

Proceso de Cálculo y MTBF Histórico Software RMES

Esteban Heidke - eheidke@mes.cl

René González - rgonzale@mes.cl

Centro de Desarrollo de Gestión Empresarial.

1 Oriente 1097 - Viña del Mar, Chile.

Fono:(56) (32)688987 - Fax:(56) (32)2684079

empresa@mes.cl

Marzo, 2011

Resumen

Debido a la cantidad de dudas que surgen respecto a este indicador y los de su clase, conocidos informáticamente con Indicadores de Tiempos Medios (MTBF, MTBS, MTTR, MTTI), este documento intentará aclarar el cómo se realizan los cálculos dentro del software RMES, en particular, para la métrica ASARCO. De este análisis, se propondrán mejoras que pueden corregir ciertos detalles en los cálculos. El lector debe poseer conocimientos acerca del manejo del software RMES y las definiciones asociadas, además de conocer mínimamente el proceso de propagación histórica de detenciones.

Índice

1. Introducción	3
2. Proceso de cálculo	4
3. Cálculo de Disponibilidad, Utilización y MTTR	6
4. Eventos	8
5. MTBF Histórico	11
6. MTBF Histórico/Probabilístico	13

1. Introducción

RMES utiliza 2 grandes procesos para obtener indicadores históricos, en el siguiente orden:

1. Propagación: proceso complejo asociado al análisis cuantitativo de como afectan las fallas de subsistemas hijos sobre los padres. El proceso entrega las fallas a cada nivel de la planta que provocaron la detención del sistema, ya sea por agentes internos o externos.
2. Cálculo: Conteo de tiempos y cantidades de fallas existentes en un subsistema luego de la propagación. Con las variables anteriores es posible obtener gran cantidad de indicadores que son los que finalmente retornan los reportes históricos del software.

El proceso de propagación genera un conjunto de fallas sobre un subsistema. Estas fallas pueden ser unitarias o compuestas. Dado que las fallas compuestas simplemente son una conjunción de fallas unitarias, es mucho más simple ver el resultado final simplemente como un gran conjunto de fallas unitarias que pueden venir traslapadas o "unas sobre otras". La figura 1 muestra un ejemplo.

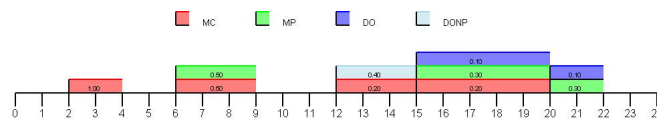


Figura 1: Fallas sobre un subsistema luego del proceso de propagación

Como se puede observar, las fallas pueden subir con diferentes impactos al subsistema (esto ocurre cuando uno o varios de los "descendientes" se encuentran en fraccionamiento), pero como regla absoluta, dado el intervalo de existencia de una falla, en el mismo intervalo la sumatoria de impactos no puede superar 1, considerando de que pueden existir otras fallas exactamente en el mismo intervalo. Por ejemplo, observando la figura 1, entre las 15 hrs y las 20 hrs, la sumatoria de impactos no supera 1. Y para ser mas claro, la regla no se aplica al intervalo entre 14 hrs y 16 hrs, dado que ninguna falla existe exactamente en ese intervalo. Además, las fallas en un intervalo de tiempo en que existan varias falla traslapadas, no existen 2 fallas del mismo tipo, por ende, a lo más existiran 8 fallas, asociados a los 8 tipos de fallas existentes en RMES (MCE, MCI, MCM, MP, DO, DONP, OD, ODNP).

2. Proceso de cálculo

El proceso de propagación histórico siempre se realiza para cierto intervalo de tiempo conocido como **Intervalo de Propagación** (para el ejemplo 1, el intervalo de propagación es de 24 horas). A su vez, el proceso de cálculo también necesita de un intervalo, el cual puede diferir del intervalo de propagación. El intervalo de cálculo se conoce como **Intervalo de Análisis o Intervalo de Estudio** y simplemente define los tiempo desde donde se deberán obtener indicadores. Por supuesto, si los intervalos de propagación y de análisis no intersectan, los indicadores que se generen no tendrán información relevante. Por ende, generalmente, el Intervalo de Análisis es el mismo que el Intervalo de Propagación o un subintervalo de éste.

El proceso de cálculo considera por tipo de falla:

1. Duración Equivalente total.
2. Cantidad total.
3. Categorización por impacto.

El Duración Equivalente total es simplemente la sumatoria de todos los tiempos equivalentes de las fallas pertenecientes a un tipo, donde el tiempo equivalente se define simplemente como la multiplicación entre la duración de una falla y su impacto (equivalente, dado que se intenta saber cuánto duraría la falla si su impacto hubiese sido 1).

La Cantidad total por tipo de falla se define simplemente como la sumatoria total de impactos. Es decir, se considera que una falla "cuenta" en la misma proporción que impacta. Esta definición tiene ciertas ambigüedades que serán explicadas posteriormente.

La Categorización por impacto se refiere a la clasificación de las fallas en los siguientes rangos según impacto:

- Entre]0 %,25 %[
- Entre [25 %,50 %[
- Entre [50 %,75 %[
- Entre [75 %,100 %[
- Iguales a 100 %

Ejemplificando con las fallas de la figura 1, el proceso de cálculo retornaría los resultados mostrados en las tablas 1, 2 y 3 (tomando en cuenta sólo los tipos presentes en la figura).

Tipo	Intervalo [hrs]	Duración [hrs]	Impacto	Dur. Equiv. [hrs]	Cantidad
MC	2-4	2	1.00	2.00	1.00
MC	6-9	3	0.50	1.50	0.50
MP	6-9	3	0.50	1.50	0.50
MC	12-15	3	0.20	0.60	0.20
DONP	12-15	3	0.40	1.20	0.40
MC	15-20	5	0.20	1.00	0.20
MP	15-20	5	0.30	1.50	0.30
DO	15-20	5	0.10	0.50	0.10
MP	20-22	2	0.30	0.60	0.30
DO	20-22	2	0.10	0.20	0.10

Cuadro 1: Fallas unitarias

Tipo	Dur. Equiv. [hrs]	Cantidad
MC	5.10	1.90
MP	3.60	1.10
DO	0.70	0.20
DONP	1.20	0.40

Cuadro 2: Duraciones Equivalentes y por Tipo de Falla

	]0 %,25 %[	[25 %,50 %[	[50 %,75 %[	[75 %,100 %[	100 %
MC	2		1		1
MP		2	1		
DO	2				
DONP		1			

Cuadro 3: Categorización por Impacto por Tipo de Falla

3. Cálculo de Disponibilidad, Utilización y MTTR

Se define la disponibilidad como el porcentaje de tiempo total que el subsistema estuvo disponible para ser utilizado respecto del tiempo total (Tiempo Posible), en donde se considera que ante fallas de tipo DO y DONP, el subsistema si está disponible (dado que la detención se produce por un factor externo al subsistema, i.e.: no se considera una DO asociada al hora de colación del operario de la máquina, ni tampoco una DONP asociada a que el operario tuvo necesidad de ir al baño, la máquina o el motor como tal estuvieron disponibles en esos momentos).

Dado que las fallas pueden venir impactadas, los tiempos que se utilizan para realizar los cálculos son los equivalentes. La figura 2 quita las fallas DO y DONP del ejemplo de la figura 1 y muestra los tiempos equivalentes y disponibles para las fallas MC y MP. Se puede observar el complemento que existe entre tiempo equivalente y tiempo disponible por intervalo de existencia de fallas, en donde la sumatoria de ambos retorna la duración del intervalo.

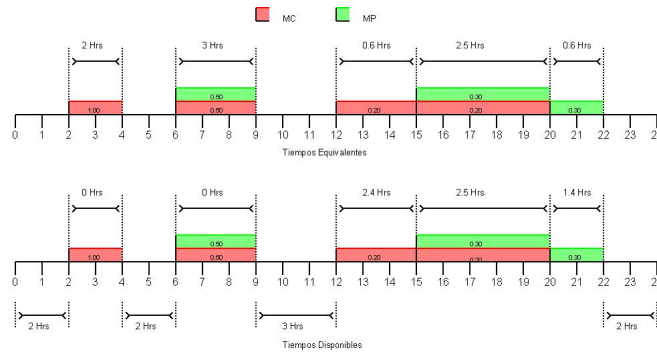


Figura 2: Tiempos equivalentes y disponibles para cálculo de disponibilidad

El Tiempo Disponible (T_A) será la sumatoria de todos los tiempos disponibles y su valor es $T_A = 15,3$ [hrs]. Utilizando los tiempos equivalentes es posible obtener este mismo resultado simplemente restando al Tiempo Posible (T_P), que en este caso son 24 [hrs], la sumatoria de tiempos equivalentes asociados a tiempo equivalentes por detenciones de tipo MC (T_{MC}) y MP (T_{MP}), valor que se obtiene fácilmente observando la tabla 2.

$$T_A = T_P - (T_{MC} + T_{MP})$$

$$T_A = 24 - 8,7$$

$$T_A = 15,3$$

Luego, la Diponibilidad será

$$A = \frac{T_A}{T_P}$$

$$A = 0,6375$$

El cálculo para Tiempo de Utilización (T_U) sigue el mismo concepto orientado a la sumatoria de tiempos equivalentes. En este caso se consideraran los tiempos asociados a todas las fallas. Nuevamente, observando la

tabla ?? es posible obtener los tiempos asociadas a DO (T_{DO}) y DONP (T_{DONP}).

$$T_U = T_P - (T_{MC} + T_{MP} + T_{DO} + T_{DONP})$$

$$T_U = 24 - 11,6$$

$$T_U = 12,4$$

Luego, la Utilización será

$$U = \frac{T_U}{T_P}$$

$$U = 0,5166$$

El MTTR sigue la misma idea y considera los tiempos equivalentes y cantidades asociados a fallas de tipo MC. Observando la tabla ?? y la tabla 2 se obtiene:

$$MTTR = \frac{T_{MC}}{\#_{MC}}$$

$$MTTR = \frac{5,10}{1,90}$$

$$MTTR = 2,68$$

4. Eventos

Se debe prestar especial atención a la definición de "cantidad" en el proceso de cálculo. La cantidad total de fallas, dentro de la métrica, es la sumatoria total de impactos de un tipo. **Este proceso no cuenta una falla como tal, sino que cuenta el impacto**, lo cual puede generar ciertas inconsistencias como la que se presenta en la figura 3, en donde, por efectos del algoritmo, una falla podría venir dividida varias veces, afectando directamente la cantidad que el algoritmo considera.

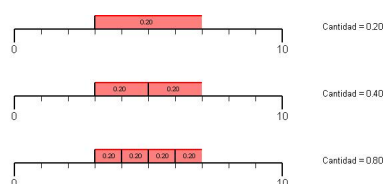


Figura 3: Inconsistencia en conteo de fallas

Para solucionar este problema, se puede considerar que estas fallas parceladas son una sola gran detención o **evento** que puede contener varios tipos de fallas con distintos impactos. Esto concuerda con el proceso realizado a nivel de equipo, en donde si el usuario ingresa 2 fallas contiguas del mismo tipo existe un algoritmo que las une en una sola. El concepto de evento se puede aplicar en vez de unir las fallas a nivel de subsistema y el resultado final se conserva. La figura 4 traduce el ejemplo de la figura 3 a eventos. Se puede observar que para los 3 casos la cantidad de eventos es 1, por ende, el concepto de evento para contar es útil a todo nivel. A nivel de equipo un evento es una detención simple, a nivel de sistema, es un conjunto de fallas contiguas.

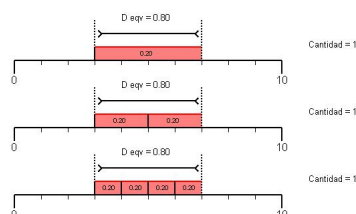


Figura 4: Eventos

Para efectos de métrica un evento debe contener los siguientes indicadores:

1. Duración Equivalente según tipo de falla.
2. Impacto Equivalente según tipo de falla..
3. Categorización por Impacto Equivalente según tipo de falla..

La Duración Equivalente (D_{eqv}) se define como:

$$D_{eqv} = \sum D_i * I_i$$

El Impacto Equivalente I_{eqv} es similar a la duración equivalente pero en el sentido inverso. Para un tipo de falla dentro de un evento y en base a la duración del evento D y la Duración Equivalente D_{eqv} para el tipo

de falla, se busca el impacto que debería tener una única falla del mismo tipo de duración D . Con una simple regla de 3 se obtiene que el impacto equivalente se define como:

$$I_{eqv} = \frac{D_{eqv}}{D}$$

La Categorización por Impacto Equivalente según tipo de falla se obtiene directamente de lo anterior.

Finalmente, se entenderá como **cantidad por tipo de falla** a la **cantidad de eventos en donde un tipo de falla tenga un Impacto Equivalente distinto de 0** y no a la cantidad de fallas o detenciones. Además, **dos eventos no pueden intersectarse**, dado que, por definición, un evento contiene todas las fallas contiguas en un intervalo de tiempo, por ende, entre 2 eventos siempre existirá un **Tiempo entre Evento** mayor que 0.

La figura 5 muestra el ejemplo de la figura 1 utilizando el concepto de evento. Las tablas 4, 5 y 6 muestran los resúmenes por tipo para cada evento.

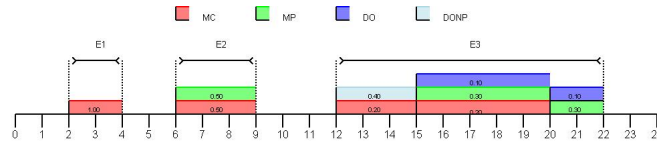


Figura 5: Ejemplo visto como eventos

Tipo	Dur. Equiv. [hrs]	Imp. Equiv.
MC	2.00	1.00
MP	0.00	0.00
DO	0.00	0.00
DONP	0.00	0.00

Cuadro 4: Resumen Evento E1 de duración $D_{E1} = 2$

Tipo	Dur. Equiv. [hrs]	Imp. Equiv.
MC	1.50	0.50
MP	1.50	0.50
DO	0.00	0.00
DONP	0.00	0.00

Cuadro 5: Resumen Evento E2 de duración $D_{E2} = 3$

El resultado final del cálculo se presenta en las tablas 7 y 8. La Duración Equivalente total por tipo será la sumatoria de las duraciones equivalentes por tipo de todos los eventos y la cantidad será, para todos los tipos, el número de eventos totales en donde el tipo de falla tenga un Impacto Equivalente distinto de cero. La Categorización por Impacto se realizará observando los impactos equivalentes de cada evento por cada tipo de falla.

Tipo	Dur. Equiv. [hrs]	Imp. Equiv.
MC	1.60	0.16
MP	2.10	0.21
DO	0.70	0.07
DONP	1.20	0.12

Cuadro 6: Resumen Evento E3 de duración $D_{E3} = 10$

Tipo	Dur. Equiv. [hrs]	Cantidad
MC	5.10	3
MP	3.60	2
DO	0.70	1
DONP	1.20	1

Cuadro 7: Duraciones Equivalentes y por Tipo de Falla

Dado que los indicadores de Disponibilidad y Utilizacion se calculan con las sumatorias de las duraciones equivalentes por tipo, los resultados no cambian utilizando el esquema por eventos.

$$A = 0,6375$$

$$U = 0,5166$$

Pero el $MTTR$ se ve modificado:

$$MTTR = \frac{T_{MC}}{\#_{MC}}$$

$$MTTR = \frac{5,10}{3}$$

$$MTTR = 1,70$$

La figura 6 muestra una visión más gráfica de lo que se realiza sobre las fallas en cada evento sobre la figura 1. Básicamente, se generan 'pisos' por cada tipo de falla y se alargan a la duración del evento contenedor. Esta transformación es sólo matemática, dado que las fallas realmente no sufren ningún tipo de modificación. Se puede comprobar que todos los cálculos realizados anteriormente concuerdan con esta representación.

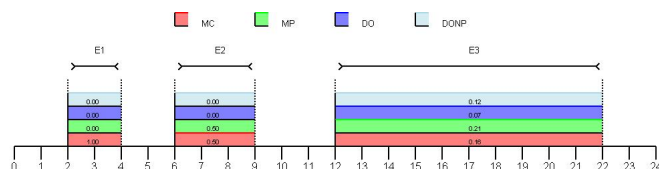


Figura 6: Evento como pisos de falla por tipo.

	]0 %,25 %[	[25 %,50 %[	[50 %,75 %[	[75 %,100 %[	100 %
MC	1		1		1
MP	1		1		
DO	1				
DONP	1				

Cuadro 8: Categorización por Impacto Equivalente por Tipo de Falla

5. MTBF Histórico

El Tiempo Medio entre Fallas siempre a resultado ser un indicador conceptualmente esquivo, particularmente a nivel de subsistema, dado que a nivel de equipo la idea de MTBF es más o menos clara y aceptada. Ahora, teniendo en mente la visión de eventos a nivel de subsistema, el problema se bastante más claro y abordable.

Actualmente, el MTBF en un intervalo de tiempo se calcula con la siguiente ecuación:

$$MTBF_h = \frac{T_U}{\#_{MC} + 1}$$

donde $MTBF_h$ es el MTBF actualmente calculado en RMES, T_U es el tiempo asociado a las detenciones de tipo MC y $\#_{MC}$ es la cantidad de fallas de tipo MC (para este contexto, aclaremos que cantidad se refiere al número de eventos en donde el tipo MC tiene un Impacto Equivalente distinto de 0).

A continuación, en este capítulo y por simplicidad, el concepto de MTBF se explicará a nivel de equipo, teniendo en cuenta que lo explicado tiene directa relación con lo que puede suceder a nivel de subsistema, sólo basta darse cuenta de que una "detención" en un subsistema es un evento y que éste último se compone de una falla por tipo con Impacto entre $[0, 1]$.

En primer lugar, el $MTBF_h$ parte de la base de que al inicio y al final del término de un periodo de estudio, el subsistema tiene fallas de tipo MC. En segundo lugar, es necesario explicar por que se utiliza T_U en vez de T_A . La razón es que el indicador $MTBF_h$ se asocia al tiempo de funcionamiento efectivo del subsistema, símil a un horómetro. La figura 7 representa gráficamente el concepto de $MTBF_h$ como horómetro. Recordar que el Tiempo de Uso/Utilización T_U se refiere al tiempo efectivo de funcionamiento del subsistema.

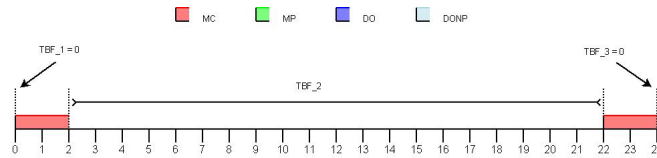


Figura 7: Representación gráfica del MTBF. T_{A_i} es el i -ésimo tiempo disponible. T_{U_i} es el i -ésimo tiempo de utilización. TBF_i es el i -ésimo Tiempo Entre Falla.

Se puede observar que la división por $\#_{MC} + 1$ en la ecuación del MTBF se refiere a la cantidad de intervalos a contar. La figura 7 muestra claramente 3 intervalos. El principal problema de este indicador es precisamente la cantidad de intervalos que se toman en cuenta para el cálculo.

Veamos el ejemplo de la figura 8, el cual representa un caso extremo. El valor del $MTBF_h$ es de 6,66. Como se puede observar, los TBF's del inicio y del fin se consideran 0 (dado que se asume la existencia de fallas MC al inicio al fin del periodo).

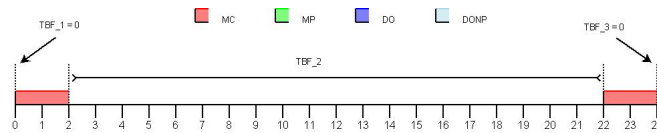


Figura 8: Estudio de caso extremo para MTBF

$$MTBF_h = \frac{0 + 20 + 0}{3} = 6,66$$

Dado que esta situación es poco probable y, en general, la cantidad de detenciones/fallas que cada subsistema tiene es considerable, el efecto de "fallas en los costados" se vuelve despreciable.

6. MTBF Histórico/Probabilístico

La suposición de fallas MC en los extremos es discutible, dado que en realidad no se sabe lo que sucede antes o después del intervalo. Una visión alternativa es utilizar la ecuación probabilística del $MTBF_p$:

$$A = \frac{MTBF_p}{MTBF_p + MTTR}$$

$$MTBF_p = \frac{A * MTTR}{1 - A}$$

A diferencia del indicador $MTBF_h$, el valor que entrega es un valor probabilístico al cual el indicador $MTBF_h$ tendería en presencia de una repetición cíclicas del intervalo. Observemos la figura 9. El caso inicial de estudio es el caso (1). Los casos (2), (3) y (4) simplemente son ciclos de repetición del caso (1) para enfatizar la génesis del indicador $MTBF_p$. El caso (1) contiene una única falla. Los TBF's que se muestran se refieren a los que el indicador $MTBF_h$ tomaría en cuenta.

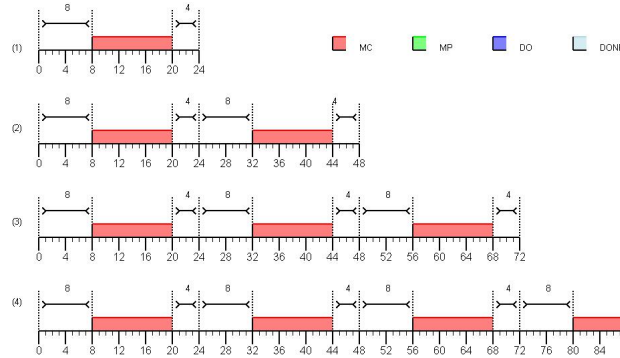


Figura 9: MTBF Histórico/Probabilístico

La tabla 9 resume los resultados para la figura 9. En esta tabla se puede observar que el valor del $MTBF_h$ converge al valor $MTBF_p$ a medida que aumentan los ciclos de repetición del intervalo de estudio inicial. En el infinito, el valor de $MTBF_h$ converge a $MTBF_p$.

Caso	T_U	$\#_{MC}$	$MTBF_h$	A	$MTTR$	$MTBF_p$
1	12	1	6	0.5	12	12
2	24	2	8	0.5	12	12
3	32	3	8.75	0.5	12	12
4	46	4	9.2	0.5	12	12

Cuadro 9: Comparación de indicadores $MTBF_h$ y $MTBF_p$

El caso extremo que se presenta en la figura 10 el indicador $MTBF_p$ pierde consistencia, dado que el valor del $MTTR$ cambia a medida que se agrega ciclos. La tabla 10 resume los resultados. Ambos indicadores, $MTBF_h$ y $MTBF_p$, presentan una perturbación respecto al valor real asociado a tiempo entre fallas efectivo (sin considerar los bordes, en este caso, el valor del MTBF efectivo sería 12). A pesar de ello, el indicador $MTBF_p$ se acerca un poco más al valor real promedio.

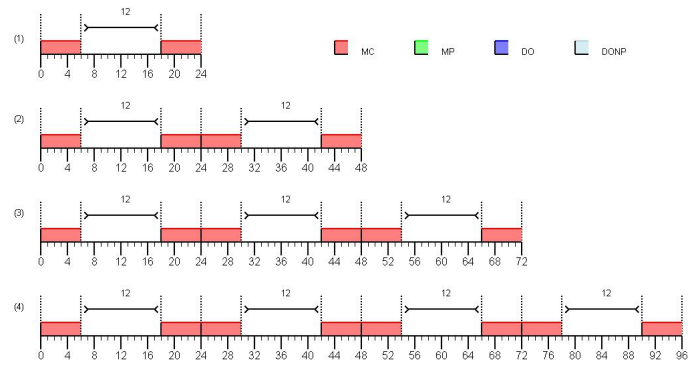


Figura 10: MTBF Histórico/Probabilístico. Caso Extremo

Caso	T_U	$\#_{MC}$	$MTBF_h$	A	$MTTR$	$MTBF_p$
1	12	2	4	0.5	6	6
2	24	3	6	0.5	8	8
3	32	4	6.4	0.5	9	9
4	46	5	7.6	0.5	9.6	9.6

Cuadro 10: Comparación de indicadores $MTBF_h$ y $MTBF_p$ en caso extremo