

## USO DE LA TEORÍA DE RESTRICCIONES Y MANEJO DE COLAS AL INICIO DE LA GESTIÓN DE LA FUNCIÓN MANTENIMIENTO (Segunda Parte: Balanceo y Sincronización del Sistema)

Una vez que entendemos y aceptamos que la función de mantenimiento no es más que un conjunto ordenado de actividades que agregan valor a un “servicio prestado”, desde una condición inicial conocida hasta una condición final que debe cumplir con los parámetros de calidad y seguridad establecidos o convenidos entre el ente encargado de agregar valor (Departamento de Mantenimiento) y el que lo recibe (clientes internos) en un tiempo determinado, y que, este conjunto de actividades puede ser modelado de acuerdo a la teoría de restricciones, nos topamos con la siguiente pregunta: ¿Que metodología debo aplicar para balancear y sincronizar el proceso de adición de valor de tal forma que funcione de manera óptima?

La respuesta a ésta pregunta se encuentra en el sistema *amortiguador – tambor - cuerda*. Este sistema fue desarrollado por E. Goldrat, el mismo promotor de la teoría de restricciones, y se centra básicamente, en desarrollar metodologías que permitan establecer vínculos entre las estaciones de trabajo que conforman el mapa de procesos de la función mantenimiento. Estos vínculos deben estar destinados a hacer de la cadena de adición de valor un sistema tan rígido como para evitar la acumulación excesiva de elementos tangibles (órdenes de trabajo) a la entrada de las estaciones de servicio, pero al mismo tiempo, lo suficientemente flexible como para que las estaciones no se queden sin trabajo para realizar. Por otro lado, debe existir una forma de garantizar que el orden de entrada de los elementos tangibles a las estaciones sea el adecuado para garantizar un buen nivel de servicio.

En la primera parte del desarrollo del tema se menciona el uso de modelos de cola para calcular las cantidades óptimas de elementos tangibles a la entrada de las estaciones de servicio. Estas cantidades, de hecho, son los amortiguadores de nuestro sistema. Para el cálculo del amortiguador en las estaciones simples (o de un solo servidor) utilizaremos la fórmula de Little, la cual se muestra a continuación:

$$Lq = Wq * \lambda$$

donde,

$Lq$  es la cantidad de elementos en cola, esperando entrar a la estación para ser procesadas

$Wq$  es el tiempo promedio de servicio para atender un elemento tangible

$\lambda$  es la rata promedio con que llegan los elementos a la entrada de la estación de servicio.

Si la estación de servicio está conformada por varios servidores, podemos utilizar el modelo M/M/S, el cual se desarrolla a continuación:

En general, la función mantenimiento está regulada por dos distribuciones estadísticas, una que gobierna la llegada de ordenes de trabajo o elementos tangibles (Distribución de Poisson) y otra que es la cantidad con que cada servidor de la estación de trabajo es capaz de procesar un elemento tangible (Distribución exponencial).

El modelo M/M/s supone un patrón de llegada Poisson y una rata de servicio exponencial con s servidores. Para calcular el número de elementos tangibles en cola tenemos:

$$Lq = (1/s!) (\lambda / \mu )^s [ \rho / (1- \rho )^2 ] p_0$$

Donde

$\lambda$  es la rata promedio con que llegan los elementos a la entrada de la estación de servicio.

$\mu$  es el tiempo promedio de procesamiento de un elemento tangible de una estación de trabajo.

$$\rho = \lambda / s\mu$$

$$p_0 = 1 / \{ \sum_{n=0}^{s-1} (1/n!)(\lambda/\mu)^n + (1/s!) (\lambda/\mu)^s [1/(1-\rho)] \}$$

$$Wq = Lq / \lambda$$

$s$  es el número de servidores

Si usted no posee la información suficiente para hacer los cálculos mostrados anteriormente, puede hacer una aproximación que, en la práctica, funciona bastante bien. Mida durante un tiempo aproximado de dos meses la cantidad de elementos tangibles que procesan las estaciones de servicio que conforman su sistema de mantenimiento, calcule el promedio de elementos por estación y sume una desviación estándar, ese será el número ideal para comenzar, después, usted tendrá los datos suficientes para realizar un cálculo más formal y exacto.

Para rigidizar o colocar una “cuerda” a la cadena de adición de valor podemos utilizar el modelo “Kamban”, lo cual obliga a cada estación a no procesar más ordenes de las que fueron calculadas para la estación que se encuentra aguas abajo en el período de tiempo correspondiente al ciclo de procesamiento de los elementos tangibles, el cual se recomienda que comprenda 7 días (una semana). Esto permite a las estaciones de procesamiento más rápido invertir el tiempo libre en otras actividades que agreguen valor a la función mantenimiento o simplemente distribuir sus recursos entre las estaciones cuello de botella.

El tambor (ritmo de funcionamiento del sistema), además de ser caracterizado por la demanda, también está determinado por la criticidad de los equipos, el orden de entrada y el tipo de procesamiento que se le dará a cada elemento tangible estará regulado por la metodología de “Mantenimiento Centrado en Confiabilidad”, lo que permite garantizar el funcionamiento adecuado de los activos productivos en su contexto operativo en un tiempo determinado.

Para establecer el ritmo de servicio de su sistema usted debe seguir básicamente los siguientes pasos:

1. Escoger un área piloto para la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad tomando en cuenta criterios que le permitan hacer una matriz de decisión.
2. Realizar un inventario de equipos mecánicos y/o elementos de transmisión y control de parámetros operacionales del área piloto.
3. Identificar la función de cada equipo y/o elemento.
4. Identificar el modo y el tipo de falla para cada uno de los componentes que conforman los equipos y/o elementos.
5. Estudiar los efectos, las consecuencias y las alteraciones en el contexto operacional del equipo y/o elemento debido a la ocurrencia del evento falla.
6. Determinar el índice de criticidad de los equipos y/o elementos mencionados en el punto 1

7. Determinar el tipo de mantenimiento para cada caso dependiendo del tipo de falla y la criticidad.
8. Elaborar las rutas y planes de mantenimiento
9. Calcular el inventario de repuestos asociados al los planes y rutas.
10. Crear códigos de falla
11. Hacer diagramas de Pareto de fallas crónicas y utilizar la metodología de análisis causa-raíz.

Estos 11 pasos le permitirán establecer un ritmo de prestación de servicio para los equipos que conforman el área piloto, las órdenes de trabajo correspondientes a las demás áreas deben ser atendidas por orden de llegada y según la gravedad del caso hasta que cada una de las áreas vaya siendo integrada a la metodología del mantenimiento confiable.

Para medir los avances y el desempeño de su sistema, se presentan a continuación los indicadores de gestión más adecuados para una función basada en teoría de restricciones y modelos de cola.

### Parámetros

- La unidad de tiempo en la gestión de mantenimiento es la semana.
- **Ordenes de trabajo en cola (ODTC):** Ordenes de trabajo que esperan por entrar al proceso que define la función mantenimiento.
- **Ordenes de trabajo planificadas (ODTP):** Ordenes de trabajo que se realizarán la semana siguiente a la semana en la cual fue asignada la prioridad, los materiales y los estándares de ejecución.
- **Ordenes de trabajo no planificada (ODTNP):** Ordenes de trabajo que no cumplen con al menos un requisito para poder ser considerada como ODT planificada.
- **Orden de trabajo ejecutada (ODTE):** Orden de trabajo que se realiza cumpliendo con los estándares de ejecución y es aceptada como satisfactoria por el cliente.
- **Tiempo de servicio (TS):** Es en tiempo promedio (en semanas) que tarda una solicitud de trabajo desde que llega a la cola hasta que es ejecutada.

### Indicadores de Gestión.

- ODTC
- ODTP ejecutadas vs. ODTE : Mide el porcentaje de ordenes de trabajo planificadas del total ejecutadas - *prioridad que se le da a la planificación* -
- ODTP ejecutadas vs. Total de ODTP: Mide el porcentaje de ordenes de trabajo planificadas ejecutadas del total de ordenes de trabajo planificadas – *eficiencia de la planificación* -
- ODTE vs. ODTC: Mide la relación entre las ordenes de trabajo ejecutadas y las que están esperando por ser atendidas – *capacidad del sistema* -
- TS

Estos cinco indicadores son más que suficientes para evaluar el desempeño de su sistema, ya que lo describen de manera completa, más aún, si usted debe calcular y reportar otros indicadores por políticas de la empresa, se dará cuenta que la relación entre éstos y los recomendados en el artículo es directamente proporcional.

La aplicación de la teoría de restricciones en la gestión del mantenimiento industrial es algo nuevo y poco desarrollado en la práctica, es por ésto, que su aplicación rompe con muchos paradigmas hasta ahora tomados como ciertos, entre ellos, la necesidad de una programación estricta, la recopilación de grandes historiales de fallas y extensas inversiones de recurso humano en mantenimiento predictivo (horas hombre). Si usted toma la decisión de adoptar el modelo propuesto para el desarrollo de la función mantenimiento, es muy probable que obtenga excelentes resultados en muy poco tiempo, sin embargo, tenga en cuenta que lo más importante es creer en la teoría y estimular a su equipo a seguir las pautas. Como se refleja en el libro “La Meta” de E. Goldrat, el diseñador del sistema debe ser usted mismo, atendiendo las necesidades particulares de su planta. Existen muchos detalles que no se muestran en ninguna de las dos partes del artículo “Uso de la Teoría de Restricciones y Manejo de colas al Inicio de la Gestión de la Función Mantenimiento”, pero seguramente aparecerán conforme se vaya implementando el sistema, recuerde siempre que lo más importante, es tomar decisiones que bajen los inventarios de elementos tangibles por procesar y en tránsito, reduzcan los costos de mantenimiento e incrementen el nivel de servicio.

Elaborado por  
Rafael Suárez