

Manual técnico de los reportes del software R-MES

Centro de Desarrollo de Gestión Empresarial
1 Oriente 1007 – Viña del Mar – Chile
Fono: (56) (32) 2688987 – Fax: (56) (32) 2684079
empresa@cghessa.com

Pamela Cuevas González
Ingeniero Analista
Septiembre 2012

Jaime Carmi Norambuena
Líder de Desarrollo
Octubre 2012

Resumen

Este documento tiene por objetivo entregar información de fácil acceso de las fórmulas de los reportes históricos y probabilísticos del software R-MES. Para comenzar se presentan las fórmulas de indicadores tanto de uso como de tiempos medios que están implementadas en las versiones CGS, ELABRA y XSTRATA de R-MES. Luego se continúa explicando la manera de cálculo de cada reporte. En el caso que se requiera, la explicación se deriva a otros documentos, los que han sido construidos antes que éste, de tal que este trabajo sirva de complemento a los estudios antes realizados y no los sustituya.

Se debe considerar que este documento está hecho suponiendo que el lector tiene conocimientos previos del uso del software R-MES, de lo contrario es recomendable que se visite (Gonzalez, Introducción a Algoritmos en RMES, 2012), (Gonzalez & Cuevas, Algoritmo Probabilístico, 2012) y (Gonzalez, Heidke, & Cuevas, Algoritmo Histórico, 2012).

Este manual técnico está relacionado con las siguientes versiones de R-MES:

Versión	Versión
CGS	6.4
ELABRA	6.4
ESCONDIDA	6.4
MEJILLONES	6.4
XSTRATA	6.4



Contenido

1.	Nomenclatura.....	5
1.1.	Eventos.....	5
1.2.	Tiempos.....	5
1.3.	Cantidad	5
2.	Informes Históricos	6
2.1.	Comparación versiones para indicadores de Uso y tiempos medios	6
2.1.1.	KPIS comunes a todas las versiones.....	6
2.1.1.	KPIS CGS	7
2.1.2.	KPI ELABRA	7
2.1.1.	KPIS ESCONDIDA.....	8
2.1.2.	KPIS MEJILLONES	9
2.1.1.	KPIS XSTRATA	9
2.2.	Reporte Disponibilidad.....	10
2.3.	Reporte de Costo.....	10
2.3.1.	Costo de la falta (CF)	10
2.3.2.	Costo de Mantenimiento (CM)	13
2.3.3.	Costos Globales	13
2.3.4.	Disponibilidad.....	13
2.3.5.	TI totales.....	13
2.3.6.	TI Correctivas.....	14
2.4.	Reporte de Análisis de Criticidad	14
2.4.1.	Indisponibilidad (IN)	14
2.4.2.	Consecuencia (C)	14
2.4.3.	Incidencia (I)	15
2.4.4.	Costo de Falta (CF).....	15
2.4.5.	Costo seguridad ambiental (CSA).....	15



2.4.6.	Factor CSA	15
2.4.7.	Valor de Riesgo (<i>Vriesgo</i>)	15
2.4.8.	Costo de intervención promedio (CI)	15
2.4.9.	Costo total (CT).....	16
2.5.	Reporte de Verificación y control de datos.....	16
2.5.1.	Verificación y control de datos.....	16
2.5.2.	Grilla de datos	16
2.6.	Reporte de Modos de falla.....	17
2.6.1.	Modos de falla.....	17
2.6.2.	Síntoma	18
2.6.3.	Causa	18
2.7.	Reporte de Jack Knife.....	19
2.8.	Reporte de Mantenimiento	19
2.8.1.	Mantenimiento correctiva	19
2.8.2.	Actividades Programadas/ No programadas	20
2.8.3.	Indicadores porcentuales.....	20
2.8.4.	Indicadores Mantenimiento Operación.....	21
2.8.5.	Rango de eventos.....	21
2.9.	Reporte Mix mantenimiento	22
2.10.	Reporte Nelson Aalen	23
2.11.	Reporte Diagrama de Pareto.....	23
2.11.1.	Mantenciones correctivas.....	24
2.11.2.	D. Operacionales	24
2.11.3.	M. preventivas.....	24
2.12.	Reporte de indicadores Estadísticos	24
2.13.	Reporte de Producción.....	24
2.13.1.	Producción.....	24
2.13.2.	Productividad	25
2.13.3.	Overall Equipment Effectiveness	25
2.13.4.	Producción real vs. Producción meta.....	26



3. Informes Probabilísticos.....	27
3.1. Reporte de Costos.....	30
3.2. Reporte de Mantenimiento.....	31
3.3. Reporte Mission time.....	31
3.4. Reporte indicadores probabilísticos.....	32
3.4.1. Confiabilidad (R).....	33
3.4.2. Disponibilidad.....	34
3.4.3. Disponibilidad/MTTI (<i>AMTTI</i>).....	34
3.4.4. Costo de Falta (CF).....	34
3.5. Reporte de tiempos medios.....	36
3.5.1. MTBF.....	36
3.5.2. MTTR.....	37
3.5.3. MTTI.....	37
3.5.4. Etapa.....	38
3.5.5. Distribución.....	38
3.6. Reporte de Confiabilidad.....	39
3.6.1. Confiabilidad (<i>Rt</i>).....	39
3.6.2. Tasa de falla.....	40
Bibliografía.....	43

1. Nomenclatura

1.1. Eventos

- MC: Mantenimiento No Programado/Correctiva
- MCM: Mantenimiento No Programado/Correctiva Mecánica
- MCE: Mantenimiento No Programado/Correctiva Eléctrica
- MCI: Mantenimiento No Programado/Correctiva Instrumental
- MP: Mantenimiento Programado/Preventiva
- DO: Mantenimiento Operacional Programado
- DONP: Mantenimiento Operacional No Programado
- OD: Demora programada
- ODNP: Demora No programada
- AONP: Atraso Operacional no programado

1.2. Tiempos

- T_M : Tiempo total de eventos MP
- T_{MC} : Tiempo total de eventos MC
- T_{MCM} : Tiempo total de eventos MCM
- T_{MCE} : Tiempo total de eventos MCE
- T_{MCI} : Tiempo total de eventos MCI
- T_{DO} : Tiempo total de eventos DO
- T_{DONP} : Tiempo total de eventos DONP
- T_{OD} : Tiempo total de eventos OD
- T_{ODNP} : Tiempo total de eventos ODNP
- T_{AONP} : Tiempo total de eventos AONP

1.3. Cantidad

- N_{MP} : Cantidad total de eventos MP
- N_{MC} : Cantidad total de eventos MC
- N_{MCM} : Cantidad total de eventos MCM
- N_{MCE} : Cantidad total de eventos MCE
- N_{MCI} : Cantidad total de eventos MCI
- N_{DO} : Cantidad total de eventos DO
- N_{DONP} : Cantidad total de eventos DONP
- N_{OD} : Cantidad total de eventos OS
- N_{ODNP} : Cantidad total de eventos ODNP
- N_{AONP} : Cantidad total de eventos AONP



2. Informes Históricos

Previamente, introduciremos los siguientes conceptos:

$$T_{POSIBLE} = T_{CALENDARIO} - T_{AONP}$$

$$T_{DISPONIBLE} = T_{POSIBLE} - T_{MC} - T_{MP}$$

$$T_{USO} = T_{POSIBLE} - T_{MC} - T_{MP} - T_{DO} - T_{DONP}$$

Donde el $T_{CALENDARIO}$ es el tiempo correspondiente al intervalo de tiempo de cálculo.

2.1. Comparación versiones para indicadores de Uso y tiempos medios

Antes de comenzar con los reportes de informes históricos, se muestran las tablas, la que entregan información de las similitudes y diferencias en el cálculo de los indicadores de uso y de tiempos medios entre las versiones CGS, ELABRA, Escondida, Mejillones y XSTRATA de R-MES. Toda versión adicional que no aparezca individualizada en este documento realiza los cálculos según la versión de CGS.

2.1.1. KPIS comunes a todas las versiones

KPIS	NOMBRE KPIS	Fórmulas comunes
A	Disponibilidad	$\frac{T_{DISPONIBLE}}{T_{POSIBLE}}$
U	Utilización	$\frac{T_{USO}}{T_{POSIBLE}}$
UE	Utilización Efectiva	$\frac{T_{USO}}{T_{DISPONIBLE}} = \frac{U}{A}$
MTBT	Tiempo medio entre MC, MP, DONP y DO	No se encuentra implementada como reporte
MTTI	Tiempo medio de Intervención	$0 \quad \text{si} \quad N_{MC} + N_{MP} = 0$ $\frac{T_{MC} + T_{MP}}{N_{MC} + N_{MP}} \quad \text{si} \quad N_{MC} + N_{MP} > 0$
MTTR	Tiempo medio de reparación	$0 \quad \text{si} \quad N_{MC} = 0$ $\frac{T_{MC}}{N_{MC}} \quad \text{si} \quad N_{MC} > 0$
MTTRE	Tiempo medio de reparación eléctrica	$0 \quad \text{si} \quad N_{MCE} = 0$ $\frac{T_{MCE}}{N_{MCE}} \quad \text{si} \quad N_{MCE} > 0$
MTTRI	Tiempo medio de reparación instrumental	$0 \quad \text{si} \quad N_{MCI} = 0$ $\frac{T_{MCI}}{N_{MCI}} \quad \text{si} \quad N_{MCI} > 0$



MTTRM	Tiempo medio de reparación mecánica	$0 \quad \text{si} \quad N_{MCM} = 0$ $\frac{T_{MCE}}{N_{MCM}} \quad \text{si} \quad N_{MCM} > 0$
TTM	Tiempo para Mantenición	$TTM = T_{MC} + T_{MP}$

Tabla 1 KPIS Comunes

2.1.1. KPIS CGS

KPIS	NOMBRE KPIS	Fórmulas de CGS
MTBF	Tiempo medio entre fallas	$\frac{T_{USO}}{N_{MC} + 1}$
MTBME	Tiempo medio entre MC y MP	No se encuentra implementada como reporte
MTBOE	Tiempo medio entre DONP y DO	No se encuentra implementada como reporte
MTBS	Tiempo medio entre detenciones	$\frac{T_{USO}}{N_{MC} + N_{DONP} + 1}$
MTBT	Tiempo medio entre MC, MP, DONP y DO	No se encuentra implementada como reporte

Tabla 2 KPIS CGS

2.1.2. KPI ELABRA

KPIS	NOMBRE KPIS	Fórmulas ELABRA
MTBF	Tiempo medio entre fallas	$T_{USO} \quad \text{si} \quad N = 0$ $T_{USO} * 0,999 \quad \text{si} \quad N = 1$ $\frac{T_{USO}}{N} \quad \text{si} \quad N > 1$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $donde N = N_{MC}$ </div>
MTBME	Tiempo medio entre MC y MP	$T_{USO} \quad \text{si} \quad N = 0$ $T_{USO} * 0,999 \quad \text{si} \quad N = 1$ $\frac{T_{USO}}{N} \quad \text{si} \quad N > 1$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $donde N = N_{MC} + N_{MP}$ </div>



MTBOE	Tiempo medio entre DONP y DO	T_{USO} si $N = 0$
		$T_{USO} * 0,999$ si $N = 1$
		$\frac{T_{USO}}{N}$ si $N > 1$
donde $N = N_{DONP} + N_{DO}$		
MTBS	Tiempo medio entre detenciones	T_{USO} si $N = 0$
		$T_{USO} * 0,999$ si $N = 1$
		$\frac{T_{USO}}{N}$ si $N > 1$
		donde $N = N_{MC} + N_{MP} + N_{DONP} + N_{DO}$

Tabla 3 KPIS ELABRA

2.1.1. KPIS ESCONDIDA

KPIS	NOMBRE KPIS	Fórmulas Escondida
MTBF	Tiempo medio entre fallas	T_{USO} si $N \leq 1$
		$\frac{T_{USO}}{N}$ si $N > 1$
		donde $N = N_{MC}$
MTBME	Tiempo medio entre MC y MP	No se encuentra implementada como reporte
MTBOE	Tiempo medio entre DONP y DO	No se encuentra implementada como reporte
MTBS	Tiempo medio entre detenciones	T_{USO} si $N \leq 1$
		$\frac{T_{USO}}{N}$ si $N > 1$
		donde $N = N_{MC} + N_{MP} + N_{DONP} + N_{DO}$

Tabla 4 KPIS ESCONDIDA



2.1.2. KPIS MEJILLONES

KPIS	NOMBRE KPIS	Fórmulas Mejillones
MTBF	Tiempo medio entre fallas	$T_{USO} \quad \text{si} \quad N = 0$ $T_{USO} * 0,999 \quad \text{si} \quad N = 1$ $\frac{T_{USO}}{N} \quad \text{si} \quad N > 1$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $donde N = N_{MC}$ </div>
MTBME	Tiempo medio entre MC y MP	No se encuentra implementada como reporte
MTBOE	Tiempo medio entre DONP y DO	No se encuentra implementada como reporte
MTBS	Tiempo medio entre detenciones	$T_{USO} \quad \text{si} \quad N = 0$ $T_{USO} * 0,999 \quad \text{si} \quad N = 1$ $\frac{T_{USO}}{N} \quad \text{si} \quad N > 1$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $donde N = N_{MC} + N_{DONP}$ </div>

Tabla 5 KPIS MEJILLONES

2.1.1. KPIS XSTRATA

KPIS	NOMBRE KPIS	Fórmulas XSTRATA
MTBF	Tiempo medio entre fallas	$\frac{T_{USO}}{N_{MC} + 1}$
MTBME	Tiempo medio entre MC y MP	No se encuentra implementada como reporte
MTBOE	Tiempo medio entre DONP y DO	No se encuentra implementada como reporte
MTBS	Tiempo medio entre detenciones	$T_{USO} \quad \text{si} \quad N = 0$ $T_{USO} * 0,999 \quad \text{si} \quad N = 1$ $\frac{T_{USO}}{N} \quad \text{si} \quad N > 1$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $donde N = N_{MC} + N_{MP}$ </div>

Tabla 6 KPIS XSTRATA



Las diferencias de cálculo de indicadores entre las versiones analizadas sólo se encuentran en la tabla 1, ya que el resto de fórmulas a presentar en cada reporte son las mismas para las versiones CGS, ELABRA y XSTRATA. Pero hay que mencionar que la versión XSTRATA tiene algunas diferencias en sus nomenclaturas, las que se señalan a continuación:

CGS y ELABRA	XSTRATA
MC	BL
MP	PL
DONP	OS
UE	UA

Tabla 2. Diferencias nomenclaturas.

Donde UA es llamado **Uso de la Disponibilidad**.

2.2. Reporte Disponibilidad

En este reporte se calculan los indicadores de **Disponibilidad (A)**, **Utilización (U)** y **Utilización efectiva (UE)** para todos los nodos. El UE también es llamado **Uso de la Disponibilidad**.

En la tabla 1 se encuentran las fórmulas de estos indicadores.

Para todos los nodos (bloques, configuraciones o la planta) las fórmulas de estos indicadores son las mismas.

2.3. Reporte de Costo

En este reporte se calcula:

- Costo de la Falta [\$]
- Costo de Mantenición [\$]
- Costos Globales [\$]
- Disponibilidad [%]
- TI totales [1/hr]
- TI Correctivas [1/hr]

A continuación se explican cada uno de estos puntos:

2.3.1. Costo de la falta (CF)

Es también llamado **costo de ineficiencia** o **Costo de oportunidad**. Éste se define como la medida monetaria de la pérdida económica causada por indisponibilidad de los bloques para producir.

El **Costo de la falta** se calcula desde los nodos padres a los hijos, finalizando con los bloques más abajo del árbol estructural. De este modo, el primero en calcularse es el CF de la planta.



Pero antes de comenzar con la explicación del proceso de cálculo, se requiere especificar que en RMES, únicamente para la obtención del CF, se calculan 2 disponibilidades por cada nodo de la planta, las cuales se llaman Disponibilidad Real (A_{real}) y Disponibilidad Imaginaria (A_{img}).

A_{real} considera todas las detenciones asociadas al nodo, tanto las propias como la de los hijos (es decir, la disponibilidad tal como se entiende en todo el presente documento). A_{img} , sólo usa las detenciones de los hijos para ser calculada sin considerar las detenciones que el nodo pueda tener cargadas. Esta última, no es visible para el usuario y no se presenta en ningún reporte.

De lo anterior se pueden concluir varias ideas:

- Dado que los bloques no tienen hijos, ambas disponibilidades siempre serán iguales.
- Si una configuración no tienen detenciones propias, ambas disponibilidades serán iguales.
- A_{real} siempre es menor o igual que A_{img} .

La razón de calcular A_{real} y A_{img} se debe a que de lo contrario se produce una inconsistencia que genera **Consecuencias** mayores a 100% (en el punto 2.4.2 de este documento se explica la **Consecuencia**).

Además, es necesario definir 3 Costos de la Falta, asociados a todo nodo de la planta:

- CF_{global} : es el CF asociado a todo el sistema, nodo e hijos (se muestra en el reporte)
- $CF_{a\ repartir}$: es el CF que reparte el nodo padre a sus hijos (invisible para el usuario)
- CF_{propio} : es el CF asociado directamente al nodo por causa de sus detenciones y se obtiene de la diferencia entre CF_{global} y $CF_{a\ repartir}$ (invisible para el usuario).

Las tablas 3 y 4 muestran un pequeño ejemplo de esto, en donde se muestra una planta que es compuesta sólo por dos bloques:

Disponibilidad	A_{real}	A_{img}
Planta	$A_{real\ p}$	$A_{img\ p}$
Bloque 1	$A_{real\ 1}$	$A_{img\ 1}$
Bloque 2	$A_{real\ 2}$	$A_{img\ 2}$

Tabla 3. Cálculo de Disponibilidades.

Datos entregados por RMES	A	CF
Planta	$A_{real\ p}$	$CF_{global\ p}$
Bloque 1	$A_{real\ 1}$	$CF_{global\ 1}$
Bloque 2	$A_{real\ 2}$	$CF_{global\ 2}$

Tabla 4. Valores entregados por RMES

El primer paso es calcular el CF de la planta y para ello los parámetros requeridos son:

- **Facturación anual (FA):** Se ingresa por el usuario en propiedades de la planta. Por defecto el valor es 8.760[\$], lo que representa 1 [\$] por hora en el año (= 1 [\$]*24 [hr]* 365 [día]).
- **Impacto costo variable (ICV):** Se ingresa por el usuario en propiedades de la planta.
- **Horas anuales de operación (HOA):** En R-MES siempre corresponde a 8.760[hr], lo cual representa una operación continua las 24 horas del día.
- **Disponibilidad de la planta (A_p):** En la Tabla 1 se encuentra la fórmula de cálculo de este indicador.

Para comenzar se calcula el **Costo de falta horario (CFH)** de la planta:

$$CFH_p = \frac{FA * (1 - ICV)}{HOA}$$

El CFH_p representa el costo de la falta unitario (en 1 unidad de tiempo) de la planta.

Luego se calculan los Costos de Falta de la planta en el periodo:

$$CF_{global\ p} = (1 - A_{real\ p}) * CFH_p * T_{POSIBLE}$$

$$CF_{a\ repartir\ p} = \frac{(1 - A_{img\ p})}{(1 - A_{real\ p})} * CF_{global\ p}$$

$$CF_{propio\ p} = CF_{global\ p} - CF_{a\ repartir\ p}$$

Donde,

$T_{POSIBLE}$: es el **Tiempo base** o **Tiempo posible**. En R-MES $T_{POSIBLE}$ es igual al **Tiempo calendario**, el cual es el periodo comprendido entre las fechas inicial (Desde) y final (Hasta), las que deben ser ingresadas por el usuario en la ventana del reporte.

Luego, se calculan los Costos de la Falta de cada nodo hijo directo, y si éstos también tienen hijos, se continúa recursivamente con ellos, y así sucesivamente. Estando sobre el nodo padre y analizando los hijos directo, se obtiene el indicador de la sumatoria de Indisponibilidad Real Impactada ($SumIndImp$):

$$SumIndImp = \sum_{i=1}^n (1 - A_{real\ hijo\ i}) * Imp_{hijo\ i}$$

Donde,

$Imp_{hijo\ i}$: es el impacto del hijo i en el padre. El impacto de los nodos en fraccionamiento se ingresa en propiedades de la configuración, y para los equipos en redundancia se calcula de acuerdo al MinToWork ingresado. Para el resto de las configuraciones se asume que el impacto de sus nodos es 100%.



Posteriormente, se continúa con los siguientes cálculos:

$$CF_{global\ hijo\ i} = \frac{(1 - A_{real\ hijo\ i}) * Imp_{hijo\ i}}{SumIndImp} * CF_{a\ reparar\ padre}$$

$$CF_{a\ repartir\ hijo\ i} = \frac{(1 - A_{img\ hijo\ i}) * Imp_{hijo\ i}}{(1 - A_{real\ hijo\ i}) * Imp_{hijo\ i}} * CF_{global\ hijo\ i}$$

$$CF_{propio\ hijo\ i} = CF_{global\ hijo\ i} - CF_{a\ repartir\ hijo\ i}$$

Donde,

$CF_{global\ hijo\ i}$: es el Costo de Falta Global del nodo hijo i

$CF_{a\ reparar\ padre}$: es el Costo de Falta a Repartir del padre

$CF_{a\ repartir\ hijo\ i}$: es el Costo de Falta a Repartir del nodo hijo i

2.3.2. Costo de Mantenimiento (CM)

Para cada nodo, es la suma de los costos asociados a cada una de sus tuplas. Los costos de cada tupla son los que están registrados en el documento CSV importado a la planta. Para las configuraciones el costo de mantenimiento es la suma de los costos de sus nodos hijos y de los costos de sus propias tuplas en el caso que las tenga.

Si bien el nombre es “costo de mantenimiento”, los costos considerados son de todos los tipos de tuplas (de mantenimiento, detención operacional o demora). Por lo mismo, también se le llama **costo de intervención**.

2.3.3. Costos Globales

Para todos los nodos, es la suma del **Costo de la falta** y del **Costo de mantenimiento**:

$$C_{global} = CF + CM$$

2.3.4. Disponibilidad

En la tabla 1 se encuentran la fórmula de este indicador.

2.3.5. TI totales

Es el número de total de mantenencias (programadas y correctivas) dividido el **Tiempo posible (o tiempo base)**.

$$TI\ totales = \frac{N_{MC} + N_{MP}}{T_{POSIBLE}}$$

El $T_{POSIBLE}$ se explica en el punto 2.3.1 de este documento.



2.3.6. TI Correctivas

Es el número de mantenciones correctivas dividido el **Tiempo posible**.

$$TI \text{ correctivas} = \frac{N_{MC}}{T_{POSIBLE}}$$

2.4. Reporte de Análisis de Criticidad

En este reporte se generan los siguientes datos:

- Disponibilidad [%]
- Consecuencia [%]
- Incidencia [hr]
- Costo de Falta [\$]
- Costo seguridad ambiental [\$]
- Factor CSA
- Valor de Riesgo [\$]
- Costo de intervención promedio [\$]
- Costo total [\$]

Estos parámetros se calculan de la misma manera para todos los tipos de nodos (bloques, configuraciones o la planta).

2.4.1. Disponibilidad (IN)

Este indicador se calcula para cada nodo i de la siguiente manera:

$$IN_i = 1 - A_i$$

Donde,

A_i : Disponibilidad del i -ésimo nodo. Su fórmula se encuentra en la tabla 1.

2.4.2. Consecuencia (C)

Es la relación entre las horas de detención provocadas a la planta, sobre el tiempo de intervención del equipo (mantenimiento).

Para cada nodo i se calcula de la siguiente manera:

$$C_i = \frac{I_i}{IN_i * T_{POSIBLE}}$$

Donde,

I_i : es la **Incidencia** del i -ésimo nodo. Se explica en el próximo ítem.

$T_{POSIBLE}$: es el **tiempo posible** o **base**. Se explica en el punto 2.3.1 de este documento.

2.4.3. Incidencia (I)

Se define como tiempo de detención en la planta provocado por el nodo i , y su fórmula es:

$$I_i = \frac{CF_i}{CFH_p}$$

Donde,

CF_i : es el **Costo de la Falta** del i -ésimo nodo. Se explica en el punto 2.3.1 de este documento.

CFH_p : es el **Costo de la Falta horario de la planta**. Se explica en el punto 2.3.1 de este documento.

2.4.4. Costo de Falta (CF)

Se explica en el punto 2.3.1 de este documento.

2.4.5. Costo seguridad ambiental (CSA)

Es el costo por daños al medio ambiente provocadas por las detenciones por fallas de los nodos. Los valores deben ser ingresados por el usuario en el botón “Costos” del reporte.

2.4.6. Factor CSA

Cuando no se conoce un valor monetario del costo por seguridad ambiental, es posible usar el Factor CSA, el que representa cualitativamente los posibles daños ambientales ante las fallas de los nodos. También debe ser ingresado por el usuario en el botón “Costos” del reporte.

Este factor es usado en el gráfico de dispersión de riesgo de seguridad ambiental.

2.4.7. Valor de Riesgo (V_{riesgo})

Es la suma del costo de falta y de seguridad ambiental.

$$V_{riesgo} = CF * CSA$$

El valor de riesgo es usado en el gráfico de análisis de riesgo cuantitativo de seguridad ambiental.

2.4.8. Costo de intervención promedio (CI)

Para cada nodo, es el promedio de los costos asociados a cada una de sus tupla. Los costos de cada tupla son los que están registrados en el documento CSV importado a la planta. Para las configuraciones el **Costo de intervención** es la suma de los costos de sus nodos hijos y de los costos de sus propias tuplas en el caso que las tenga, y dividiendo el **Costo de intervención** por el número de tuplas, se obtiene el promedio.

El **Costo de intervención** también es llamado **Costo de mantención**, el cual es descrito en este documento en el punto 2.3.2.



2.4.9. Costo total (CT)

Para cada nodo, es la suma del costo de la falta y el costo de intervención promedio:

$$CT = CF + CI$$

2.5. Reporte de Verificación y control de datos

Primero se debe considerar que este reporte entrega datos de tuplas y no de eventos.

Este reporte es generado en dos pestañas: **Verificación y control de datos** y **Grilla de datos**. Los datos que cada uno de ellos entrega se explican a continuación:

2.5.1. Verificación y control de datos

Entrega datos de las tuplas de cada nodo. Sólo tendrán datos los nodos que tienen detenciones registradas en el CSV importado a la planta.

- **N° Tuplas:** Número de tuplas totales
- **N° Correctivas:** Número total de tuplas que son mantenciones correctivas. Es la suma del número de tuplas de mantenciones correctivas eléctricas, instrumentales y mecánicas.
- **N° Correctivas E:** Número de tuplas que son mantenciones correctivas eléctricas
- **N° Correctivas I:** Número de tuplas que son mantenciones correctivas instrumentales
- **N° Correctivas M:** Número de tuplas que son mantenciones correctivas mecánicas preventivas
- **N° Det. Operacionales:** Número total de tuplas que son detenciones operacionales programadas
- **N° Det. Operacionales No Prog.:** Número total de tuplas que son detenciones operacionales no programadas
- **N° Demoras Operacionales:** Número total de tuplas que son demoras operacionales programadas
- **N° Demoras Operacionales No Prog.:** Número total de tuplas que son demoras operacionales no programadas
- **Fecha Inicial:** Fecha y hora de inicio de la primera detención
- **Fecha Final:** Fecha y hora de finalización de la última detención

2.5.2. Grilla de datos

Muestra las tuplas con las que cada nodo cuenta.

En este caso también se hallarán sólo datos de los nodos que tengas detenciones registradas en el CSV importado a planta.

Cada fila representa los datos de una tupla, los cuales son los siguientes:

- **Fecha:** Fecha y hora de inicio de la tupla
- **Duración:** Duración de la tupla



- **Costo:** Costo que provoca la tupla
- **Tipo:** Tipo de tupla. Los tipos posibles son:
 - Mantenimiento Programada
 - Mantenimiento Correctiva eléctrica
 - Mantenimiento Correctiva instrumental
 - Mantenimiento Correctiva mecánica
 - Detención Programada (es la detención operacional programada)
 - Detención No Programada (es la detención operacional no programada)
 - Demora Programada
 - Demora no programada
- **Nick:** Nick o código del equipo
- **Det. Sistema:** Responde a la pregunta ¿esta tupla detiene al sistema? La alternativas son SI o No.
- **Síntoma:** Código del síntoma asociado a la tupla
- **Modo de Falla:** Código del modo de falla asociado a la tupla.
- **Causa:** Código de la Causa asociada a la tupla
- **Orden:** Orden de trabajo de la tupla

2.6. Reporte de Modos de falla

Este reporte entrega datos de los Modos de falla, Causa y Síntoma asociados a mantenencias correctivas.

2.6.1. Modos de falla

Los datos entregados en este reporte son:

- **Id:** Código del modo de falla
- **Modo de Falla:** Descripción del modo de falla
- **Cantidad total:** Número total de las mantenencias correctivas que se encuentran asociadas al modo de falla.
- **Duración total:** Duración total de las mantenencias correctivas que se encuentran asociadas al modo de falla.
- **Cantidad MCE:** Número de las mantenencias correctivas eléctricas que se encuentran asociadas al modo de falla.
- **Cantidad MCI:** Número de las mantenencias correctivas instrumentales que se encuentran asociadas al modo de falla.
- **Cantidad MCM:** Número de las mantenencias correctivas mecánicas que se encuentran asociadas al modo de falla.
- **Duración MCE:** Suma de las duraciones de las mantenencias correctivas eléctricas que se encuentran asociadas al modo de falla.
- **Duración MCI:** Suma de las duraciones de las mantenencias correctivas instrumentales que se encuentran asociadas al modo de falla.



- **Duración MCM:** Suma de las duraciones de las mantenencias correctivas mecánicas que se encuentran asociadas al modo de falla.

2.6.2. Síntoma

Los datos entregados en este reporte son:

- **Id:** Código del síntoma
- **Modo de Falla:** Descripción del síntoma
- **Cantidad total:** Número total de las mantenencias correctivas que se encuentran asociadas al síntoma.
- **Duración total:** Duración total de las mantenencias correctivas que se encuentran asociadas al síntoma.
- **Cantidad MCE:** Número de las mantenencias correctivas eléctricas que se encuentran asociadas al síntoma.
- **Cantidad MCI:** Número de las mantenencias correctivas instrumentales que se encuentran asociadas al síntoma.
- **Cantidad MCM:** Número de las mantenencias correctivas mecánicas que se encuentran asociadas al síntoma.
- **Duración MCE:** Suma de las duraciones de las mantenencias correctivas eléctricas que se encuentran asociadas al síntoma.
- **Duración MCI:** Suma de las duraciones de las mantenencias correctivas instrumentales que se encuentran asociadas al síntoma.
- **Duración MCM:** Suma de las duraciones de las mantenencias correctivas mecánicas que se encuentran asociadas al síntoma.

2.6.3. Causa

Los datos entregados en este reporte son:

- **Id:** Código de la causa
- **Modo de Falla:** Descripción de la causa
- **Cantidad total:** Número total de las mantenencias correctivas que se encuentran asociadas a la causa.
- **Duración total:** Duración total de las mantenencias correctivas que se encuentran asociadas a la causa
- **Cantidad MCE:** Número de las mantenencias correctivas eléctricas que se encuentran asociadas a la causa.
- **Cantidad MCI:** Número de las mantenencias correctivas instrumentales que se encuentran asociadas a la causa.
- **Cantidad MCM:** Número de las mantenencias correctivas mecánicas que se encuentran asociadas a la causa.



- **Duración MCE:** Suma de las duraciones de las manteniones correctivas eléctricas que se encuentran asociadas a la causa.
- **Duración MCI:** Suma de las duraciones de las manteniones correctivas instrumentales que se encuentran asociadas a la causa.
- **Duración MCM:** Suma de las duraciones de las manteniones correctivas mecánicas que se encuentran asociadas a la causa.

2.7. Reporte de Jack Knife

Los datos generados en este reporte son:

- Número de manteniones correctivas
- TTM [Hrs.]
- Número de Eventos Mantención [N°]
- Número de Eventos totales [N°]
- Disponibilidad [%]
- Utilización [%]
- MTBF [Hrs.]
- MTTR [Hrs.]
- MTBS [Hrs.]

El **TTM**, **Disponibilidad**, **Utilización**, **MTBF**, **MTTR** y **MTBS** se encuentran en la tabla 1. El resto de los parámetros se presentan a continuación:

- **Número de manteniones correctivas:** N_{MC}
- **Número de Eventos Mantención [N°]:** es el número de eventos de mantención correctiva y programada ($N_{MP} + N_{MC}$)
- **Número de Eventos totales [N°]:** Número total de eventos de mantención y detenciones operaciones.

$$\text{Número de Eventos totales} = N_{MP} + N_{MC} + N_{DO} + N_{DONP}$$

2.8. Reporte de Mantenimiento

Los datos que entrega este reporte se encuentran en cinco pestañas y cada una de ellas se explica a continuación.

2.8.1. Mantención correctiva

Las filas corresponden a los tipos de manteniones correctivas existentes:

- Mecánica
- Eléctrica
- Servicios/Instrumental



- Total (considera todos los eventos de mantención correctiva)

Para cada uno de estos tipos se entregan los siguientes datos:

- **Número de Fallas Impactadas:** Número de eventos
- **Duración [Hrs.]:** Duración total de los eventos
- **MTTR [Hrs.]:** Tiempo medio entre fallas. Las fórmulas se encuentran en la tabla 1.

La siguiente tabla es un cuadro resumen de este reporte:

	Número de Fallas	Duración (Hrs.)	MTTR(Hrs.)
Mecánica	N_{MCM}	T_{MCM}	$MTTRM$
Eléctrica	N_{MCE}	T_{MCE}	$MTTRE$
Servicios	N_{MCI}	T_{MCI}	$MTTRI$
Total	N_{MC}	T_{MC}	$MTTR$

Tabla 5. Mantención correctiva.

2.8.2. Actividades Programadas/ No programadas

En este reporte se entrega datos de eventos de mantenimiento y detenciones operacionales segmentadas entre las programadas y no programadas. La tabla 3 resume las fórmulas de este reporte:

	Número Eventos	Duración (Hrs.)
Act. Programada	$N_{MP} + N_{DO}$	$T_{MP} + T_{DO}$
Act. No Programada	$N_{MC} + N_{DONP}$	$T_{MC} + T_{DONP}$
Total	$N_{MP} + N_{DO} + N_{MC} + N_{DONP}$	$T_{MP} + T_{DO} + T_{MC} + T_{DONP}$

	P v/s NP (%)	P v/s NP (%)	P v/s NP (%)
Act. Programada	$\frac{N_{MP} + N_{DO}}{N_{MP} + N_{DO} + N_{MC} + N_{DONP}}$		$\frac{T_{MP} + T_{DO}}{T_{MP} + T_{DO} + T_{MC} + T_{DONP}}$
Act. No Programada	$\frac{N_{MC} + N_{DONP}}{N_{MP} + N_{DO} + N_{MC} + N_{DONP}}$		$\frac{T_{MC} + T_{DONP}}{T_{MP} + T_{DO} + T_{MC} + T_{DONP}}$
Total	\sum		\sum

Tabla 6. Mantención actividades programadas/no programadas.

El signo \sum representa en cada caso la suma de las dos últimas celdas.

2.8.3. Indicadores porcentuales

Los KPIS entregados por este reporte son:



- **Utilización Disponible:** Es la **Disponibilidad** (A)
- **Utilización Total:** Es **la Utilización** (U)
- **Utilización Neta:** Es el **Uso de la disponibilidad** (UE)

Las fórmulas de estas tres métricas se encuentran en la tabla 1.

2.8.4. Indicadores Mantenimiento Operación

Los KPIS calculados por este reporte son:

- **MTBF:** Tiempo medio entre fallas
- **MTTR:** Tiempo medio de reparación
- **MTBS:** Tiempo medio entre detenciones
- **TTM:** Tiempo para mantención
- **Tiempo corrido:** Tiempo de Uso

Las cuatro primeras métricas se encuentran en la tabla 1, en la sección **Informes Históricos** se describe el **tiempo de uso**.

2.8.5. Rango de eventos

Este reporte entrega el número de **eventos** de mantención y detenciones operacionales segmentados dependiendo del **impacto** de cada uno de ellos.

Los rangos de impactos considerados son:

- 100%
- [75%, 100%[
- [50%, 75%[
- [25%, 50%[
-]0%, 25%[

Por ejemplo, un evento de impacto 100% implica que él detuvo completamente el funcionamiento de su nodo. Mientras que un impacto del 50% quiere decir que el evento detuvo la mitad del nodo.

Se debe considerar que cuando se menciona **impacto de eventos** se está refiriendo a los **impactos equivalentes**. En el documento (Gonzalez, Heidke, & Cuevas, Algoritmo Histórico, 2012) se explica el conteo de eventos y cómo se calcula el impacto y las duraciones equivalentes.

Los tipos eventos evaluados son:

- MCM
- MCE
- MCI



- DO
- DNP (es el DONP)
- MP

Los datos que entregan las dos últimas filas del reporte son:

Mantenciones del Período: Es la suma de cada evento por su impacto sobre el nodo. Es así como la fórmula para cada tipo de evento es:

$$\text{Mantenciones del periodo } i = \sum_j e_{ij} * IM_{ij}$$

Donde,

i es el tipo de evento

j es el evento

e_{ij} : es el evento j del tipo i. Es igual a 1 puesto que presenta a un evento.

IM_{ij} = es el impacto equivalente del evento j de tipo i

Entonces:

$$\text{Mantenciones del periodo } i = \sum_j IM_{ij}$$

Horas de Mantenciones del Período: es la suma de la duración de los eventos (duración equivalente).

	MCM [N°]	MCE [N°]	MCI [N°]	DO [N°]	DNP [N°]	MP [N°]
Horas de Mantenciones de periodo	T_{MCM}	T_{MCE}	T_{MCI}	T_{DO}	T_{DONP}	T_{MP}

Tabla 7. Horas de Mantenciones del Período.

2.9. Reporte Mix mantención

Los KPIS entregados por este reporte son:

- **Disponibilidad:** Su formula se encuentra en la tabla 1
- **Horas MC:** T_{MC}
- **Horas MP:** T_{MP}
- **Número MC:** N_{MC}



- **Número MP:** N_{MP}
- **Total Horas:** $T_{MC} + T_{MP}$
- **Total Número:** $N_{MC} + N_{MP}$
- **% MC horas:**

$$\frac{T_{MC}}{T_{MC} + T_{MP}}$$

- **%MP Horas:**

$$\frac{T_{MP}}{T_{MC} + T_{MP}}$$

- **%MC Número:**

$$\frac{N_{MC}}{N_{MC} + N_{MP}}$$

- **%MP Número:**

$$\frac{N_{MP}}{N_{MC} + N_{MP}}$$

2.10. Reporte Nelson Aalen

La grilla de este reporte para **bloques** entrega datos de cada tupla, y para configuraciones y la planta muestra las **failure** (fallas). En lenguaje informático se usa la palabra **failure** para señalar tanto a detenciones operacionales como a demoras y a mantenimientos. Se debe tener presente que los failures no son eventos, pues estos últimos no tienen un impacto uniforme, mientras que los failures sí. Más bien, un evento en un conjunto de failures.

Los datos entregados son:

- **Fecha:** Fecha y hora de inicio del tupla/failure
- **Duración:** Duración del tupla/failure
- **Tipo:** Tipo del tupla/failure (MCE, MCI, MCM, MP, DO, DONP, OS o ODNP)
- **Det. Sistema:** Responde a la pregunta ¿este tupla/failure detiene al sistema? Las respuestas son SI/NO. En el CSV cargado a la planta deben encontrarse las respuestas.
- **Impacto:** Impacto del evento

2.11. Reporte Diagrama de Pareto

Según el tipo de eventos que el usuario seleccione será el resultado que arroje el reporte. De todas formas se presentan los valores que entrega cada selección:

2.11.1. Mantenciones correctivas

- **Eléctrica:**
 - Horas: T_{MCE}
 - Número: N_{MCE}
- **Mecánica:**
 - Horas: T_{MCM}
 - Número: N_{MCM}
- **Instrumental:**
 - Horas: T_{MCI}
 - Número: N_{MCI}

2.11.2.D. Operacionales

- **Operacionales:**
 - Horas: $T_{DO} + T_{DONP}$
 - Número: $N_{DO} + N_{DONP}$

2.11.3.M. preventivas

- **Preventivas**
 - Horas: T_{MP}
 - Número: N_{MP}

2.12. Reporte de indicadores Estadísticos

En este reporte se calculan los indicadores de tiempos medios absolutos y relativos. Los absolutos para la versión CGS y XSTRATA son: **MTBF**, **MTTR**, **MTBS** y **MTTI**, adicionalmente la versión ELABRA cuenta con los indicadores **MTBME** Y **MTBOE**. Las fórmulas para estos indicadores, según la versión de RMES, se encuentran en la tabla 1.

Los valores relativos no son más que la división de cada indicador por el **Tiempo posible** (o **tiempo base**). La definición de **Tiempo posible** se encuentra en la sección **Informes Históricos** de este documento.

Para todos los nodos (bloques, configuraciones o la planta) las fórmulas de estos indicadores son las mismas.

2.13. Reporte de Producción

El resultado de este reporte se encuentra segmentado en cuatro pestañas, las cuales se explican a continuación:

2.13.1. Producción

En este reporte se puede obtener las métricas separados por intervalos (los que establece el usuario en la ventana del reporte principal) y además un acumulado, que reúne los datos de todos los intervalos en análisis.



Los datos entregados por este reporte son:

- **Producción metal:** Es el volumen de producción planificado para un sistema en un período determinado. Se calcula en base a la producción meta diaria ingresada previamente por el usuario en la ventana del reporte principal, dependiendo los días considerados en el estudio y de la métrica escogida (día, semana, mes o año). Por ejemplo, puede ser igual a producción meta diaria si se selecciona la métrica de periodo **día** o puede ser la suma de semanal de las producciones metas diarias si se escoge **semana**.
- **Producción real:** Es la medición del volumen de producto generado por un sistema, en un período determinado. Se calcula en base a la producción real diaria importada previamente por el usuario en la ventana del reporte principal, dependiendo los días considerados en el estudio y de la métrica escogida (día, semana, mes o año).
- **Diferencia al plan:** Es la diferencia entre la producción real y la meta medida como volumen de producción:

$$\text{Diferencia plan} = \text{Producción real} - \text{Producción meta}$$

- **% de cumplimiento:** Es la división entre la producción real y la meta:

$$\% \text{ de cumplimiento} = \frac{\text{Producción real}}{\text{Producción meta}}$$

Además, si la producción real o la meta son cero el **% de cumplimiento** también es cero.

- **Disponibilidad:** Su fórmula se encuentra en la tabla 1.
- **Utilización:** Su fórmula se encuentra en la tabla 1.

2.13.2. Productividad

Los datos generados de este reporte son:

- **Disponibilidad:** Su fórmula se encuentra en la tabla 1.
- **Utilización:** Su fórmula se encuentra en la tabla 1.
- **Productividad:** Es la velocidad de procesamiento de un sistema, medida respecto del tiempo de utilización total de una planta. Se calcula como la razón entre la producción real y el tiempo de utilización del sistema. Se calcula de la siguiente manera

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Producción real}}{T_{uso}}$$

El T_{uso} (**Tiempo de Uso**) se define en la sección **Informes Históricos**.

2.13.3. Overall Equipment Effectiveness



Análisis histórico sistémico de los tiempos asociados a los factores de Disponibilidad, Utilización y Productividad de Planta cuya ponderación entrega el valor del indicador O.E.E. Los datos generados son:

- **Capacidad nominal de la planta (CN_p):** Este valor debe ser ingresado previamente por el usuario en propiedades del sistema (en **Capacidad Nominal**)
- **Producción real (P_{real}):** Es la producción real acumulada del periodo en análisis. La producción real se explica en el punto 2.13.1 de este documento.
- **Disponibilidad:** Su fórmula se encuentra en la tabla 1.
- **Uso de la disponibilidad:** Su fórmula se encuentra en la tabla 1, en la cual se llama **Utilización efectiva** (UE).
- **Utilización total:** Su fórmula se encuentra en la tabla 1, en la cual se llama **Utilización** (U).
- **Factor de Productividad:** se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Factor de Productividad} = \frac{\text{Tiempo neto op.} - |\text{Tiempo perdido o ganado}|}{\text{Tiempo neto op.}}$$

Donde,

Tiempo neto op.: Es el tiempo operacional neto y es igual a T_{USO} (**Tiempo de Uso**) el cual se explica en el documento (Gonzalez, Heidke, & Cuevas, Algoritmo Histórico, 2012).

Tiempo perdido o ganado : es igual a:

$$\text{Tiempo perdido o ganado} = \frac{P_{real} - CN_p * T_{USO}}{CN_p}$$

2.13.4. Producción real vs. Producción meta

Este reporte calcula los siguientes indicadores:

- Producción meta
- Producción real
- Tasa de producción

Estos KPIS se encuentran explicados en el punto **2.13.1** en donde la **Tasa de Producción** es igual al **% de Rendimiento**.



3. Informes Probabilísticos

Primero, se requiere mencionar que los reportes de informes probabilísticos generan métricas de uso y de tiempos medios, como la Disponibilidad, utilización, tiempo medio entre falla, entre otros, pero éstos no se calculan generalmente de la misma manera que los KPIS entregados por los informes históricos. Por lo tanto, aunque en RMES y en este documento se usen los mismos nombres y nomenclaturas, no se refieren a lo mismo a menos que se mencione explícitamente.

Algunos reportes de los informes probabilísticos, a diferencia de todos los reportes de los informes históricos, pueden ser calculados tanto con **datos históricos** (datos importados) como con datos ingresados **manualmente** en las propiedades de cada **bloque** (en las configuraciones y planta no se puede ingresar datos manuales). Los datos importados y manuales son excluyentes entre sí.

3. a Criterios de datos mínimos

Por otro lado, para comenzar con las explicaciones de los KPIS probabilísticos se debe mencionar que la distribución del **TBF** (tiempo entre fallas) sólo puede ser calculada con datos históricos y necesita un mínimo de datos importados, lo cual se basa en las restricciones:

- **Debe existir más de dos TBFs**
- **La varianza de los TBFs debe ser mayor que 0.00027777 horas (1 segundo)**

Por lo tanto, deben existir suficientes datos de **mantenciones correctivas** en los datos importados para cumplir con estas dos restricciones, de lo contrario no se calculará una distribución del TBF.

Es importante considerar estos criterios pues son parte fundamental de los cálculos de algunos KPIS.

En RMES, la distribución del TBF se calcula en base a datos históricos, pero sólo para bloques (equipos). A la planta y configuraciones **no** se les calcula la curva de TBF a pesar que tengan datos propios cargados.

3. b Casos existentes

La posibilidad de ingresar casos manuales o usar los datos importados, sumado a los criterios de datos mínimos y los tipos de distribuciones existentes del TBF, crea distintos escenarios, los cuales deben ser considerados para los cálculos de algunos reportes. Los casos son:

CASO 1

Se usan datos manuales, lo que implica:

No hay distribución TBF

**CASO 2**

Se usan datos importados y **no** se cumple con los criterios de datos mínimos, lo que implica:

No hay distribución TBF

CASO 3

Se usan datos importados y se cumple con los criterios de datos mínimos, lo que implica:

El TBF tiene distribución: TBF(t)

Su tipo distribución dependerá del ajuste de la curva más adecuado, el cual puede ser:

CASO 3.1. Distribución del TBF es Exponencial:

$$TBF(t) = 1 - e^{-(\lambda t)}$$

Donde λ es el parámetro de la distribución exponencial

CASO 3.2. Distribución del TBF es Weibull:

$$TBF(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}$$

Donde α es el parámetro de escala y β es el parámetro de forma.

En (Gonzalez & Cuevas, Algoritmo Probabilístico, 2012) se describen cada una de estas curvas y los criterios de elección de la distribución que mejor se ajusta a los datos, además allí se explica las regresiones lineales usadas para el cálculo de los parámetros α , β y λ .

Por otro lado, se debe considerar que la distribución exponencial es un caso particular de la distribución Weibull cuando $\beta=1$ y $\lambda = 1/\alpha$.



3. KPIS de propiedades del bloque

Como se mencionó, en informes probabilísticos se puede trabajar con datos manuales (**CASO 1**) o con datos históricos (**CASOS 2 y 3**), lo que se modifica en propiedades de cada **bloque**. Pero además, existen KPIS que se encuentran en propiedades del bloque que se ven directamente afectados del **CASO** en el que se encuentren, por lo que para tener una mejor comprensión de cómo el software calcula o asigna valores por defecto a estos KPIS, la tabla 8 los resume:

NOMBRE KPIS	KPIS	CASO 1	CASO 2	CASO 3	
				CASO 3.1	CASO 3.2
TASA DE FALLA	$E T_F(t) $	Ingresada por el usuario o $= \frac{1}{MTBF}$	0,0002	λ	$\frac{1}{\int_0^\infty e^{-(t/\alpha)^\beta}$
TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS	MTBF	Ingresado por el usuario o $= \frac{1}{E T_F(t) }$	50.000	$\frac{1}{\lambda}$	$\int_0^\infty e^{-(t/\alpha)^\beta}$
TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN	MTTR	Ingresado por el usuario	1 si $N_{MC} = 0$ $\frac{T_{MC}}{N_{MC}}$ si $N_{MC} > 0$		
TIEMPO MEDIO DE INTERVENCIÓN	MTTI	Ingresado por el usuario	1 si $N_{MC} + N_{MP} = 0$ $\frac{T_{MC} + T_{MP}}{N_{MC} + N_{MP}}$ si $N_{MC} + N_{MP} > 0$		
TIEMPO OPERACIONAL	TO	Ingresado por el usuario	25.000	$\frac{1}{2\lambda}$	$\frac{\int_0^\infty e^{-(t/\alpha)^\beta}}{2}$
COSTO DE INTERVENCIÓN PROMEDIO	CI	Ingresado por el usuario	Ver punto 2.4.8		

Tabla 8. Resumen indicadores propiedades del equipo.

Cabe mencionar que para los cálculos de los **CASOS 2 y 3** se usan **todos** los datos importados, no está la posibilidad de ocupar datos en un rango de fechas como si se permite en los reportes históricos.

También hay que tener presente que los ingresos y valores de los kpis mencionados anteriormente son sólo para bloques, para configuraciones los kpis se calculan en base a los valores de sus hijos. De todas formas, en cada reporte probabilístico se hará la diferencia entre el cálculo para bloques y el para configuraciones.

Para comprender cómo se obtienen los valores de la tabla 8, a confinación se explica o se hace referencia a cada uno de ellos:



- **Tasa de fallas:** Entrega el valor de la **esperanza de la distribución de tasa de fallas** y para todos los **CASOS** es igual a:

$$E|T_F(t)| = \frac{1}{MTBF}$$

En donde $T_F(t)$ es la distribución de tasa de falla, la cual se explica en más detalle en punto **3.6.2** de este documento. El MTBF es el tiempo medio entre fallas probabilístico, el cual se explica en el punto **3.5.1**. Como el MTBF depende de los **CASOS** expuestos, la esperanza de la tasa de falla también tomará valores diferentes para cada escenario.

- **Tiempo medio entre fallas:** es el MTBF probabilístico. Ver punto **3.5.1** para bloques.
- **Tiempo medio de Reparación:** es el MTTR probabilístico. Ver punto **3.5.2** para bloques.
- **Tiempo medio de Intervención:** es el MTTI probabilístico. Ver punto **3.5.3** para bloques.
- **Tiempo de operación:** es el TO.

En **CASO 1:** es igual al valor ingresado por el usuario

En **CASOS 2 y 3:** por defecto es igual a:

$$TO = \frac{MTBF}{2}$$

En el punto **3.5.1** para bloques y para **CASOS 2 y 3** se explica los valores que adquiere el MTBF.

- **Costo Intervención Promedio (CI):**
 - En **CASO 1:** es igual al valor ingresado por el usuario
 - En **CASOS 2 y 3:** Es igual costo de intervención promedio descrito en el punto **2.4.8** de este documento.

3.1. Reporte de Costos

Costo para bloques

Para cada bloque i los costos se calculan de la siguiente manera:

$$Costo_i = \frac{HOA}{(MTBF_i + MTTR_i)} * CI_i$$

Donde HOA son las **Horas anuales de operación** y se explica en el punto **2.3.1** de este documento.



Los valores usados de MTBF y MTTR, para cada bloque son los probabilísticos y se explican en los ítems **3.5.1** y **3.5.2** respectivamente.

El **CI** o **costo de intervención promedio** se explicará a continuación según los casos descritos en el punto **3. b Casos existentes**:

- En **CASO 1**: Corresponde al valor manual ingresado por el usuario en propiedades de cada equipo
- En **CASO 2 y 3**: Es igual **costo de intervención promedio** descrito en el punto **Costo de intervención promedio (CI)** de este documento para bloques.

Costo para configuraciones

El costo para las configuraciones resulta de la suma de los costos de sus nodos hijos.

3.2. Reporte de Mantenimiento

Este reporte se calcula solamente para el **CASO 3** (ver punto **3. b Casos existentes**) y sólo para bloques.

Los valores requeridos y que el usuario debe ingresar en la ventana de este reporte son:

- Costo de la inspección
- Costo de mantenimiento preventivo
- Costo de Mantenimiento de Emergencia

Como este reporte se genera para un equipo a la vez, los costos anteriores deben ser los requeridos para el bloque seleccionado.

La información arrojada por este reporte es:

- **Distribución:** es la distribución del TBF. Puede ser Exponencial o Weibull. En el documento (Gonzalez & Cuevas, Algoritmo Probabilístico, 2012) se explica cómo se elige la distribución que mejor se ajusta a los datos.
- **Parámetros:** según sea la distribución, se muestran en el reporte los valores de los parámetros de éstas. Pueden ser α y β para distribución Weibull y λ para Exponencial. En el documento (Gonzalez & Cuevas, Algoritmo Probabilístico, 2012) también se explica cómo calcular los parámetros.
- **MTBF:** es el tiempo medio entre fallas probabilístico. En el punto **3.5.1** se explica el valor que toma este indicador para bloques.

3.3. Reporte Mission time

Este reporte se calcula solamente para el **CASO 3** (ver punto **3. b Casos existentes**) y sólo para bloques.



El dato entregado en la grilla de datos del reporte es el MTBF de los equipos. En el punto **3.5.1** se explica este KPI.

Luego al seleccionar uno o más equipos y generar el reporte se entregan los siguientes datos:

- **Puesta en marcha:** Tiempo cero o $R(0)$, desde donde se comienza a calcular la confiabilidad (Ver punto **3.6.1** para bloques, **CASO 3**). Se considera como el día después de la última detención (la última detención es la última **failure** del equipo).
- **Tiempo corrido:** o TC, por defecto el día en el que se genera el reporte, pero el usuario puede modificarlo en la misma ventana del reporte.
- **Próxima detención:** o TMP, se considera como el día después de la realización del reporte.

Por otro lado en el reporte se genera una grilla de datos:

- **Equipo:** Nick del equipo(s) seleccionado(s)
- **Fecha próxima detención:** Es el TMP
- **Distribución:** Es la distribución del TBF. Puede ser Weibull o Exponencial
- **Alfa:** Depende la distribución del TBF, lo que se explica con los casos:

En **Caso 3.1:** Es el parámetro λ de la distribución Exponencial

En **Caso 3.2:** Es el parámetro α de la distribución Weibull

- **Beta:** Depende la distribución del TBF, lo que se explica con los casos:

En **Caso 3.1:** Es igual a 1

En **Caso 3.2:** Es el parámetro β de la distribución Weibull

- **Ciclo de vida:** es la etapa del ciclo de vida del equipo, el cual se describe en el punto **3.5.4** de este documento.
- **R(TC):** Es la confiabilidad del tiempo TC
- **R(TMP):** Es la confiabilidad del tiempo TMP
- **P(TMP/TC):** es la probabilidad de llegar sin detenciones no programadas desde el tiempo TC al tiempo TPM.

3.4. Reporte indicadores probabilísticos

Este reporte entrega los siguientes KPIS:

- Confiabilidad [%]
- Disponibilidad [%]
- Disponibilidad (MTTI) [%]
- Costo de Falta [\$]



3.4.1. Confiabilidad (R)

La confiabilidad se calcula de diferente manera para bloques que para configuraciones, por lo cual a continuación se explican cada una de ellas:

Confiabilidad para bloques

Por defecto, la confiabilidad para bloques que entregada en este reporte se calcula en el tiempo TO (tiempo operacional), es decir, es el valor entregado es $R(TO)$.

La función a usar de $R(t)$ para evaluarla en el tiempo TO también depende del caso en que se encuentre, de la siguiente manera:

- En **CASO 1** y **CASO 2**: No hay distribución de confiabilidad
- En **CASO 3**: $R(t)$ tiene distribución y ésta depende de la distribución del TBF(t):

En **CASO 3.1**: La curva de R(t) es:

$$R(t) = e^{-(\lambda TO)}$$

En **CASO 3.2**: La curva de R(t) es:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{TO}{\alpha}\right)^\beta}$$

En el documento (Gonzalez & Cuevas, Algoritmo Probabilístico, 2012) se explica las regresiones lineales usadas para el cálculo de los parámetros α , β y λ .

En el punto **3.6.2**, se encuentran las fórmulas de $R(t)$ para bloques, sólo que existe una diferencia, en los **casos 1** y **2** no se asume por defecto una curva, simplemente no existe.

Para los **CASOS 3**, el valor de TO a usar para **bloques** se calcula de la siguiente manera:

$$TO = \frac{MTBF}{2}$$

Donde el MTBF es el tiempo entre fallas probabilístico, el cual se explica en el punto **3.5.1** de este documento, para bloques en **CASO 3**.

Confiabilidad para configuraciones

En (Gonzalez & Cuevas, Algoritmo Probabilístico, 2012) se describen las fórmulas de confiabilidad para cada tipo de configuración lógica funcional. Allí se definen las confiabilidades de cada configuración en base a las confiabilidades de sus nodos, pero se tiene que tener muy claro que para ello los nodos hijos deben estar evaluados en el tiempo TO_c , tiempo operacional de la configuración (o nodo padre). Por lo tanto:

$$R_c(TO_c) = f(R_i(TO_c))$$



La confiabilidad de la configuración evaluada en TO_c es $R_c(TO_c)$ y es una función de las confiabilidades de sus nodos hijos evaluados igualmente en TO_c .

Para la configuración el valor de TO_c siempre será:

$$TO_c = \frac{MTBF_c}{2}$$

En (Gonzalez & Cuevas, Algoritmo Probabilístico, 2012) también se explica el cálculo del MTBF de las configuraciones.

3.4.2. Disponibilidad

Es la Disponibilidad probabilística tanto para bloques como para configuraciones y se encuentra en (Gonzalez & Cuevas, Algoritmo Probabilístico, 2012). La disponibilidad para bloque se calcula siempre de la misma manera, pero para configuraciones dependerá de su tipo.

3.4.3. Disponibilidad/MTTI ($A_{(MTTI)}$)

Es la disponibilidad probabilística calculada en base al MTTI y su cálculo depende de si se trata de bloques o configuraciones de la siguiente manera:

Disponibilidad/MTTI para bloques

Para bloques la fórmula es la siguiente:

$$A_{(MTTI)i} = \frac{MTBF_i}{MTBF_i + MTTI_i}$$

Donde i es el i -ésimo bloque.

Disponibilidad/MTTI para configuraciones

Para las configuraciones, la fórmula de $A_{(MTTI)}$ es la misma que para el cálculo de la Disponibilidad probabilística y de igual manera depende de su tipo. En (Gonzalez & Cuevas, Algoritmo Probabilístico, 2012) se encuentran las fórmulas del cálculo de disponibilidad.

3.4.4. Costo de Falta (CF)

Si bien el significado del costo de falta probabilística es el mismo que el del costo de la falta histórico descrito en el punto 2.3.1 de este documento, no se calculan exactamente de la misma manera, aunque tienen algunas similitudes.

El **CF probabilístico** se calcula desde los nodos padres a los hijos, finalizando con los bloques más abajo del árbol estructural. De este modo, el primero en calcularse es el CF de la planta y para ello los parámetros requeridos son:

- **Facturación anual (FA)**: Se explica en el punto 2.3.1 de este documento.
- **Impacto costo variable (ICV)**: Se explica en el punto 2.3.1 de este documento.
- **Horas anuales de operación (HOA)**: Se explica en el punto 2.3.1 de este documento.



- **Disponibilidad de la planta** (A_p): Es la disponibilidad probabilística de la planta. Como la planta siempre está en serie con sus nodos, buscar la fórmula del KPI de esta configuración en (Gonzalez & Cuevas, Algoritmo Probabilístico, 2012).

Para comenzar se calcula el **Costo de falta horario** (CFH) de la planta:

$$CFH_p = \frac{FA * (1 - ICV)}{HOA}$$

El CFH_p representa el costo de la falta unitario (en 1 unidad de tiempo) de la planta.

Luego se calcula el costo de falta de la planta en el periodo:

$$CF_p = (1 - A_p) * CFH_p * T_{POSIBLE}$$

Donde,

$T_{POSIBLE}$: Se explica en el punto **2.3.1** de este documento.

Posteriormente, se calcula el costo de la falta probabilístico de los nodos hijos directos de la planta, y si éstos también tienen hijos, se continúa luego con ellos, y así sucesivamente. Las fórmulas de cálculo de los nodos hijos son:

$$CF_{hijo\ i} = FACTOR_{hijo\ i} * CF_{padre}$$

Donde,

$CF_{hijo\ i}$: es el costo de falta probabilístico del nodo hijo i

CF_{padre} : es el nodo padre directo de los nodos hijos i .

$FACTOR_{hijo\ i}$: es la fracción entre la indisponibilidad ponderada del nodo hijo i y de la suma de la indisponibilidad ponderada de todos los nodos hijos (del mismo padre), lo cual se calcula de la siguiente manera:

$$FACTOR_{hijo\ i} = \frac{(1 - A_{hijo\ i}) * IM_{hijo\ i}}{S}$$

Donde,

$IM_{hijo\ i}$: es el impacto del hijo i en el padre. Se explica en el punto **2.3.1** de este documento.

$A_{hijo\ i}$: es la disponibilidad probabilística del hijo i .

S : es otro factor que se calcula de la siguiente manera:



$$S = \sum_{i=1}^n (1 - A_{hijo i}) * IM_{hijo i}$$

3.5. Reporte de tiempos medios

En este reporte se generan los siguientes datos:

- MTBF [hrs]
- MTTR [hrs]
- MTTI [hrs]
- Etapa
- Distribución

A continuación se describen cada uno de ellos:

3.5.1. MTBF

Es el tiempo entre fallas probabilístico y su forma de cálculo es diferente para bloques y configuraciones, a continuación se explica cada una:

MTBF para bloques

El valor del MTBF depende de los casos explicados con anterioridad en el ítem **Casos existentes** del punto **3. b Casos existentes** de este documento.

En **CASO 1**: Corresponde al valor manual ingresado por el usuario en propiedades de cada equipo. También se puede ingresar la **esperanza de la tasa de falla** $E|T_F(t)|$ en propiedades del equipo, con lo que el software calcula automáticamente el MTBF, considerando la siguiente relación:

$$E|T_F(t)| = \frac{1}{MTBF}$$

En **CASO 2**: el MTBF es por defecto igual a 50.000 hrs.

En **CASO 3**: el MTBF es la esperanza de la curva TBF(t) y se calcula de la siguiente manera:

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t)dt$$

Donde $R(t)$ es la curva de confiabilidad. En el punto **3.6.1** se explica este término para el **CASO 3**. Se recomienda visitar dicho punto en este documento antes de continuar.

El valor resultante de esta integral depende de la distribución del TBF(t) de la siguiente manera:

En **CASO 3.1**: En este caso la solución de la integral es:



$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

Donde λ es el parámetro de la distribución exponencial de la curva TBF. En el documento (Gonzalez & Cuevas, Algoritmo Probabilístico, 2012) se explica cómo calcularlo.

Debido a que es conocido el resultado de la integral en este caso, RMES sólo calcula el MTBF como $1/\lambda$.

En **CASO 3.2**: En este caso se calculan los parámetros α y β y luego se resuelve la integral. En el documento (Gonzalez & Cuevas, Algoritmo Probabilístico, 2012) se explica cómo calcular los parámetros. El código informático usado en RMES no permite calcular integrales, por lo tanto para su aproximación se usa la **Regla de Simpson** en 100 pasos.

MTBF para configuraciones

En (Gonzalez & Cuevas, Algoritmo Probabilístico, 2012) se describen sus fórmulas existentes para el cálculo del MTBF según el tipo de configuración lógica funcional.

3.5.2. MTTR

Es el tiempo medio de reparación y se explica a continuación para bloques como para configuraciones:

MTTR para bloques

A continuación se explicará el cálculo de este indicador para bloques usando también los casos:

En **CASO 1**: Corresponde al valor manual ingresado por el usuario en propiedades de cada equipo

En **CASO 2 y 3**: Su valor depende de:

- a) Si el $N_{MC} > 0$ se calcula de la misma manera que el MTTR de los informes históricos. En la tabla 1 se encuentra la fórmula.
- b) Si el $N_{MC} = 0$ por defecto el valor del MTTR será 1.

MTTR para Configuraciones

En (Gonzalez & Cuevas, Algoritmo Probabilístico, 2012) se describen sus fórmulas existentes para el cálculo de MTTR según el tipo de configuración lógica funcional.

3.5.3. MTTI

Es el tiempo medio de intervención y se explica a continuación para bloques como para configuraciones:

MTTI para bloques

A continuación se explicará el cálculo de este indicador para bloques usando también los casos:



En **CASO 1**: Corresponde al valor manual ingresado por el usuario en propiedades de cada equipo

En **CASO 2 y 3**: Su valor depende de:

- a) Si el $N_{MC} + N_{MP} > 0$ se calcula de la misma manera que el MTTI de los informes históricos. En la tabla 1 se encuentra la fórmula.
- b) Si $eN_{MC} + N_{MP} = 0$ por defecto el valor del MTTI será 1.

MTTI para Configuraciones

En (Gonzalez & Cuevas, Algoritmo Probabilístico, 2012) se describen sus fórmulas existentes para el cálculo de MTTR según el tipo de configuración lógica funcional.

3.5.4. Etapa

Se refiere a la etapa del ciclo de vida del **bloque**, la cual tiene tres opciones:

- En rodaje
- Vida útil
- Desgaste

Se debe mencionar que la etapa del ciclo de vida sólo es para bloques, por lo que las configuraciones y la planta no tendrán este dato en el reporte.

Los criterios establecidos para definir la etapa del ciclo de vida del bloque dependen del caso en que se encuentre (explicados en **Casos existentes** en el punto 3 de este documento):

- En **CASO 1**: El ciclo de vida es “Vida útil”.
- En **CASO 2**: El ciclo de vida es “Vida útil”.
- En **CASO 3**: Depende de la distribución del TBF:

CASO 3.1: El ciclo de vida es “Vida útil”.

CASO 3.2: Depende del valor de β :

- Si $\beta > 1$ es “Desgaste”
- Si $\beta = 1$ es “Vida útil”
- Si es otro caso es “En rodaje”

Donde β es el parámetro de forma de la distribución Weibull de la distribución TBF. En el documento (Gonzalez & Cuevas, Algoritmo Probabilístico, 2012) se explica la regresión lineal usada para su cálculo.

3.5.5. Distribución

Es la distribución del TBF o tiempo entre fallas.

Este dato también corresponde solamente a **bloques**.



Los criterios para establecer la distribución se explican en el punto **3. b Casos existentes**. De esta forma, los resultados pueden ser:

- **CASO 1:** (vacío)
- **CASO 2:** (vacío)
- **CASO 3:**
 - CASO 3.1:** $\text{Exp}(\lambda)$
 - CASO 3.2:** $\text{Weibull}(\alpha, \beta)$

3.6. Reporte de Confiabilidad

Este reporte entrega sus resultados en dos pestañas: **Confiabilidad** y **Tasa de falla**, las cuales se explican a continuación:

3.6.1. Confiabilidad ($R(t)$)

Las curvas de confiabilidad se calculan de distinta manera si se trata de bloques o configuraciones, lo cual se explica a continuación:

Curva de confiabilidad para bloques

La distribución de la confiabilidad se calcula como:

$$R(t) = 1 - TBF(t)$$

Donde $TBF(t)$ es la curva de distribución del tiempo entre fallas, la cual se explica en el punto **3. b Casos existentes** de este documento.

Debido a la relación directa entre $TBF(t)$ y $R(t)$, ésta última dependerá de los casos puestos en el punto **3. b Casos existentes** de este documento, de la siguiente manera:

- En **CASO 1** y **CASO 2**: Si bien no hay distribución de confiabilidad derivada de la relación entre $TBF(t)$ y $R(t)$, por defecto se asume una distribución exponencial del $TBF(t)$ y por lo tanto $R(t)$ es:

$$R(t) = e^{-(\lambda t)}$$

Donde λ se asume como:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

Si se usan datos manuales (**CASO 1**) el MTBF toma un valor dependiendo de los datos que ingrese el usuario, y si usa datos importados, pero que no cumplen con los criterios mínimos (**CASO 2**), el $MTBF$ es igual a 50.000 hrs.

- En **CASO 3**: $R(t)$ tiene distribución y ésta depende de la distribución del TBF(t):



En **CASO 3.1**: La curva de $R(t)$ es:

$$R(t) = e^{-(\lambda t)}$$

En **CASO 3.2**: La curva de $R(t)$ es:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}$$

En el documento (Gonzalez & Cuevas, Algoritmo Probabilístico, 2012) se explica las regresiones lineales usadas para el cálculo de los parámetros α , β y λ .

Curva de confiabilidad para configuraciones

La metodología para el cálculo de la curva de confiabilidad de las **configuraciones** es más compleja, pues depende de su tipo de configuración lógica funcional. En (Gonzalez & Cuevas, Algoritmo Probabilístico, 2012) se describen las fórmulas para caso. Allí se definen las confiabilidades de cada tipo de configuración en base a las confiabilidades de sus nodos.

Por otro lado, en este reporte se entregan los siguientes datos para todos los tipos de nodos:

- Confiabilidad [%]
- Disponibilidad [%]
- Costo de la Falta [\\$]
- Productividad proyectada [unidades/año]

Confiabilidad(R), Disponibilidad (A) y Costo de falta (CF)

En el punto **3.4** de este documento se explican estas métricas.

Productividad proyectada

La productividad proyectada se refiere a la producción estimada de cada nodo por año y se calcula de la misma manera para todos los tipos de nodos, de la siguiente manera:

$$Productividad\ proyectada_i = HOA * Pr_{planta} * A_i$$

Donde

i representa el i -ésimo nodo

HOA : Son las horas de operación anual y en el punto **2.3.1** se explica.

Pr_{planta} : es la **Productividad de la planta**, también llamada **Capacidad nominal de la planta** y es ingresada por el usuario en las propiedades de la planta.

A_i : Es la disponibilidad probabilística del nodo i . Revisar el punto **2.4.2** para más información.

3.6.2. Tasa de falla



Es la curva de tasa de falla o $T_F(t)$, pero en RMES se usa la nomenclatura $\lambda(t)$.

Los valores entregados aquí son diferentes para configuraciones que para bloques, los cuales se explican a continuación:

Tasa de fallas para bloques

Matemáticamente, la tasa de falla se calcula como:

$$T_F(t) = \frac{f(t)}{1 - TBF(t)}$$

Donde $f(t)$ es la función de densidad de la función TBF(t). Esta fórmula se profundiza en el documento (Gonzalez & Cuevas, Algoritmo Probabilístico, 2012).

Por lo tanto, al igual que para la confiabilidad, la tasa de falla para bloques depende del escenario en que se encuentre:

- En **CASO 1** y **CASO 2**: si bien no hay curva de tasa de falla según la relación antes planteada, se considera por defecto que:

$$T_F(t) = \lambda = cte$$

Este λ se calcula de la misma manera que el λ explicado en el **CASO 1** y **CASO 2** para cálculo de confiabilidad de bloques (en el punto **3.6.1**).

- En **CASO 3**: Depende la curva de TBF, por lo que desarrollando la fórmula antes presentada para cada caso, se tiene que:

CASO 3.1:

$$T_F(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1}$$

CASO 3.2:

$$T_F(t) = \lambda = cte.$$

En el documento (Gonzalez & Cuevas, Algoritmo Probabilístico, 2012) se explica las regresiones lineales usadas para calcular los parámetros α , β y λ .

Adicionalmente, en este reporte, sólo para bloques, se calculan los siguientes datos:

- **Etapa ciclo de vida:** se encuentra explicado en el punto **3.5.4**



- **Tasa de falla instantánea:** Es el valor de la tasa de falla evaluada en el TO (tiempo operacional):

$$\text{Tasa de falla instantánea} = T_F(TO)$$

Se debe considerar que el valor del TO usado es **siempre** el ingresado manualmente por el usuario en propiedades del equipo, independientemente si se está usando datos manuales o importados.

Dado que en los **casos 1, 2 y 3.2** la función de tasa de falla es constante, la tasa de falla instantánea será igual a λ .

- **$\lambda(t)$:** es la función de tasa de falla $T_F(t)$, la cual fue explicada recientemente. Además, según corresponda, se entregan los valores de los parámetros α , β y λ .

Tasa de fallas para configuraciones

Para todas las configuraciones la función de tasa de fallas se calcula de la siguiente manera:

$$T_F(t) = \frac{R(t - \Delta t) - R(t)}{R(t - \Delta t) * \Delta t}$$

Donde $R(t)$ es la función de la confiabilidad de las configuraciones, explicado en el punto **3.6.1**

La fórmula de Δt es la siguiente:

$$\Delta t = \frac{tf}{steps}$$

Donde,

tf : Es el tiempo en el cual la confiabilidad obtiene el valor 0,01, es decir:

$$0,01 = R(tf)$$

$steps$: es por defecto igual a 50. Este valor es arbitrario, pero fue elegido debido a que es un valor suficiente para obtener una resolución adecuada del gráfico de tasa de falla y permite además ocupar poca memoria.



Bibliografía

Gonzalez, R. (Septiembre de 2012). *Introducción a Algoritmos en RMES*.

Gonzalez, R., & Cuevas, P. (Septiembre de 2012). *Algoritmo Probabilístico*.

Gonzalez, R., Heidke, E., & Cuevas, P. (Septiembre de 2012). *Algoritmo Histórico*.