

# CÁLCULO DEL TIEMPO OPTIMO DE REEMPLAZO EN SISTEMAS REPARABLES APLICADO A FLOTA DE EQUIPOS

Adolfo Casilla Vargas

Lima, Lima, Perú

[cigamperu@gmail.com](mailto:cigamperu@gmail.com)

<https://www.linkedin.com/in/adolfo-casilla/>

+51958407486

## OBJETIVO

*El presente informe técnico tiene el objetivo de explicar la importancia del análisis de confiabilidad aplicado a sistemas reparables y como estos pueden ayudar a gerentes, jefes o todo profesional a poder calcular el tiempo óptimo de reemplazo u overhaul de una flota de sistemas reparables, así como también proyectar en el futuro fallas, costos y MTBF.*

**Palabras clave:** fallas, número de fallas, costos por consecuencia, costo por fallas, costos, overhaul, etc.

## Nomenclatura

|           |                                      |
|-----------|--------------------------------------|
| CA        | Costo de adquisición (USD)           |
| CC        | Costo por consecuencias              |
| T         | Tiempo operativo total               |
| $\beta$   | Parámetro beta                       |
| $\lambda$ | Parámetro lambda                     |
| CTf       | Costo total de falla USD/falla       |
| Cf        | Costo por falla USD/hr               |
| TFS       | Tiempo fuera de servicios hr/falla   |
| cc        | Costo por consecuencia USD/hr        |
| MTBF      | Tiempo medio entre fallas            |
| W(t)      | Número esperado de fallas            |
| $\rho(t)$ | Función intensidad de fallas         |
| Copt      | Costo optimo o mínimo total por hora |

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos tres años han ocurrido dos crisis a nivel mundial que han afectado y siguen afectando directa e indirectamente a varios países a nivel mundial, crisis como el covid 19 y la guerra entre Rusia y Ucrania han promovido que muchos países tomen decisiones para no afectar sus economías, para ello hacen uso de diferentes herramientas para minimizar los riesgos en esas decisiones, uno de esas herramientas es la estadística, gracias a ella se pueden disminuir el riesgo de las decisiones que se puedan tomar.

El área de mantenimiento no esta extensa de poder usar la estadística y proyectar a futuro el riesgo de las decisiones que se puedan tomar o que ya se tomaron. Es por ello que en este artículo técnico nos centraremos como la teoría de sistemas reparables nos puede ayudar a proyectar fallas, costos, MTBF y en especial de como calcular el tiempo optimo reemplazo u overhaul de nuestros sistemas reparables para así poder determinar si las decisiones que hemos tomado

han afectado positivamente en el incremento de la vida útil de nuestros sistemas o viceversa.

## II. SISTEMAS REPARABLES

Un sistema reparable es aquel que es sometido a reparaciones luego de haber ocurrido una falla y después ingresado a operación para que continúe con su labor.

Existen diferentes tipos de sistemas reparables que van desde un equipo: como un cargador frontal, un volquete, una Grúa, una máquina de procesamiento de productos, un cilindro hidráulico, subestaciones, etc.

## III. TIPO DE INTERVENCIONES

Para el análisis de sistemas reparables debemos entender que existen diversas formas de analizarlo y esto obedece a 3 tipos de intervenciones:

**Intervención perfecta:** Este tipo de intervención es aplicado a aquellos sistemas que luego de una intervención quedan en un estado de “tan bueno como nuevo”, la cual usa el modelo estadístico de weibull para proyectar fallas, MTBF y costos, con la salvedad que estos son constantes en función del tiempo, esto porque el modelo de weibull tiene un MTBF constante. Este tipo de intervención generalmente es aplicable en diferentes equipos como: plantas, procesos industriales, equipos estáticos o componentes.

**Intervención mínima:** Este tipo de intervención es aplicado a aquellos sistemas que luego de una intervención quedan “mejor que como estaban antes de fallar”, la cual generalmente usa el modelo de Crow Amsaa para la proyección de fallas, costos y MTBF en el tiempo, con la salvedad que la proyección no es constante, sino que varía en función del tiempo. Este tipo de intervención generalmente es aplicable en equipos móviles, maquinarias u otro tipo de equipos que cuenten con historial de fallas.

**Intervención imperfecta:** Este tipo de intervención es aplicado a aquellos sistemas que luego de una intervención quedan en un estado de “mejor que antes pero no tan bueno como nuevo”, la cual es aplicable en diferentes equipos o sistemas que son sometidos a intervenciones que aseguren que dejen al sistema mejor que antes pero no tan bueno como nuevo, un ejemplo es el overhaul.

Nota: Para ver más conceptos de sistemas reparables clic aquí => <https://youtu.be/wcqZs3n1LD0>

#### IV. MODELO DE CROW AMSAA

El modelo de Crow Amsaa es un modelo estadístico que se construye en función del historial de fallas y los tiempos acumulados hasta las fallas, de esta forma se podrá obtener una función de intensidad de fallas o tasa de ocurrencia de fallas que ayudará a proyectar el incremento o disminución de las fallas en función del tiempo. Para el cálculo del tiempo óptimo de overhaul o reemplazo de una flota de equipos este modelo nos ayudará a proyectar las fallas y costos a futuro, esto debido a que a mayor o menor número de fallas proyectadas el tiempo de overhaul variará. Es importante considerar que el modelo de Crow Amsaa ayuda a proyectar las fallas a futuro sin importar el motivo de falla, esto debido a que el objetivo del modelo no es identificar el motivo de falla sino cuantificar el impacto de nuestras decisiones en el performance de nuestros equipos o sistemas reparables, un ejemplo podría ser como el cambio de un proveedor de servicios de mantenimiento afecta positiva o negativamente en el performance de los equipos y como serán los resultados económicos a futuro por haber tomado esa decisión.

**1. Función intensidad de fallas.** Mide la tasa de ocurrencia de fallas en función del tiempo y está conformado por dos parámetros como  $\lambda$  y  $\beta$ . Siendo  $\beta$  la pendiente que se obtiene de graficar las fallas ocurridas versus los tiempos acumulados, siendo que a mayor  $\beta$  mayor ocurrencia de fallas y a menor  $\beta$  menor ocurrencia de fallas. Ver figura 1.

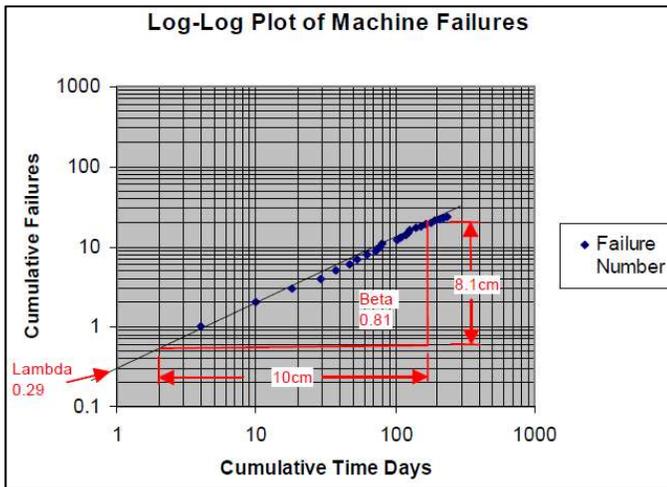


Figura 1. TIEMPOS DE OPERACIÓN ACUMULADA VS NÚMERO DE FALLAS.

La función de intensidad de fallas se denota así:

$$\rho(t) = \lambda \beta t^{\beta-1} \quad \dots 1$$

**2. Número esperado de fallas.** Es el número de fallas que se espera obtener en un tiempo determinado T. Se calcula de la siguiente forma.

$$W(t) = \lambda T^\beta \quad \dots 2$$

**3. Estimación de parámetros  $\lambda$  y  $\beta$ .** Para poder realizar el cálculo de los parámetros primero se tiene que tomar en cuenta la información histórica de fallas de toda la flota de los sistemas reparables que se esté analizando, la cual consistirá en recopilar las horas acumuladas de operación y el número de fallas ocurridas hasta la última hora de operación de cada sistema. Ver figura 2.

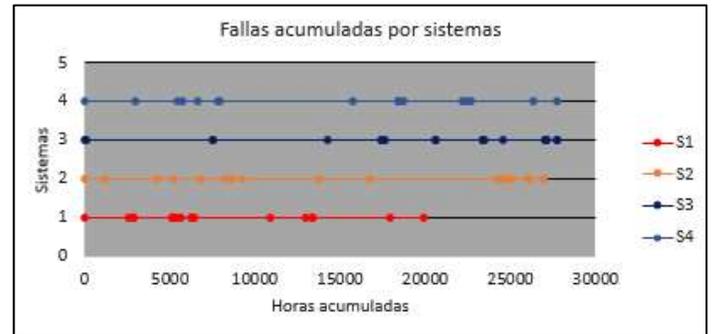


Figura 2. FALLAS ACUMULADAS POR SISTEMA

Para poder estimar los parámetros  $\lambda$  y  $\beta$  se usarán las siguientes ecuaciones [1]:

$$\hat{\lambda} = \frac{\sum_{j=1}^K N(T_j)}{\sum_{j=1}^K (T_j^\beta)}, \quad \dots 3$$

$$\hat{\beta} = \frac{\sum_{j=1}^K N(T_j)}{\lambda \sum_{j=1}^K (T_j^\beta \ln T_j) - \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{N(T_j)} \ln X_{i,j}}, \quad \dots 4$$

Donde:

**k:** tamaño de la flota

**Tj:** tiempo último de falla

**Xij:** tiempos acumulados de fallas

**Nj:** números de fallas por sistemas

**4. Entendiendo el parámetro  $\beta$ .** Se sabe que a mayor  $\beta$  mayor ocurrencia de fallas y a menor  $\beta$  menor ocurrencia de fallas, debido a que  $\beta$  puede tomar infinitos valores en su cálculo se puede clasificar de la siguiente manera:

- Si  $\beta > 1$ , la tasa de fallas es creciente, el MTBF decrece y el sistema se deteriora con el tiempo o existe degradación de la confiabilidad. En estos casos se recomienda usar el modelo de Crow Amsaa.
- Si  $\beta < 1$ , la tasa de fallas es decreciente, el MTBF aumenta y el sistema mejora con el tiempo o existe crecimiento de la confiabilidad. En estos casos se recomienda usar el modelo de Crow Amsaa.

- Si  $\beta = 1$ , la tasa de fallas y el MTBF son constantes, también se entiende que los esfuerzos no son malos ni buenos, esto debido a que la ocurrencia de fallas no aumenta ni disminuye, sino que se mantiene constante. En estos casos se recomienda usar el modelo de Weibull.

$$CTf = Cf + CC \quad \dots 6$$

Donde:

$CTf$ : Costo total de fallas USD/falla

$Cf$ : costo por fallas USD/falla

$CC$ : costo por consecuencia USD/falla

## V. CÁLCULO DEL TIEMPO OPTIMO DE REEMPLAZO U OVERHAUL

Para el cálculo del tiempo óptimo de reemplazo u overhaul se busca el tiempo que minimice el costo total de intervenciones del sistema reparabile en todo su ciclo de vida, este costo total variará en función del tiempo, por ejemplo si se reemplazase el sistema a inicios de trabajo el costo total sería mayor debido a los costos de reemplazo u overhaul que no disminuirían en función del tiempo, por lo contrario, si el sistema se reemplazase a tiempo muy extensos el costo total sería mayor debido a que habría mayores fallas y por ende mayores costos. Ver figura 3.

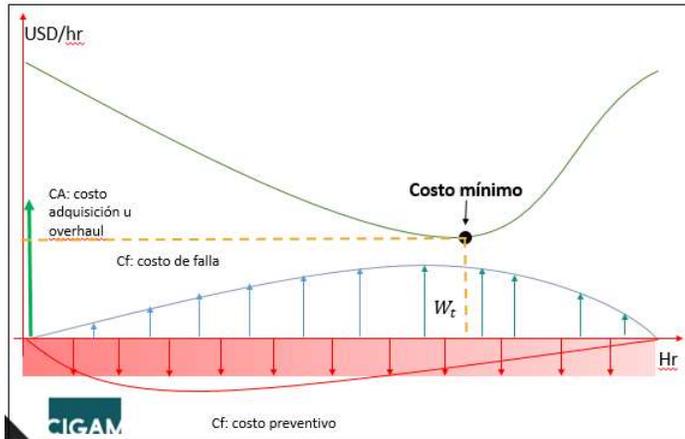


Figura 3. CICLO DE VIDA DE UN SISTEMA REPARABLE.

1. **Ecuación.** Para el cálculo del tiempo óptimo de reemplazo u overhaul se usa la siguiente ecuación:

$$C_{opt} = \left[ \frac{C_A}{\lambda(\beta - 1)C_f} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad \dots 5$$

Donde:

$C_A$ : Costo de adquisición o costo de overhaul

$C_f$ : Costo total de fallas

2. **Costo de adquisición.** Es el costo que el inversionista esta dispuestos a invertir ya sea para la adquisición de un nuevo activo o para el overhaul del activo y así aumentar su vida útil, ambos están enfocados en asegurar que el inversionista obtenga el máximo retorno de inversión.

3. **Costo total de fallas.** Es el costo que resulta de sumar el costo de fallas más el costo por consecuencia.

- **Costo por fallas.** Es el costo que el área de mantenimiento está dispuesto a invertir para restituir al sistema reparabile a una condición operativa luego de producirse una falla.

El costo de falla se puede calcular de dos formas diferentes:

- a) En función del tiempo fuera de servicio TFS. Para este cálculo se sigue la siguiente ecuación:

$$Cf = TFS * cf \quad \dots 7$$

Donde:

$TFS$ : Tiempo fuera de servicio Hr/falla

$cf$ : costo de intervención correctiva por hora ej.: USD/hr

$Cf$ : costo de falla ej.: USD/falla

- b) En función del promedio de costos por fallas. Para este cálculo se sigue la siguiente ecuación:

$$Cf = \text{Costo total} / N^{\circ} \text{ fallas} \quad \dots 8$$

Donde:

$\text{Costo total}$ : Es el costo total de todas las fallas ocurridas

$N^{\circ} \text{ fallas}$ : Es el número total de fallas ocurridas

- **Costo por consecuencia  $CC$ :** Son aquellos costos que surgen cuando un producto o servicio queda indisponible. Estos costos pueden ser: costo de garantía, costo por penalidades, costos por lucro cesante, costo por perdida de producción, entre otros.

El costo por consecuencia se puede calcular de dos formas diferentes:

- c) En función del tiempo fuera de servicio TFS. Para este cálculo se sigue la siguiente ecuación:

$$CC = TFS * cc \quad \dots 9$$

Donde:

$TFS$ : Tiempo fuera de servicio Hr/falla

$cc$ : costo por consecuencia por hora ej.: USD/hr

$CC$ : costo por consecuencia por falla ej.: USD/falla

- d) En función del promedio de costos por consecuencias. Para este cálculo se sigue la siguiente ecuación:

$$CC = \text{Costo total por consecuencia} / N^{\circ} \text{ fallas} \quad \dots 10$$

Donde:

Costo total: Es el costo total por consecuencia de todas las fallas ocurridas

Nº fallas: Es el número total de fallas ocurridas

Nota: Existen diferentes formas de calcular el costo por consecuencia y dependerán de diferentes factores como tipo de operación, tipo de equipo, etc. que el analista deberá calcularlo.

#### 4. Pasos para realizar un análisis de reemplazo correcto.

Para realizar un análisis correcto se deben seguir los siguientes pasos:

- **Seleccionar el o los equipos a analizar.** El tiempo y energía son valiosos, por ello el motivo de seleccionar la flota de equipos de mayor prioridad para realizar el análisis.
- **Realizar un filtrado de datos.** Una vez seleccionado la flota de equipos es realizar un filtrado correcto de la información para que de esta forma se pueda obtener una correcta data a analizar.

**Nota:** Para ver el vídeo de como hacer un filtrado de datos clic aquí: <https://youtu.be/mFYwBrEuXsk>.

- **Cálculo y análisis de resultados.** Luego de realizar un filtrado de datos es importante usar un programa adecuado que permita calcular el tiempo óptimo de reemplazo u overhaul, luego de ello se debe analizar los resultados, para ello en analista debe tener un conocimiento del contexto de trabajo de la flota de equipos y de las intervenciones o decisiones que se tomaron en todo su ciclo de vida.
- **Si hay incertidumbre usar el método de Montecarlo.** El método de montecarlos es un método muy usado para el análisis de incertidumbre o análisis de riesgos, para este caso se hace uso de un programa que pueda ayudar a proyectar resultados en función de datos que puedan variar en el tiempo y que no son constantes. Ej.: TFS, Cf, etc.

## VI. APLICACIÓN EN EL CÁLCULO DEL TIEMPO OPTIMO DE OVERHAUL DE UN SISTEMA CONTRAINCENDIOS DE UNA PALA HIDRÁULICA HITACHI

Actualmente se tiene una flota de 04 palas hidráulicas HITACHI modelo EX5600-6 y en los últimos 03 años ha tenido un incremento de las fallas en el sistema contraincendios afectando al área de operaciones mina, siendo el impacto económico por perdida de producción de 14,121 USD/hr y 300 USD/hr de mantenimiento correctivo por cada hora fuera de servicio. Se sabe también que el tiempo promedio fuera de servicio para realizar la intervención correctiva es de 3.19 horas/falla. Luego de evaluar diferentes alternativas para incrementar la confiabilidad de los sistemas contraincendios se determinó que es mejor realizar el overhaul de los sistemas reparables. En función de ello determinar el tiempo en el que se debe realizar el overhaul a la flota de sistemas reparables sabiendo que un overhaul está 29,000 USD.

1. Siguiendo los pasos indicados en el numeral 5.4 la flota de equipos seleccionado son:

Equipo: Pala hidráulica

Marca: Hitachi

Modelo: EX5600-6

Flota: 04

Sistema a analizar: Sistema contraincendios

Marca: AFEX

Costo overhaul: 29,000 USD

Tiempo fuera de servicio: 3.19 hr/falla

Costo por falla: 300 USD/hr

Costo po consecuencia: 14,121 USD/hr

2. Realizando un filtrado de datos y ordenando la información de fallas con los tiempos acumulados se obtuvieron los siguientes datos separados por cada sistema.

| It | S1    | S2    | S3    | S4    |
|----|-------|-------|-------|-------|
| 1  | 2599  | 1173  | 138   | 2944  |
| 2  | 2828  | 4255  | 7521  | 5428  |
| 3  | 2851  | 5266  | 7521  | 5704  |
| 4  | 5151  | 6807  | 14237 | 6647  |
| 5  | 5150  | 8210  | 17480 | 7797  |
| 6  | 5173  | 8601  | 17480 | 7912  |
| 7  | 5380  | 9245  | 17641 | 15731 |
| 8  | 5380  | 13730 | 20608 | 18376 |
| 9  | 5656  | 16720 | 20607 | 18376 |
| 10 | 6231  | 24287 | 23343 | 18675 |
| 11 | 6300  | 24700 | 23366 | 22194 |
| 12 | 6392  | 24953 | 23504 | 22493 |
| 13 | 10854 | 24999 | 24608 | 22723 |
| 14 | 13016 | 25045 | 27045 | 26334 |
| 15 | 13384 | 26011 | 27068 | 27714 |
| 16 | 13384 | 26011 | 27090 |       |
| 17 | 17937 | 26011 | 27688 |       |
| 18 | 19915 | 26930 | 27711 |       |

Tabla1. DATOS DE FALLAS DE LOS SISTEMAS CONTRAINCENDIOS

3. Haciendo uso de la ecuación 7 para el cálculo del costo por falla en función del TFS se obtuvo lo siguiente:

$$Cf = 957 \text{ USD}$$

4. Haciendo uso de la ecuación 9 para el cálculo del costo por consecuencia por falla se obtuvo lo siguiente:

$$CC = 45,045.99 \text{ USD/falla}$$

5. Haciendo uso de la ecuación 6 para el cálculo del costo total por falla se obtuvo lo siguiente:

$$CTf = 46,002.99$$

6. Cálculo de los parámetros  $\lambda$  y  $\beta$ . Usando las ecuaciones 3 y 4 o usando el programa FSR.2022.1 y colocando los datos indicados en la tabla 1 se obtuvieron:

$$\begin{array}{ll} \beta & 1.21 \\ \lambda & 8.1761E-05 \end{array}$$

7. Reemplazando todos los valores en el programa FSR.2022.1 se obtuvo el tiempo óptimo de overhaaul para la flota de sistemas contraincendios es:

$$T \text{ óptimo: } 6075.67 \text{ Horas}$$

Siendo el número de fallas que ocurrirán antes de realizado el overhaul de 4.77 fallas  $\diamond$  5 fallas.

Se concluye que se debe realizar cuanto antes los overhauls de la flota de sistema de reparables, debido a que cuentan con más de 10,000 horas de trabajo y su overhaul recomendado es a las 6075.67 horas. Asimismo, se recomienda identificar los motivos o las causas que han generado una alta ocurrencia de fallas.

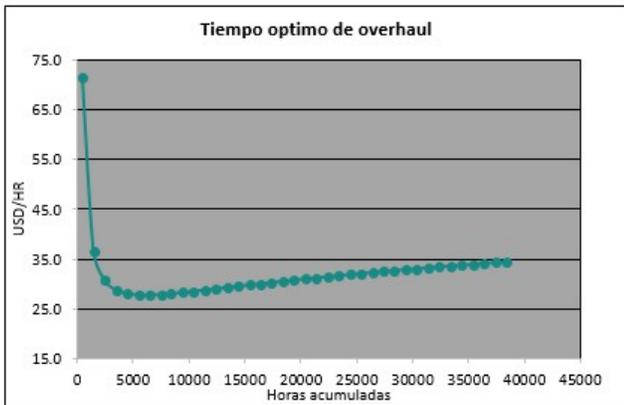


Figura 4. TIEMPO OPTIMO DE OVERHAUL USANDO FSR.2022.1

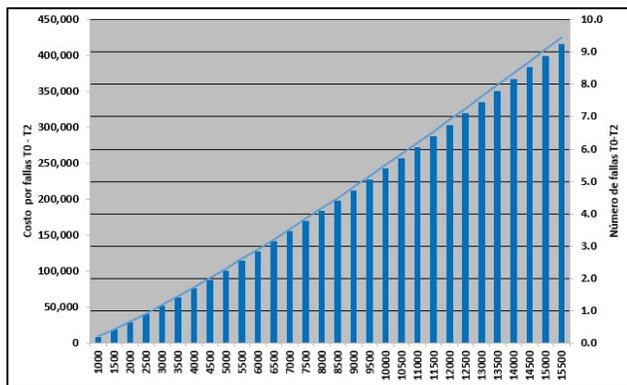


Figura 5. PROYECCIÓN DEL COSTO VS FALLAS USANDO FSR.2022.1

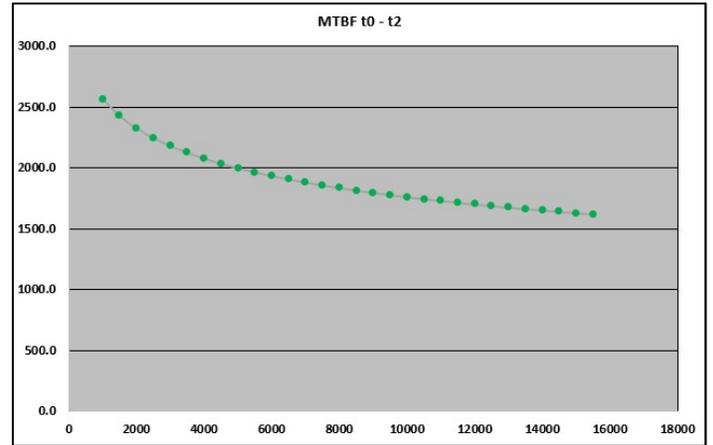


Figura 6. PROYECCIÓN DEL MTBF USANDO FSR.2022.1

Nota: Para ver el video de la realización del caso de estudio clic aquí => <https://youtu.be/zuRbU57ecrc>

## VII. ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE POR EL MÉTODO DE MONTECARLO

En la figura 7 se puede observar una gráfica en 3D formado por diferentes valores del tiempo óptimo de overhaul o reemplazo, esto debido a que existe incertidumbre en los costos de fallas, esto porque para calcularlo dependerá del TFS, CC y Cf que pueden tomar diferentes valores, estos valores por lo general varían entre intervalos haciendo que el cálculo del tiempo óptimo de overhaul o reemplazo tomen diferentes valores. Para poder trabajar con incertidumbre y disminuir los riesgos debemos usar el método Montecarlo, este método realiza miles de corridas en función de las variables de entrada que varían entre intervalos (TFS, CC y Cf), de esta forma se podrá obtener un resultado preciso del tiempo óptimo de reemplazo u overhaul.

**Pasos para realizar el análisis de Montecarlo:** Se deberán realizar los siguientes pasos indicados a continuación. Ver figura 8.

1. **Seleccionar la(s) variable(s) de entrada y definir los valores mínimo, más probable y máximo.** Se deberá seleccionar la variable de entrada con incertidumbre y seleccionar el modelo Triangular, usado solo en caso de tener valores mínimo, más probable y máximo. En caso de solo tener valor mínimo y valor máximo entonces se deberá seleccionar el modelo uniforme. Se recomienda el modelo triangular debido a una mayor certitud por el número de información que tiene.
2. **Programa para análisis de incertidumbre.** Para poder usar el método de Montecarlo y proyectar los resultados finales sugerimos descargar el siguiente programa en el siguiente [link](http://www.simularsoft.com.ar/SimulAr1.htm)
3. **Definir la variable de salida.** Se deberá seleccionar la variable de salida, la cual es la variable o el resultado

que se busca encontrar, en nuestro caso es el tiempo óptimo de overhaul. Al momento de usar el programa debemos asegurarnos que esta variable de salida este en función de la variable de entrada, luego haremos la corrida con diferentes simulaciones en el programa Simular. Recomendable mayor a 1000 simulaciones.

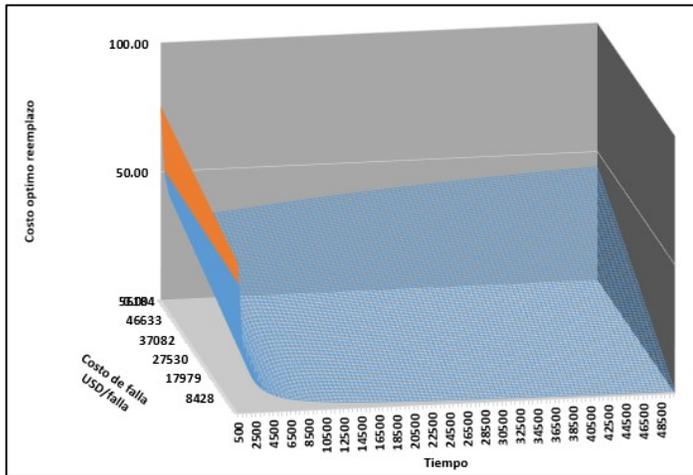


Figura 7. TIEMPO OPTIMO DE OVERHAUL CON INCERTIDUMBRE EN EL COSTO DE FALLA

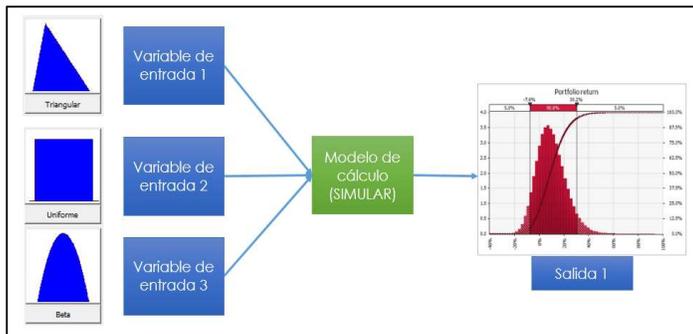


Figura 8. DIAGRAMA DE MODELO SIMPLE CON SIMULACIÓN DE MONTECARLO

### VIII. APLICACIÓN EN EL CÁLCULO DEL TIEMPO OPTIMO DE OVERHAUL DE UN SISTEMA CONTRA INCENDIOS DE UNA PALA HIDRÁULICA HITACHI POR EL MÉTODO DE MONTECARLO

Para la aplicación de este caso se tomo en cuenta el caso anterior con la consideración que esta vez se tiene incertidumbre en el tiempo de reparación (TTR), el cual según historial de fallas cuenta con un valor mínimo de 1 hr, un valor máximo de 5 hrs y un valor probable de 3.19 hrs.

**Paso1.** Debido a que se tiene incertidumbre en el TTR se seleccionó este como variable de entrada, luego se seleccionó el modelo triangular y se ingresaron los valores mínimo, más probable y máximo en el cuadro de tiempo para reparar. Ver figura 9.

| Tiempo para reparar hr |      |
|------------------------|------|
| Mín                    | 1.00 |
| Med                    | 3.19 |
| Máx                    | 5.00 |
| TTR                    | V.E  |

Figura 9. PROGRAMA SUMULAR Y USO DE MODELO TRIANGULAR

**Paso2.** Asimismo, para el cálculo del tiempo de overhaul se usó el software SIMULAR (<http://www.simularsoft.com.ar/Simular1.htm>) y el programa FSR.2022.1.

**Paso3.** Luego se seleccionó la variable de salida llamada “tiempo óptimo de overhaul”.

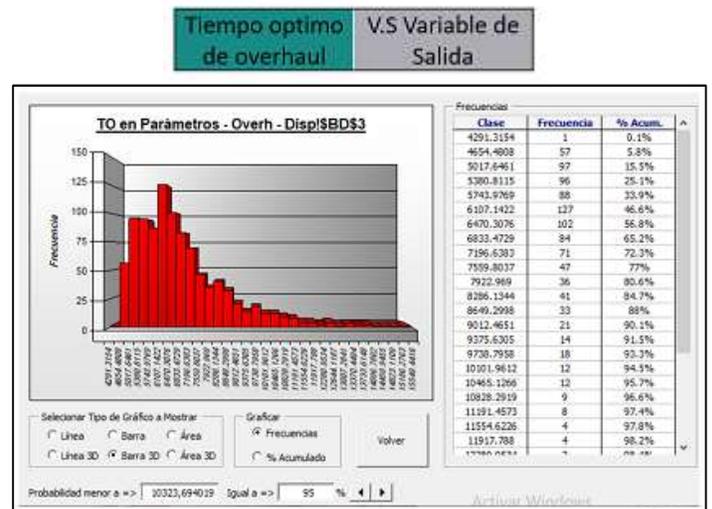


Figura 10. ANÁLISIS DE MONTECARLO

Posterior a ello se realizó una corrida para 1000 simulaciones usando el programa *SIMULAR* y en donde se obtuvieron los siguientes resultados. Ver figura 10.

*Para un nivel de confianza del 90% se obtuvo que el tiempo optimo de overhaul se encontraba entre los 4,597.9 hrs y los 10,323.7 horas y con un valor medio de 6,203.2 horas. Analizando para valores mas conservadores se debería realizar el overhaul entre los 4,597.9 hrs y los 6,203.3 hrs.*

Nota: Para ver el vídeo de la realización del caso de estudio clic aquí => <https://youtu.be/NnZktCBEA9s>

## IX. CONCLUSIONES

- Se recomienda realizar el overhaul al sistema contraincendio a la brevedad posible.
- En caso de contar con incertidumbre en algún dato recolectado se deberá aplicar Montecarlo para disminuir los riesgos.
- Se concluye que usando el método de Montecarlos el tiempo de overhaul mínimo, medio y máximo son 4597.9 hrs, 6203.2 hrs y 10323.7 hrs.
- El análisis de cambio u overhaul se realiza cuando no tenga sentido implementar una política de mantenimiento.
- Se considera que las intervenciones preventivas son realizadas en intervalos específicos y constantes de tiempo.
- Se considera que las intervenciones correctivas son más costosas que una intervención preventiva.

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por permitirme compartir mi experiencia y conocimiento en el congreso de mantenimiento y confiabilidad CMC Chile, y gracias a mis estudiantes por su empeño de aprender más sobre sistemas reparables que me motivan a seguir investigando más aplicaciones que les ayuden a resolver sus problemáticas referentes a la toma de decisiones.

## REFERENCIAS

- [1] CROW, Larry. Reliability Analysis for Complex, Repairable Systems. Maryland: [s.n.], 1975.
- [2] Coetsee, Jasper. The Role of NHPP models in the practical analysis of maintenance failure data. South Africa: University of Pretoria, 1997.
- [3] GONZALES, Vicente [et al]. Proceso de Poisson no homogéneo aplicado a la reparación en garantía de un producto. Revista Tecnológica Industrial, España: Universidad de Sevilla, (1):01-11, 2014.
- [4] JARDIN, Andrew y ALBERT, Tsang. Maintenance, Replacement and Reliability, Theory and Applications. E.U.A: CRC Press, 2006.
- [5] CROW, Larry. Methods for Reducing the Cost to Maintain a Fleet of Repairable Systems. E.U.A: Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2003.

- [6] LOUIT, Darko “et al.”. Reliability Engineering & System Safety, E.U.A: ELSEVIER, 2009.
- [7] PASCUAL, Rodrigo. El Arte de Mantener. 3.ª ed. Chile: Centro de Minería por la Universidad Católica de Chile, 2009.
- [8] RIGDON, Steven. Statical Methods for the Reliability of Repairable Systems. Canada:Wiley, 2000.
- [9] RELASIAFOT corporation. Reliability Growth & Repairable System Data Analysis Reference [en línea]. [E.U.A]: [s.n.], 2014.
- [10] YAÑEZ, Medardo, GÓMEZ, Hernando y VALBUENA, Genebelín, Ingeniería de Confiabilidad y Análisis Probabilístico de Riesgo, pp. 221. ISBN: 980121201169



Adolfo A. Casilla nació el 31 de agosto de 1988 en la ciudad de Lima. Recibió su grado título como Ingeniero Mecánico en la Universidad Nacional del Callao, Callao, Lima. Estudió la Maestría de Ingeniería de Confiabilidad y Análisis de Riesgos en la Universidad Las Palmas de Gran Canaria, España. Actualmente estudiando la maestría en Administración de empresas mención finanzas en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Del 2010 al 2011 inicio su experiencia en gestión de mantenimiento con equipos de construcción en la empresa ICCGSA, del 2011 al 2013 fue asistente en el área de mantenimiento en la empresa minera a tajo abierto ARUNTANI, del 2013 al 2014 trabajo en la empresa COSAPI MINERIA en el mina Shougang hierro Perú desempeñándose en área de planificación, del 2015 al 2019 trabajo como responsable del área de planificación y programación en la minera subterránea Hochschild Mining, en la actualidad es gerente general del Centro de Investigación en Gestión de Activos y Mantenimiento - CIGAM, en la que se desempeña como investigador y docente en temas relacionados a la Ingeniería de confiabilidad y análisis de datos estadísticos. Sr. Adolfo fue ganador durante 4 años consecutivos en el Congreso Peruano de Mantenimiento, organizado por IPEMAN del 2015 al 2018, en el 2017 viajo a Argentina representando a Perú en el 6to congreso de mantenimiento y gestión de activos con el trabajo técnico “Optimización de los costos de mantenimiento para la toma de decisión entre la compra u overhaul de un cargador de bajo perfil (Scoop) de 6 yd3”.