** (2001) *Operations Research: A practical introduction*. C.C. Price. CRC Press. USA. [10]
- Sonnonberg, F. A. & Beck, J. R.** (1993). *Markov models in medical decision making*. Medical Decision Making, Vol. 13, pp.322-338. [11]
- White, D. J.** (1988). *Further real applications of Markov decision processes*. Interfaces, Vol. 18. N° 5, pp. 55-61. [12]