

El coste del ciclo de vida importa – 2ª parte: la revolución de los contadores de eje

César A. Losada-Martín y
Francisco Javier González-Fernández
Universidad Politécnica de Madrid

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7272>

1. INTRODUCCIÓN

Siguiendo la orientación marcada por la industria aeronáutica de los Estados Unidos, en las últimas décadas, muchas industrias paralelas han venido a considerar la Operación y Mantenimiento (O&M) como uno de los papeles más relevantes, a la hora de conseguir alcanzar sus objetivos organizativos. La política a seguir en esa fase del ciclo de vida se reconoce ya como algo fundamental para conseguir los niveles de eficacia operativa precisos, en particular la disponibilidad.

La importancia que toman los costes acumulativos incurridos en el periodo de O&M en el total de los acumulados en el ciclo de vida es un hecho cada vez más reconocido. Este concepto ha sido muy analizado y comentado, y comienzan a surgir y a estar en vigor numerosas regulaciones sobre el tema.

El concepto del coste del ciclo de vida (LCC) es cada vez más utilizado como uno de los criterios principales de selección a la hora de una compra o adquisición, de forma que los suministradores de soluciones y sistemas son requeridos para aportar soluciones que garanticen un bajo coste a lo largo de su ciclo vital a la par que mantengan los niveles de servicio requeridos, caracterizados por unos atributos definidos y medibles como pueden ser los niveles de disponibilidad o de puntualidad.

Esta dualidad es un verdadero reto para los diseñadores cuando afrontan nuevos desarrollos: ¿Cómo diseñar para lograr un elevado nivel de servicio a la par que manteniendo un coste bajo en el total del ciclo de vida del nuevo diseño?

El hecho es que hoy en día es in-

dispensable proceder al diseño de los productos y soluciones de forma que sean confiables, fáciles de parametrizar, de configurar y operar, y que además posean las mejores características para reducir al máximo los esfuerzos requeridos para su mantenimiento, renovaciones y eliminación llegados al final de su vida útil.

La política de mantenimiento, tal como se indica anteriormente, ya no es por tanto la preocupación del último momento, sino algo que se debe definir conjuntamente con el diseño, con la perspectiva integrada del soporte logístico preciso.

En numerosas industrias las decisiones que se toman sobre el diseño influyen sobremedida los costes futuros del mantenimiento y, particularmente en estos casos, el análisis integrado del coste del ciclo de vida se revela como una poderosa herramienta que habilita la toma de las decisiones críticas, siendo así plenamente conscientes de las consecuencias que derivan de las decisiones que se van tomando sobre el diseño desde la perspectiva global del ciclo vital esperado.

Por desgracia el estado del arte de los análisis LCC en el campo ferroviario es casi nulo en comparación con las soluciones de la industria aeronáutica de defensa, o incluso comparando con la tecnología y productos aplicados a la construcción de carreteras. Un enfoque profesional sobre la optimización de los costes y la disponibilidad del sistema ferroviario global es algo todavía muy lejano en el tiempo. Un análisis sistemático de los costes e impactos sobre la disponibilidad en el largo plazo es aún una excepción en las fases de diseño, incluso para los más sencillos componentes de la señalización.

Más aún, en el mercado de señalización ferroviaria, el mantenimiento es el gran paradigma. Las líneas deben mantenerse en servicio comercial bajo cualquier circunstancia, llevando al

mínimo cualquier perturbación y por supuesto preservando la seguridad que la sociedad demanda a los sistemas de transporte públicos de masas.

Es por ello que la tendencia cada vez mayor es la de comparar, en el momento de la toma de decisión sobre la inversión, las distintas alternativas posibles para prescribir en los requisitos de licitación aquella que garantice el menor coste esperable a lo largo del ciclo de vida exigible.

El sector ferroviario, como industria que requiere elevadas inversiones de capital en soluciones que han de durar largos plazos de tiempo, requiere un enfoque que minimice el coste del ciclo de vida de las distintas soluciones implicadas.

Para la infraestructura ferroviaria y la propia vía el ciclo de vida considerado tradicionalmente para la inversión inicial, incluyendo el mantenimiento y algunas renovaciones parciales, es de 75 a 100 años, para el material rodante convencionalmente se consideran 30 a 35 años con una renovación intensa hacia la mitad de dicho periodo, y para los sistemas de señalización se suelen adoptar entre 25 y 30 años.

Es obvio que el análisis del coste total para estos elevados plazos vitales debe ser efectuado para cada uno de los elementos constitutivos, considerando no solo los costes de adquisición, sino también a los que conducen las distintas alternativas de diseño y estrategias de mantenimiento, de forma que se minimicen los costes totales acumulados a lo largo del plazo vital, sin dejar de perder de vista que se ha de preservar la función deseada (garantizar los resultados de una explotación comercial segura).

Considerar el diseño de las líneas y su mantenimiento bajo el prisma del concepto del coste del ciclo de vida LCC está revelándose como algo imperativo, puesto que garantiza que las decisiones sobre inversiones/explotación/mantenimiento sean las más efectivas en términos de coste para la sociedad.

Pero por desgracia es un hecho constatable que es muy raro encontrar en el sector ferroviario análisis LCC debidamente documentados.

Todos los suministradores de solu-

ciones prefieren aportar argumentos de ventas, bonitas transparencias y folletos, entre ellos algunos detalles de LCC o reflexiones dialécticas al respecto, más que permitir obtener clara y francamente sus costes de adquisición de productos, incluyendo los de ingeniería e instalación.

Igual o similar opacidad hay al respecto de los costes de su mantenimiento (considerando los repuestos y las expectativas de evolución o *roadmap* del producto).

Demostrar, por ejemplo, que la tecnología de control de tren basada en comunicaciones aplicada para obtener líneas sin conductor (CBTC GoA4) es la selección lógica para toda inversión en una línea de metro de nueva creación puede parecer algo muy fácil de demostrar, pero es un hecho que es francamente complicado hacerlo de una manera analítica bajo el concepto LCC aportando debidos cálculos, en vez de hacerlo con argumentos.

La transparencia en precios es algo evitado, y la batalla entre los tecnológicos suministradores se libra caso a caso, cuándo las licitaciones se encuentran en el aire, y la decisión está ligada a determinados criterios que se hayan definidos en los Pliegos de la licitación, Pliegos que hasta la fecha no han tomado en cuenta la relevancia del coste del ciclo vital (salvo en raras ocasiones, como han sido algunas licitaciones de líneas bajo el concepto de inversión público-privada PPP, o el de una renovación completa de una de las redes ferroviarias en el norte de Europa).

Sí es cierto que un análisis estadístico de los precios se puede efectuar,

pero requiere un inmenso esfuerzo para actualizarlo y refinarlo debidamente ya que requiere involucrar expertos en la materia, y esto obliga a adoptar cláusulas de extrema confidencialidad sobre las fuentes de los costes manejados.

Esta situación hace realmente difícil para las ingenierías consultoras y para las autoridades ferroviarias decidir adecuadamente en el momento de definición del diseño a ser licitado, cuando éste es plausible de discusión y cambios, cuáles son las mejores soluciones que se han de especificar entre las diversas opciones disponibles para obtener el menor coste a lo largo de la vida operacional pretendida. Muy frecuentemente hay carencia de datos de la práctica real sobre los costes reales del mantenimiento, o de la degradación de los distintos constituyentes de la solución, o bien el esfuerzo de recolectarlos requiere un largo plazo en comparación con las opiniones interesadas y la información facilitada por los distintos suministradores existentes.

A pesar de reconocerse el hecho de que las decisiones relativas al diseño y a las estrategias de mantenimiento deben apoyarse en análisis sobre los costes y la efectividad asociada debidamente evaluada, en la mayor parte de las veces la carencia de datos imposibilita la realización de estos estudios, y se toman las decisiones por proximidad a otros casos similares o guiados por el consejo de una parte sesgada del mercado.

Este artículo pretende dar un paso más para posicionar al sector ferroviario en el camino correcto y considera los resultados de un análisis transparente y neutro en el que se compara el

coste de ciclo de vida de las dos familias tecnológicas de contadores de ejes disponibles hoy en día en el mercado.

Debiera aconsejar a las ingenierías consultoras y a los administradores de infraestructura ferroviaria sobre cuál ha de ser la elección lógica a la hora de preparar diseños básicos o efectuar compras de este tipo de tecnología de detección de ocupación en vía.

2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN USADO PARA LA COMPARACIÓN

La experiencia del Proyecto Integrado Europeo sobre Sistema de Señalización (*Integrated European Signaling System Project - INESS*) promovido por la UIC en 2010 ha sido de gran ayuda a la hora de decidir la metodología a adoptar, y así se decidió efectuar los análisis LCC a comparar conforme a las prescripciones del estándar internacional IEC 60300-3-3, titulado “Guía de Aplicación Cálculo del Coste del Ciclo de Vida” datado en 2004, de la misma manera que se adoptó en el Grupo de Trabajo que se denominó B3 en el INEE y que generó el “Reporte sobre los factores potenciales de ahorros de coste de los estándares en la vida útil de los enclavamientos” (*Report about cost saving potentials of standards in the interlocking life cycle*).

Existen numerosos fabricantes suministradores de contadores de ejes en el mercado hoy en día. Son principalmente firmas de tradición europea como *Frauscher, Siemens, Tiefenbach o Thales*, si bien hay otros más que suminis-

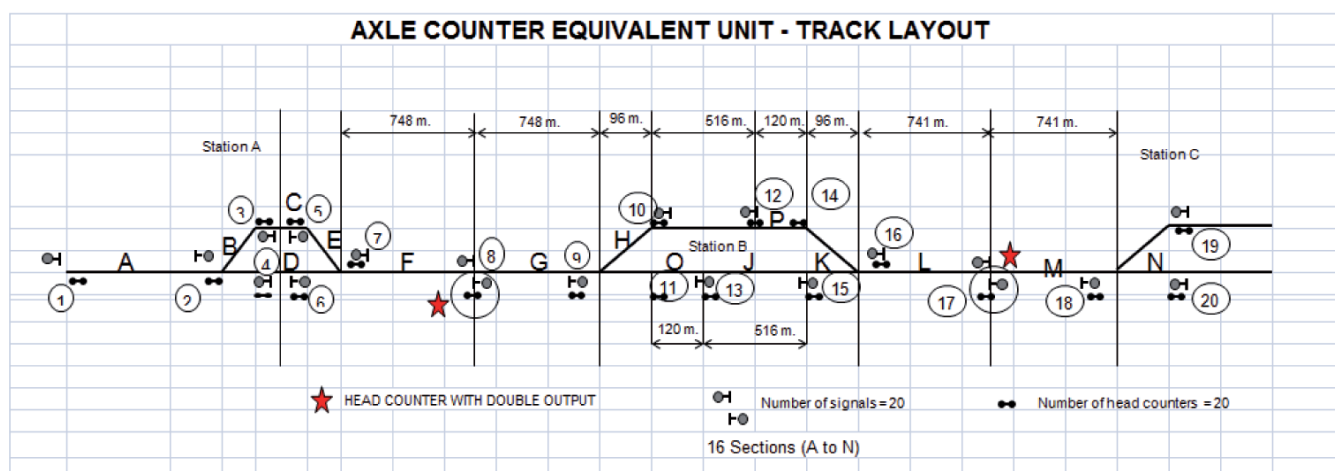


Fig. 1: Topología considerada por los autores para definir el concepto "Axle Counter Equivalent Unit"

tran a menor escala o para aplicaciones específicas como es el caso de *Altpro*.

La experiencia en el sector y el bagaje en señalización ferroviaria de los autores acumulado en los últimos diez años se ha usado extensamente y, gracias a su conocimiento y red de contactos en el mercado, numerosas ofertas de los equipos correspondientes a las dos familias tecnológicas a comparar se han recolectado.

La comparación se ha basado sobre estas colecciones de datos de costes, derivando lo que ha sido adicionalmente preciso mediante el método de analogía conforme se describe en el estándar IEC 60300-3, dado que es el método más rápido y sencillo de estimación de costes.

El escenario temporal (*Life cycle*) elegido para la comparación ha sido de 25 años.

Si bien el estándar IEC 60300-3-3 recomienda considerar en el análisis todos los costes, incluyendo los de desarrollo de los productos, éstos ligados a la inepción no se han contemplado, puesto que no son estimables y por supuesto ninguna compañía está dispuesta a revelar dicha información. No obstante se puede asumir que dichos costes de desarrollo se hayan necesariamente comprendidos en los precios de venta oficiales que han sido recolectados de todas las empresas.

La comparación ha de velar por preservar el estado confidencial de los precios de los suministradores.

Por ello, para garantizar una comparación realista sin revelar estos precios, se ha decidido por parte de los autores considerar el concepto de “*Unidad Equivalente de Contador de Eje*” (“*Axle Counter Equivalent Unit - ACEU*”) como el término comparativo de referencia en lugar del Euro.

El concepto de ACEU se ha definido como el coste de adquisición preciso para equipar, con el necesario hardware correspondiente a la primera familia de contadores, la configuración de vías que se muestra en la Figura 1 excluyendo la red de cableado.

Se ha elegido esta topología puesto que no penaliza excesivamente el rígido concepto del “*sub-rack*” que precisan los contadores de primera generación.

Esta configuración requiere, en el caso de la primera generación, en el exterior 20 cabezas detectoras (2 de ellas aportando doblemente sus datos) con sus cajas de conexión y unidades elec-

trónicas de ajuste en vía asociadas, y en el interior, dependiendo de la tecnología del fabricante, entre tres y seis sub racks completos equipados con sus tarjetas electrónicas de datos.

El ACEU referenciado en Euros se ha obtenido usando datos de los distintos suministradores correspondientes a los últimos 7 años, correspondiéndose los datos a un total de 24 ofertas recolectadas y comparadas por los autores.

2.1. ESCENARIO DE COMPARACIÓN

Para facilitar la comparación de los LCC el escenario topológico escogido se corresponde exactamente con el mostrado en la anterior “Figura 1”.

Así el “Sistema A” es el sistema que, basado en la primera generación de contadores, cubre dicha configuración topológica (esto quiere decir que el sistema A por su definición tiene un coste de adquisición de 1 ACEU).

El “Sistema B” es el sistema que, basado en la nueva generación de contadores electrónicos de eje, cubre la misma configuración topológica.

La comparación considera que los factores ambientales (humedad, temperatura, etc.) así como las condiciones operativas (número de trenes que pasan a través de las secciones monitorizadas) coinciden en ambos sistemas. En aras de simplificar se considera que la red de cableado externo a disponer se corresponde en ambos casos, asumiendo que las desviaciones han de ser despreciables en el total comparado.

2.2. CONCEPTO DE DESGLOSE

Conforme al estándar IEC 60300-3 los costes a ser considerados en el análisis LCC pueden ser agrupados para cada fase del ciclo vital considerándolos en tres conjuntos conceptuales: adquisición, propiedad y eliminación.

LCC = costes de adquisición + costes de propiedad + costes de eliminación

Como paso necesario para el análisis LCC un desglose simple de concepto de los productos o sistemas debe realizarse. Cada parte definida se considera a la hora de identificar los costes que le son inherentes durante las distintas fases que se suceden en el periodo de vida analizado.

Dicho desglose debe ser en suficiente nivel de detalle para permitir una comprensión lógica, pero no en tal nivel que éste imposibilite el análisis en un tiempo adecuado al fin pretendido, que no es otro que utilizar las conclusiones del análisis (es decir, no hay que llegar, por ejemplo, al nivel de microprocesador, puesto que éste puede ser considerado parte de la placa electrónica o incluso del módulo). Por lo general se suele definir el nivel más bajo de desglose correspondiéndose con los bloques hardware, reemplazables por las labores del mantenimiento.

El desglose debe ser tal que permita comparar de forma comprensible los distintos escenarios considerados (conceptos de desglose similares para los productos o solución a comparar).

Para el sistema A el desglose se ha definido como:

- Equipos de interior, consistiendo en los sub-racks precisos para ser alojados en tres armarios en tres de las estaciones (cabinas o cuartos de señalización), equipados con los módulos precisos para controlar las 16 secciones definidas, con sus fuentes de alimentación, aislamientos galvánicos y tarjetas de interfaz.
- Equipos de exterior, consistiendo en los sensores dobles precisos (de cabezas opuestas abrazando carril) con las correspondientes unidades electrónicas funcionales de ajuste y captación, y cajas de vía para las 16 secciones de vía.

Para el sistema B se ha definido análogamente como:

- Equipos de interior, consistiendo en los módulos de conteo de ejes de nueva generación, alojados igualmente en tres armarios en tres de las estaciones, equipados para controlar las 16 secciones de vía, con sus pertinentes fuentes de alimentación, switches de comunicaciones, módems y rieles para su instalación en los armarios.
- Equipos de exterior, consistiendo en los sensores de rueda precisos (sólo una cabeza detectora en el lado interior del carril con ausencia de unidades electrónicas laterales en vía).

3. RESULTADOS

3.1. COSTES DE ADQUISICIÓN

Conforme al desglose descrito anteriormente se obtienen los siguientes costes de adquisición expresados en ACEU:

Sistema A

- Interior = 0,51 ACEU
- Exterior = 0,49 ACEU

Obviamente por su definición el sistema A se corresponde con unos costes de adquisición Hardware de 1 ACEU.

Sistema B

Considerando un total de 10 distintas ofertas recolectadas de los tres suministradores que comercializan la nueva generación de contadores electrónicos de eje, los costes promediados para equipar la topología considerada son:

- Interior = 0,50 ACEU
- Exterior = 0,36 ACEU

En términos de adquisición del hardware es obvio que el nuevo producto es alrededor de un 14% más barato que su predecesor, principalmente motivado por que el nuevo desarrollo carece de toda electrónica en vía salvo los sensores.

Todo lo demás en que se incurre durante la fase de instalación, contemplando los costes de gestión del proyecto, los trabajos de ingeniería, las labores de pruebas y puesta en servicio, así como las labores de formación precisas para los instaladores y usuarios finales, son también considerados parte de los costes de adquisición.

Los esfuerzos de gestión general del proyecto, labores de ingeniería de detalle y formación pueden ser considerados similares para ambos sistemas, puesto que el proyecto global es equivalente, así como el trabajo preciso para configurar el diseño adecuado con la definición de las listas de cantidades, planos de fabricación, datos de programación, etc.

Estos esfuerzos de Project Management, ingeniería y formación son valorados para ambas tecnologías en 0,06 ACEU.

Sin embargo, respecto a la instalación y las pruebas y puesta en servicio no es así, debido a las diferencias tec-

nológicas, y se obtienen los siguientes resultados:

Sistema A:

- Interior = 0,03 ACEU
- Exterior = 0,16 ACEU

Sistema B

- Interior = 0,02 ACEU
- Exterior = 0,11 ACEU

Las causas principales de la diferencia de costes se deben a:

- Las herramientas de programación y ajuste remoto avanzadas que se habilitan con la nueva generación de producto
- La ausencia de unidades electrónicas funcionales en vía de captación y ajuste (por tanto no hay necesidad de gastos en su instalación, ni en sus pruebas, ni en su puesta en servicio)
- La mayor facilidad de instalación de los sensores de la nueva generación, que se colocan sólo a un lado del carril, sin precisar la contra-pareja que precisan los tradicionales.

3.2. COSTES DE PROPIEDAD

Una vez puesto en servicio el sistema, los costes de propiedad se derivan de la fase del ciclo de vida en el que se entra. Los costes de operación, mantenimiento y también de renovaciones han de ser considerados costes de propiedad (si algún componente del sistema ha de ser renovado durante el intervalo operativo vital que se considera).

Los costes operativos son calculados a precios de hoy sin tener en cuenta inflación, y son originados principalmente en el caso que nos ocupa por el consumo de energía del sistema, toda vez que las operaciones desde el Centro de Control que son ligadas en exclusiva a estos equipos de detección de ocupación en vía pueden considerarse como una parte muy menor de las tareas relativas a la operación del sistema de enclavamientos, y por tanto despreciables.

Los datos básicos de consumo energético de cada sistema son:

Sistema A:

- Cada cabeza de conteo incluyendo su unidad electrónica de vía

asociada ≤ 2.5 W (sin considerar las pérdidas de potencia debidas al cableado).

- En el equipo de interior ≤ 10 W / sección de vía

Sistema B:

7,5 W por módulo interior de conteo de ejes (9 W en el caso de que esté conectado a dos sensores, sin considerar las pérdidas de potencia debidas al cableado)

El precio del kWh que se ha utilizado es 0,0644 €/kWh sin impuestos conforme a la fuente "Media del coste energético en ADIF en 2013".

Con estas premisas, sobre el ciclo de vida de 25 años considerado, se obtienen los siguientes resultados como los costes del consumo expresados en ACEU:

Sistema A: 0,024 ACEU

Sistema B: 0,013 ACEU

Para estimar los costes de mantenimiento deben considerarse los costes derivados de la confiabilidad de los componentes. Confiabilidad se define como un término colectivo que comprende la disponibilidad del producto y sus costes asociados, que deben incluir los costes correctivos, preventivos y consecuentes.

La confiabilidad está compuesta por la Fiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad (FDM o RAM). Normalmente la Seguridad en su estricto concepto ferroviario se incluye dentro este grupo de tres características, hablándose entonces de las RAMS. Sin embargo, en ferrocarriles la Seguridad es considerada como una condición a priori, aunque indirectamente garantizada por los buenos niveles de los otros componentes RAMS.

La confiabilidad está condicionada por los fallos, que pueden ser mitigados por tácticas correctivas o preventivas con sus correspondientes costes asociados, que han de ser considerados en el análisis LCC. Las labores de mantenimiento en algunas ocasiones requieren incluso algo de inversión en soporte logístico (por ejemplo los talleres de mantenimiento).

Los costes de mantenimiento pueden ser calificados de ocasionales, causados por intervenciones puntuales, o periódicos, provocados por el mantenimiento preventivo o las renovaciones.

Las intervenciones puntuales correctivas no se planifican ni pueden ser previstas, pero pueden ser estimadas en su frecuencia probable con la ayuda de los conceptos que se explican a continuación.

La distribución *Weibull* que se muestra debajo se considera generalmente como el modelo matemático más apropiado para los fallos de equipos eléctricos o electrónicos:

$$f(x, k, \lambda) = \begin{cases} 0 & , x < 0 \\ \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k} & , x \geq 0 \end{cases}$$

La distribución exponencial que se muestra a continuación también se usa muy habitualmente como modelo para variables con fallos aleatorios de probabilidad de ocurrencia constante, como es el caso de los componentes electrónicos de señalización.

$$f(t) = r(t) \cdot e^{-\int_0^t r(t) dt}$$

Esta distribución no memoriza los fallos”, es decir que la probabilidad del fallo de un constituyente es constantemente la misma ($r(t)=\text{Constante}$) durante cualquier momento a lo largo de su vida útil de servicio.

La curva de “la bañera” se usa a menudo como modelo probabilístico a la largo del tiempo (Fig. 2). Como ilustra esta famosa imagen, en la fase inicial y final del ciclo operativo la tasa de fallos es mayor.

La primera fase se corresponde a la

de “*mortalidad infantil*”, a veces con fallos de diseño no deseados que contribuyen a la aparición de fallos. El sistema tiende a continuación a alcanzar un estado de estabilidad, con fallos mayoritariamente aleatorios, pero de ocurrencia constante para, finalmente, incrementarse la tasa a medida que se entra en la obsolescencia del sistema, indicando que hace falta sustituirlo. En nuestro caso dicha necesidad de sustitución total queda inmediatamente fuera del periodo de 25 años considerado para el estudio.

Los costes del ciclo de vida se calculan para los repuestos, las partes precisas para reparaciones y los componentes necesarios para proceder a renovaciones parciales, basados en precios de hoy, sin inflación ni descuentos.

La mano de obra para el mantenimiento preventivo y correctivo se evalúa en horas-hombre expresadas en precios de hoy, pero considerando los costes de la inflación salarial.

Para obtener resultados se han de considerar todos los cálculos usando los valores del tiempo medio entre fallos (MTBF) de cada uno de los componentes predefinidos, conforme al estándar MIL-HDBK-217F, los cuáles pueden ser considerados como los peores valores posibles.

Los costes del mantenimiento preventivo se pueden estimar en base a las rutinas periódicas a efectuar. Para efectuar estos cálculos se deben conocer y recolectar los costes del combustible, mano de obra y maquinaria que son precisos. Con vistas a simplificar se considera en el análisis únicamente la mano de obra precisa, puesto que la maquinaria y el consumo de

combustible se puede asumir que se consumen de igual manera en las rutinas de ambos tipos de sistemas de conteo de ejes.

Debido a la naturaleza del contador las labores periódicas de mantenimiento no suponen grandes interrupciones y se efectúan en espacios de tiempo predefinibles, sin implicar retrasos o alteraciones en la explotación originando costes asociados, por ello estos costes consecuenciales se han ignorado.

Los siguientes datos básicos se han asumido para el análisis LCC:

El mantenimiento preventivo y correctivo se ha calculado como horas-hombre en el sitio. El tiempo de desplazamiento y preparación de las intervenciones se ha excluido del análisis puesto que ha de ser similar para ambas tipologías de conteo de ejes.

La plantilla de mantenimiento dedicada al sistema de contadores se ha considerado como parte del equipo que gestiona el mantenimiento global de los sistemas de señalización y comunicaciones, por ello no se considera como exclusivamente dedicado, y sólo se han evaluado las horas de la intervención en el análisis.

Se asume que las labores preventivas y correctivas de los equipos de interior se concentran en los módulos que están dispuestos en los armarios, que se hayan dispuestos en los cuartos de enclavamiento, esto implica que se consideran los costes de los módulos individualmente, no como grupos de componentes.

Los valores siguientes se han utilizado, siguiendo el consejo de fuentes expertas de mantenimiento que se han consultado por los autores:

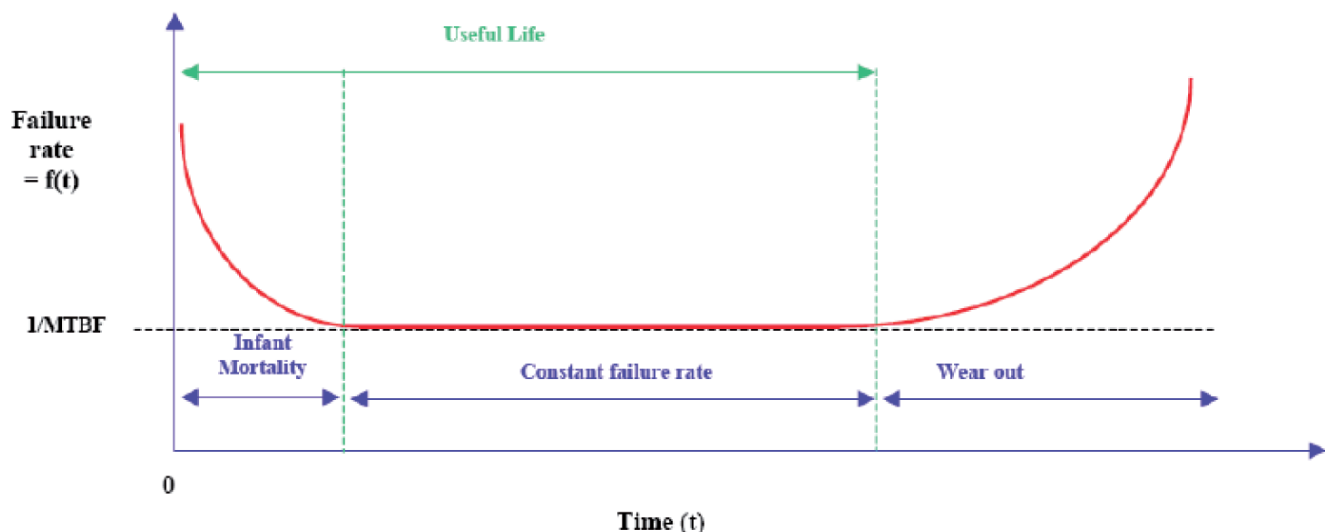


Fig. 2: Curva de “la bañera”

Tamaño del equipo preventivo de mantenimiento (hombres): 1

Tamaño del equipo de mantenimiento correctivo (hombres): Interior: 1
Exterior: 2

Al respecto de la duración del mantenimiento preventivo por año (rutinas de mantenimiento) son para cada sistema según sigue:

Sistema A:

Equipos de interior: el backplane está sujeto a una rutina de mantenimiento preventivo que requiere de media 38 min/año.

Equipos de exterior: para cada sensor de rueda, incluyendo su unidad electrónica de vía asociada, se requiere al menos una intervención al año, que requiere de media 104 min/año por conjunto de sensor-unidad electrónica de vía.

Sistema B:

Equipos de interior: la nueva generación está diseñada libre de mantenimiento preventivo (0 min/año), adicionalmente las herramientas asociadas facultan un diagnóstico remoto en caso de fallas.

Equipos de exterior: la nueva generación carece de unidades electrónicas funcionales en vía, por lo que sólo es preciso revisar el sensor con su herramienta al efecto (placa de ajuste), esto implica que una media de 40 min/año por sensor es precisa.

El mantenimiento preventivo se calcula sobre la base de los periodos definidos de mantenimiento y las duraciones recomendadas por el fabricante.

Los parámetros que se requieren para calcular la duración del mantenimiento preventivo por año son:

MTSi Tamaño del equipo de mantenimiento

Ni Número de elementos a mantener

DPMi Duración del mantenimiento preventivo por año

Usando la siguiente fórmula:

$$\sum MTS_i * N_i * DPM_i \quad [h]$$

El mantenimiento correctivo se calcula sobre la base de los parámetros MTBF y MTTR del equipamiento. Los parámetros que se requieren para calcu-

lar la duración del mantenimiento correctivo por año son:

MTSi Tamaño del equipo de mantenimiento

Ni Número de elementos a mantener

MTBFi Tiempo estadístico medio entre fallos, expresado en horas (*Mean time between failures*)

MTTRi Tiempo estadístico medio preciso para reparar, expresado en horas (*Mean time to repair*)

Usando la siguiente fórmula:

$$\sum MTS_i * N_i * \frac{8760}{MTBF_i} * MTTR_i \quad [h]$$

Se considera un MTTR de una hora para todos los equipos exteriores de vía en cualquiera de las dos tecnologías.

Para los equipos de interior de la primera generación el MTTR se considera también una hora, pero para la nueva generación (que cuenta con la ayuda remota de las herramientas de diagnóstico y una arquitectura menos compleja) el MTTR considerado por los fabricantes es de 30 minutos solamente.

El coste hora considerado para un empleado de mantenimiento se ha considerado en 70 €/h-persona (año 2014), ya sea en labores correctivas o preventivas. La tasa de inflación salarial anual considerada se ha fijado en un 1,5%.

Los costes de repuestos son los costes de reparación, expresados como porcentaje del coste del repuesto, o bien los del mismo repuesto en caso de que el componente no pueda ser reparado.

Para determinar los costes en repuestos se usan los siguientes parámetros:

Ni Número de elementos

MTBFi Tiempo estadístico medio entre fallos, expresado en horas (*Mean time between failures*)

Ci Coste unitario del elemento i

Pi % del coste total del elemento que suponen los costes de reparación

Usando la siguiente fórmula:

$$\sum N_i * \frac{8760}{MTBF_i} * C_i * P_i \quad [€]$$

Habitualmente las renovaciones se consideran como algo preciso, en el caso de ordenadores personales tipo PC

cada cinco años, y para los equipos de redes de telecomunicación cada diez años, motivado por la rápida evolución y obsolescencia tecnológica que se produce en este campo industrial determinado. Así en el sistema B se ha considerado el reemplazo de los switches de comunicaciones, mientras que no se ha juzgado que sea precisa renovación alguna en el sistema A.

Conforme a lo antes descrito para el mantenimiento preventivo obtenemos, para los 25 años del periodo:

Sistema A: 0,554 ACEU

Sistema B: 0,192 ACEU

Para el correctivo (incluyendo los repuestos):

Sistema A: 0,228 ACEU

Sistema B: 0,203 ACEU

Al respecto de las renovaciones el resultado es:

Sistema A: 0 ACEU

Sistema B: 0,03 ACEU

3.3. COSTES DE ELIMINACIÓN

La última categoría de costes a ser considerada es la relativa a la última fase del ciclo de vida, la de eliminación, pero se ha considerado que los costes de eliminación de ambas tecnologías serán similares y despreciables, incluso cuando los equipos de nueva generación se han desarrollado conforme a las directivas RoHS, y por tanto se pueden aplicar tras 2014 considerando la directiva EU 2002/95/EC referente a eliminación de equipos electrónicos (esta directiva gestiona el uso de sustancias peligrosas en equipos y componentes para impedir la dispersión ambiental de equipos electrónicos que contengan ingredientes problemáticos).

2.4. RESUMEN Y COMPARACIÓN

Los resultados de los análisis LCC expresados en ACEU (costes de adquisición + costes de propiedad + costes de eliminación) son:

Coste del Ciclo de Vida del Sistema A = 1,25 + 0,807 + 0 = 2,057 ACEU

Coste del Ciclo de Vida del Sistema B = 0,99 + 0,437 + 0 = 1,427 ACEU

La visión LCC implica que el curso de la acción se debe adoptar en favor de la opción que suponga los menores costes a lo largo del periodo de vida que se analice, en este caso la decisión debe

ser evidentemente adoptada en favor del sistema B, ya que requiere prácticamente un 70% del LCC que se obtiene para el Sistema A durante los 25 años considerados.

4. CONCLUSIONES

Conforme al análisis descrito y efectuado, ha quedado analíticamente probado que la nueva generación de contadores electrónicos de ejes ofrece, gracias a sus características, ventajas en el resultado global, pero también en los costes generados en cada una de las fases del ciclo de vida:

- El uso de equipos COTS minimiza los costes de adquisición, así como los de adquisición de la logística de mantenimiento (repuestos). Las renovaciones que se requieren debidas a la tecnología se pueden calcular de forma sencilla en el modelo.
- La ausencia de unidades electrónicas en vía elimina los costes de instalación, y por tanto los costes de operación y de mantenimiento asociados.
- El consumo energético se ha mejorado significativamente, de ma-

nera que los costes operativos se ven evidentemente beneficiados.

- La ayuda de los equipos de diagnóstico remoto faculta al operador/mantenedor para obtener un análisis más rápido y eficaz, recortando por ello los tiempos de indisponibilidad del sistema, ya que permiten efectuar el mantenimiento correctivo preciso en menos tiempo
- La simplicidad del concepto del sistema y las posibilidades que ofrece la extracción en caliente de los módulos minimizan el tiempo de formación y aprendizaje, así como el de intervención en caso de fallo
- La reducción al mínimo de los repuestos de tipo "propietario" y el concepto de intercambio de los distintos módulos simplifica al extremo el concepto logístico del mantenimiento.

La nueva generación de contadores electrónicos de ejes es una revolución que debe ser extendida de inmediato como la opción preferida a ser considerada por los diseñadores cuando prescriban los equipos de conteo de ejes como el sistema de ocupación en vía a ser utilizado. Igual argumenta-

ción es válida para los departamentos de compra de las distintas autoridades de administración de infraestructura ferroviaria.

Es un hecho que la norma EN 60300-3-3 proporciona una metodología que se puede usar muy debidamente para desarrollar un modelo de ciclo de vida, y que guía de forma adecuada a la hora de realizar análisis complejos del coste del modelo ciclo de vida LCC.

PARA SABER MÁS

1. DIN EN. Dependability Management. Part 3.3 Application Guide Life Cycle Costing. EN 60300-3-3. 2004
2. Hoffart C., Stürer P. "Life Cycle Costing in High Complex industries – Developing and applying a Life Cycle Costing approach in the railway industry" *Engineering Asset Management and Infrastructure Sustainability. Proceedings of the 5th World Congress on Engineering Asset Management (WCEAM 2010)*. Editado por: Springer London, 2012. p 375-389. ISBN: 978-0-85729-493-7
3. Barringer, H.P. "A Life Cycle Cost Summary". *Paper at International Conference of Maintenance Societies (ICOMS®-2003)*. 10p.

DYNA

Ingeniería e Industria

Suscríbete a Revista Dyna

Revista técnico científica de ingeniería multidisciplinar desde 1926

Los mejores artículos en español para investigadores y profesionales de la ingeniería. Mantente actualizado y conoce el estado del arte en ingeniería.

PROMOCIÓN PARA COLEGIADOS:

La suscripción a DYNA impresa incluye la suscripción digital a DYNA y a otras 3 revistas especializadas:

- DYNA Energía y Sostenibilidad (DYNAES)
- DYNA Management (DYNAMN)
- DYNA Nuevas Tecnologías (DYNANT)

Suscripción Impresa + 4 revistas digitales 47,74 €/año

Para acogerse a esta promoción escribanos a dyna@revistadyna.com (o llame al 944 237 566) indicando su colegio y número de colegiado.

