IMPLEMENTACIÓN COMPUTACIONAL DE UNA PLATAFORMA DE ADQUISICIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS, PARA SU USO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

A. R. Valdéz[1], J. E. Abet[2*], F. Olivo[3]

[1] *Departamento de Ingeniería Mecánica UTN-FRC andres10valdez@hotmail.com*

[2] *Departamento de Ingeniería Industrial UTN-FRC jorgeabet@gmail.com*

[3] *Departamento de Ingeniería Industrial UTN-FRC folivoaneiros@gmail.com*

RESUMEN:

Las políticas vigentes respecto de la utilización de un sistema que gestione el Mantenimiento Industrial (M.I) se ha visto influenciado por la experiencia personal del encargado del sector M.I. A fin de establecer una metodología uniforme de trabajo es que se establece la necesidad de contar con herramientas de cálculo lo más eficiente y amigables posibles. Esta publicación no solo retoma la discusión que Weibull y sus revisores mantienen sobre el estudio de funciones de probabilidades; sino que se presenta un entorno de ingreso de datos y consulta de los mismos amigable al usuario. Dicho entorno hace que la evaluación de nuestra función de probabilidades sea un post-proceso de datos.

Palabras clave: Mantenimiento Industrial, Estudio probabilístico de fallas, Adquisición y análisis de datos.

ABSTRACT:

Nowadays existing policies on the use of a system that manages the Industrial Maintenance (MI) are been influenced by the personal experience of the MI's Sector chief. In order to establish a standard work procedure we formally set down the lackness of an efficient and friendly calculation based plataform. The present work does not simply reflect the discussion between Weibull and reviewers had on the study of probability functions; furthermore we propose a newflanged probability function in an environment of data entry and query the same user-friendly features. This environment makes the assessment on our probability function is a post-process data.

Key words: Industrial Maintenance, Stochastic study of failure, Data acquisition and analysis.

1. Introducción

El Mantenimiento Industrial (MI), como rama de la ingeniería tiene como principal función la gestión para lograr el óptimo aprovechamiento de los equipos productivos, y su restauración.

Históricamente el MI se ha visto permeado de la experiencia de quien realiza la actividad de .ªrreglar.el componente fallado. Mas la industria en su progreso tecnológico se ha encontrado en la necesidad de contar con herramientas híbridas de aseguramiento de funcionalidades y reducciones de costos. En particular el trabajo de [1] tiene como objetivo determinar una función de probabilidades para determinar la ocurrencia de un suceso de acuerdo a una recopilación histórica de registros de este evento inicialmente aleatorio.

La motivación de los autores de este trabajo es contribuir a una discusión planteada en [1] donde determinados revisores sugieren interpretaciones diferentes a la función de *Weibull*. La contribución nuestra se ve enriquecida dado que la naturaleza del trabajo está basada e una plataforma de código abierto y libre, con lo que los objetivos finales son meramente académicos.

El presente trabajo está ordenado de modo tal que la Sección 2 se presente una introducción sobre estudio de funciones de probabilidad y sus aplicaciones al MI. La Sección 3 provee elementos teóricos sobre la *flexibilidad* de la función de probabilidad que Weibull está proponiendo. Los autores de este trabajo prefieren incluir en Sección 4, la implementación que fue desarrollada en una hoja de cálculo propia de la plataforma ***google***. Se incluye además la validación numérica, donde se presentan casos de estudio real.

2. Estudio de funciones de probabilidad

Dado un *evento* caracterizado de un modo binario (ocurrió o no ocurrió) es que puede asociarse una variable x aleatoria. Definida esta variable se describirse una función que dependa mediante una relación $P(x)$.

Las funciones $P(x)$ que se van a utilizar tienen las características propias de funciones *gaussianas*, la necesidad de trabajar con estas funciones es su sencillo manejo aritmético-algébrico. La ecuación de la función de probabilidad gaussiana se encuentra escrita en su modo explícito en 1.

$$f_{\sigma,\mu}(x) = \frac{1}{\pi \cdot \sigma \cdot \sqrt{2}} \cdot e^{\dfrac{-(x-\mu)^2}{2 \cdot \sigma^2}} \tag{1}$$

Las características de la distribución de la variable x está presente en la media aritmética μ y en la desviación estándar σ.

2.1. Enfoque probabilisístico del MI

El estudio estocástico de variables aleatorias independientes tiene su utilidad en particular en MI, como herramienta para la determinación de ocurrencias de fallas a lo largo del tiempo. Ya sea en MI como en otras disciplinas se definen dos estados posibles *Operativo* o *Fallado*. Sujeta a esta definición es que se define una función de acumulación de probabilidades representada en 2

$$P(X \leq x) = F(X) = \int_{-\infty}^{x} f(x) \tag{2}$$

La Función 1 integrada nos entrega la probabilidad de ocurrencia del evento x. La utilidad de la ecuación 2 hace ver el vínculo entre los sucesos registrados, y los eventos que todavía no han ocurrido. La relación es directa en esta ecuación. El comportamiento de la función $P(x)$ depende directamente de los valores μ y σ.

Los históricos de fallas son los datos de entrada para la construcción de estas funciones. Con lo que se resume que cualquier modelo a ser implementado debe reunir información recabada previamente y luego mediante un cálculo a posteriori se determinará la ocurrencia de un evento.

3. Enfoque de Weibull de funciones de probabilidad

Ante la necesidad de escribir una función de densidad que describa una amplia gama de problemas de tipo ingenieriles es que en [1] se establece un procedimiento para escribir estas funciones. La principal ventaja del enfoque de Weibull en su trabajo es que el aproxima por funciones gaussianas algo que no necesariamente es. El trabajo de Weibull es innovador en el sentido de las caracterizaciones que su función puede efectuar, se va a utilizar una variante de estas para describir el siguiente problema ***Determinar la probabilidad de fallos de un componente mecánico en un determinado tiempo***.

De acuerdo al procedimiento descripto en [1] una función de probabilidaddes acumuladas debe cumplir la siguiente ecuación.

$$F(x) = 1 - e^{-n\cdot\Phi(x)} \tag{3}$$

Donde la Función 3 utiliza un espacio de n ensayos binarios de la variable x. La Función 3 devuelve al usuario la probabilidad de encontrar x en la *n-ésima* lectura. De acuerdo a la estructura de la Función 3, las probabilidades de ocurrencia del evento x se obtienen con la siguiente ecuación polinómica:

$$(1 - P(x))^n = 1 - e^{(-n\cdot\Phi(x))} \tag{4}$$

la naturaleza del Polinomio 4, hace que resolverlo y obtener las raíces sea la tarea central. La complejidad que se detecta en [1] se ve resumida en la correcta caracterización del coeficiente Φ, Weibull propone hacer la siguiente relación:

$$\Phi(x) = \frac{(x-\gamma)^\beta}{\eta} \tag{5}$$

donde la Ecuación 5 hace uso de un coeficiente de correlación γ; aparece además un coeficiente de ajuste de escalas como es η; y un coeficiente que da la tendencia a ocurrir o no de un evento, como lo es β.

3.1. Discusión planteada en el trabajo de Weibull

El trabajo de Weibull [1] se encuentra enriquecido por una discusión sobre la forma en que se debe escribir la función Φ. La discusión incluye una serie de comentarios que son propios de los revisores del trabajo de Weibull, y concluyen entre otras cosas que la función Φ debió ser escrita como sigue:

$$\Phi = (\frac{x-\gamma}{\eta})^\beta \tag{6}$$

bajo estas correcciones presentadas en 6 es que la función de Probabilidades de Weibull se encuentra definida para todos los casos presentados. Los autores de este trabajo recomiendan leer con atención esa discusión planteada, dado que los elementos que se estan evaluando hace que se mejore el trabajo de Weibull, y da oportunidades a otros modelos, como el que se va a implementar en 4, a sugerir variaciones de esta.

4. Función de Probabilidades implementada

La discusión del trabajo de Weibull, registrada en [1] fue el elemento central que los autores de este trabajo encontramos para implementar nuestra función de densidad de probabilidades. Entonces bajo las consideraciones propias de la discusión antes citada es que escribimos la siguiente función:

$$\Phi = (\frac{x}{\eta})^{\beta} \tag{7}$$

la Ecuación 7 da a saber que hay alta correlación de datos entre entradas y salidas, con lo que podemos despreciar el término de γ. Esto a pesar de ser una gran ventaja a la hora de computar datos es la mayor restricción, dado que necesitamos obligatoriamente que la correlación sea alta.

En MI las correlaciones entre datos de fallas y las fechas entre ellas hace que la correlación sea siempre elevada, lo cual hace que podamos hacer esta simplificación.

4.1. Modelo de trabajo a ser implementado

De acuerdo a lo establecido en los títulos anteriores es que se deberán registrar eventos, para luego determinar los coeficientes de ajuste de 7, esta metodología de trabajo está esquematizada en la siguiente Figura.

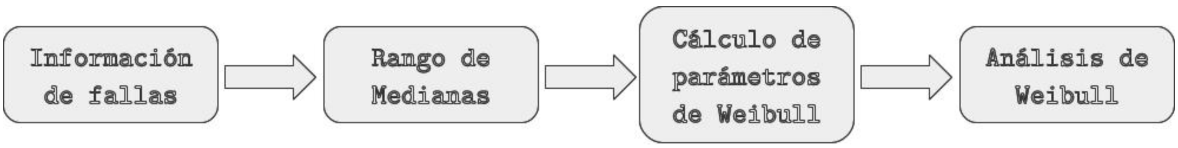
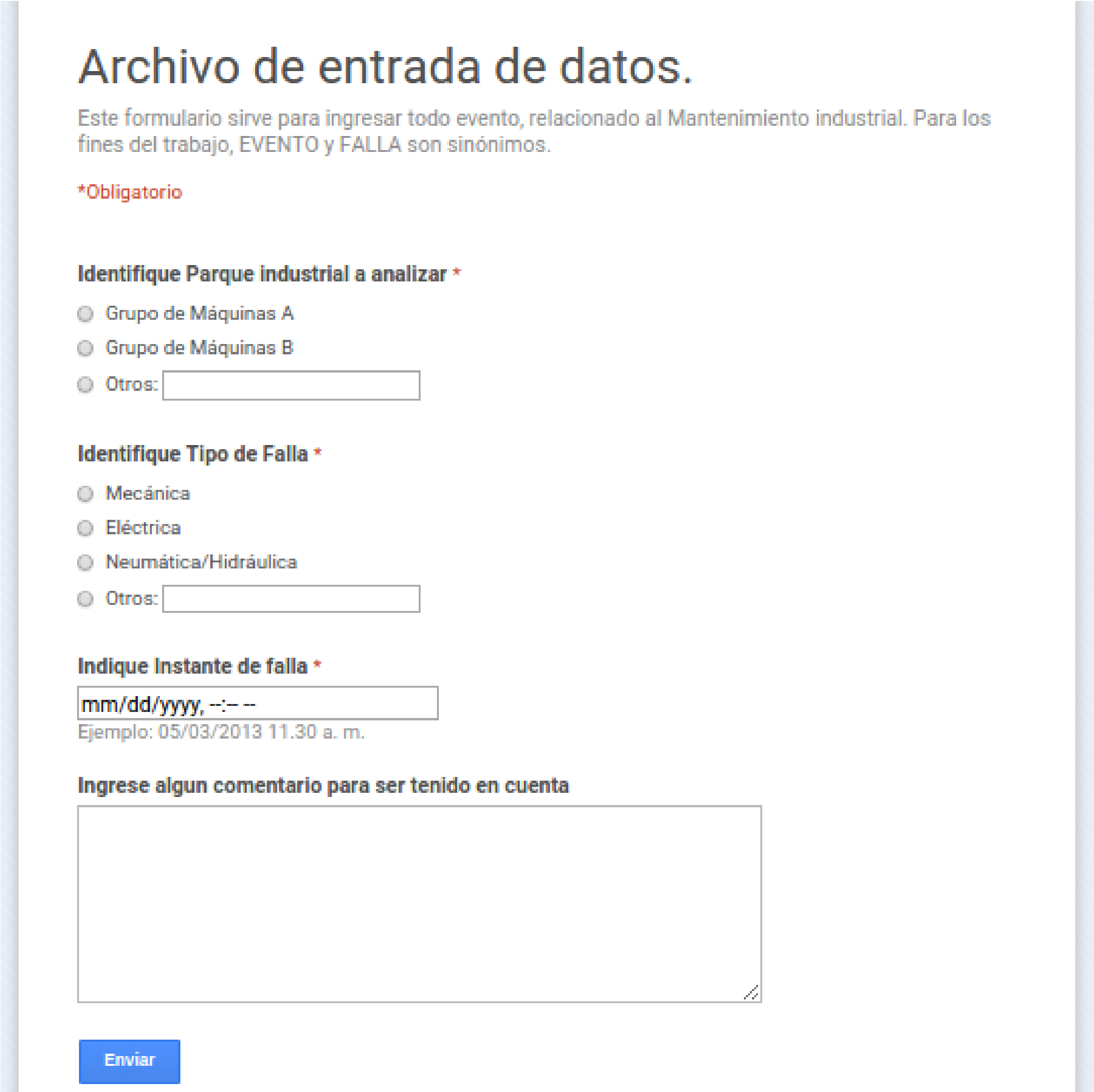


Figura 1: Modelo de Trabajo

4.2. Proceso de carga de datos

El registro de la información deberá ser llevada a cabo en un hoja de cálculo de google, se utilizará esta plataforma debido a que la misma es de código abierto, y no presenta restricciones legales para el uso *comercial* de la misma. Otra de las razones por las cuáles se hace uso de esta plataforma es debido a su sencillo manipuleo.

A fin de facilitar el ingreso de datos es que se ha creado un ***Formulario de carga*** donde el encargado del sector MI puede acentar cualquier evento de un modo didáctico e intuitivo. Dicho formulario de carga de datos puede verse a continuación.


Archivo de entrada de datos.

Este formulario sirve para ingresar todo evento, relacionado al Mantenimiento industrial. Para los fines del trabajo, EVENTO y FALLA son sinónimos.

*Obligatorio

Identifique Parque industrial a analizar *

- Grupo de Máquinas A
- Grupo de Máquinas B
- Otros:

Identifique Tipo de Falla *

- Mecánica
- Eléctrica
- Neumática/Hidráulica
- Otros:

Indique Instante de falla *

mm/dd/yyyy, --:-- --

Ejemplo: 05/03/2013 11.30 a. m.

Ingrese algun comentario para ser tenido en cuenta

Enviar

Figura 2: Formulario de ingreso de datos

4.3. Proceso de gestión de datos

Los datos cargados por el usuario en el formulario de entrada de la Figura 2, son volcados a una hoja de cálculo, la cual tiene una forma de arreglo tabulado el cual se ve esquematizado en la Tabla 1.

Cuadro 1: Formato de tabla de entrada de datos

Id Parque industrial	Tipo de falla	Instante de Falla	Comentarios	Número de falla
Texto	Texto	Número	Texto	Número

En lo que refiere al estudio probabilístico de Weibull, solo interesa conocer la posición temporal del fallo, y consecuentemente su número de ordenación. No obstante ello la tabla anterior cuenta con más información, debido a que la Gestión del MI debe no solo predecir cuando acontecerá una falla sino debe responder a otro tipo de solicitaciones, como ser:

1. Fallos con más frecuencia
2. Parque industrial con más frecuencia de fallas

3. Fallas críticas

4. otros patrones

Dado que este trabajo tiene como objetivo el estudio de probabilidades orientado al MI, retomamos el eje central e introducimos la siguiente tabla donde se muestra como es el ordenamiento de datos para que la Función 7 pueda ser implementada.

Cuadro 2: Formato de tabla de post-proceso de datos

Evento	Posición Temporal	Rango de Medianas	x	y
Número	Número	Número	Número	Número

En la Tabla 2 anterior hemos caracterizado el tipo de dato que cada variable tiene, a modo de dar notación para operar matemáticamente designaremos a *Evento* como i, *Posición* como t, *Rango de Medianas* como RM. La ecuación que determinará el RM se muestra en 8

$$RM = \frac{i - 0{,}3}{N + 0{,}4} \tag{8}$$

donde N es el total de eventos registrados. Es posible ver que en la tabla de post-proceso de datos hay variables como x e y que no han sido debidamente declaradas. Debido a la naturaleza *logarítmica* de la distribución de fallos es que hacemos uso de un cambio de escala en elje de los *Tiempos*, bajo estas condiciones es que escribimos la Ecuación 9

$$x = ln(t); y = ln(ln(\frac{1}{1 - RM})) \tag{9}$$

El hecho de haber implementado la Función 4 bajo las condiciones propias de 7 en un entorno amigable al usuario hace que se puedan determinar los coeficientes β y η de un modo muy sencillo. De acuerdo a la documentación de *google* es que se define unívocamente 10

$$\beta = SLOPE(y, x); \eta = EXP(\frac{-INTERCEPT(y, x)}{\beta}) \tag{10}$$

Para darle al usuario algún indicador de veracidad del modelo implementado 7 es que debe recordarse que la correlación estadística alta es quein determinará la validez del modelo. Entonces el control será efectuado mediante 11.

$$R = CORREL(y, x) \tag{11}$$

Habiendo determinado los coeficientes β y η con una correlación aceptable o admisible por parte del usuario es que el encargado de MI, puede determinar la buscada *tasa de fallos*, para consecuentemente determinar el tiempo de buen funcionamiento del parque industrial. A modo de revisión se define la Ecuación 12

$$\lambda = \frac{1}{\beta} \tag{12}$$

4.4. Ejemplo de aplicación

Los ejemplos que a continuación se van a presentar son casos reales, donde los parques industriales estudiados corresponden a recopilaciones efectuadas por el Ing. Abet, en sus labores como profesor de la cátedra MI en UTN-FRC. Si bien en

MI, se requiere de una respuesta completa los autores de este trabajo sostienen que el aporte fundamental lo hace el estudio probabilístico, razón por la cual se presenta a continuación una tabla que muestra como ha sido completada la Tabla 2, para un caso real. La referencia temporal escogida para este estudio es $01/01/2006$ a las 00:00:00.

Cuadro 3: Datos procesados del Parque Industrial A

Evento	Posición Temporal	Rango de Medianas	x	y
1	2.38	1.39	8.65E-01	-4.27E+00
2	2.79	3.37	1.03E+00	-3.37E+00
3	3.33	5.36	1.20E+00	-2.90E+00
4	4.33	7.34	1.47E+00	-2.57E+00
5	6.70	9.33	1.90E+00	-2.32E+00
6	8.83	11.31	2.18E+00	-2.12E+00
7	11.08	13.29	2.40E+00	-1.95E+00
8	14.08	15.28	2.64E+00	-1.80E+00
9	18.33	17.26	2.91E+00	-1.66E+00
10	22.35	19.25	3.11E+00	-1.54E+00
11	24.42	21.23	3.20E+00	-1.43E+00
12	28.04	23.21	3.33E+00	-1.33E+00
13	35.31	25.20	3.56E+00	-1.24E+00
14	38.45	27.18	3.65E+00	-1.15E+00
15	46.45	29.17	3.84E+00	-1.06E+00
16	49.33	31.15	3.90E+00	-9.86E-01
17	57.33	33.13	4.05E+00	-9.10E-01
18	62.38	35.12	4.13E+00	-8.38E-01
19	68.65	37.10	4.23E+00	-7.69E-01
20	73.74	39.09	4.30E+00	-7.02E-01
21	78.92	41.07	4.37E+00	-6.37E-01
22	86.58	43.06	4.46E+00	-5.74E-01
23	95.44	45.04	4.56E+00	-5.13E-01
24	101.83	47.02	4.62E+00	-4.54E-01
25	107.91	49.01	4.68E+00	-3.95E-01
26	116.58	50.99	4.76E+00	-3.38E-01
27	122.96	52.98	4.81E+00	-2.82E-01
28	132.78	54.96	4.89E+00	-2.26E-01
29	139.83	56.94	4.94E+00	-1.71E-01
30	149.79	58.93	5.01E+00	-1.17E-01
31	155.66	60.91	5.05E+00	-6.25E-02
32	167.08	62.90	5.12E+00	-8.57E-03
33	185.79	64.88	5.22E+00	4.54E-02
34	193.31	66.87	5.26E+00	9.95E-02
35	203.75	68.85	5.32E+00	1.54E-01
36	205.75	70.83	5.33E+00	2.09E-01
37	212.29	72.82	5.36E+00	2.64E-01
38	221.33	74.80	5.40E+00	3.21E-01
39	230.58	76.79	5.44E+00	3.79E-01
40	246.42	78.77	5.51E+00	4.38E-01
41	252.71	80.75	5.53E+00	4.99E-01
42	262.83	82.74	5.57E+00	5.63E-01
43	279.33	84.72	5.63E+00	6.31E-01
44	293.58	86.71	5.68E+00	7.02E-01
45	300.83	88.69	5.71E+00	7.79E-01
46	316.83	90.67	5.76E+00	8.64E-01
47	326.74	92.66	5.79E+00	9.60E-01
48	338.31	94.64	5.82E+00	1.07E+00
49	345.40	96.63	5.84E+00	1.22E+00
50	363.25	98.61	5.90E+00	1.45E+00

De acuerdo a los datos ingresados al formulario de Figura 2, es que se genera automáticamente la Tabla 3. Las cáracterísricas de la distribución se muestra a continuación.

Cuadro 4: Resultados estocásticos de A

Total de eventos	β	η	λ	Correlación
50	8.27E-01	1.37E+02	1.21	0.9725

La correlación puede verse elevada, en el orden del 97 porciento. Los valores antes detallados son la base para escribir entonces la Ecuación 4. La sencilla escritura disponible en el entorno gráfico de *google spreadsheets* hace que no se requieran conocimientos en lenguajes de programación. Esta es la principal ventaja a destacar de nuestra implementación. Solo el ”Encargado de MI” debe ingresar datos y por detrás se calculan los parámetros estocásticos.

Para darle una interpretación gráfica a los resultados mostrados en la Tabla 4, es que se va a hacer uso de la siguiente figura.

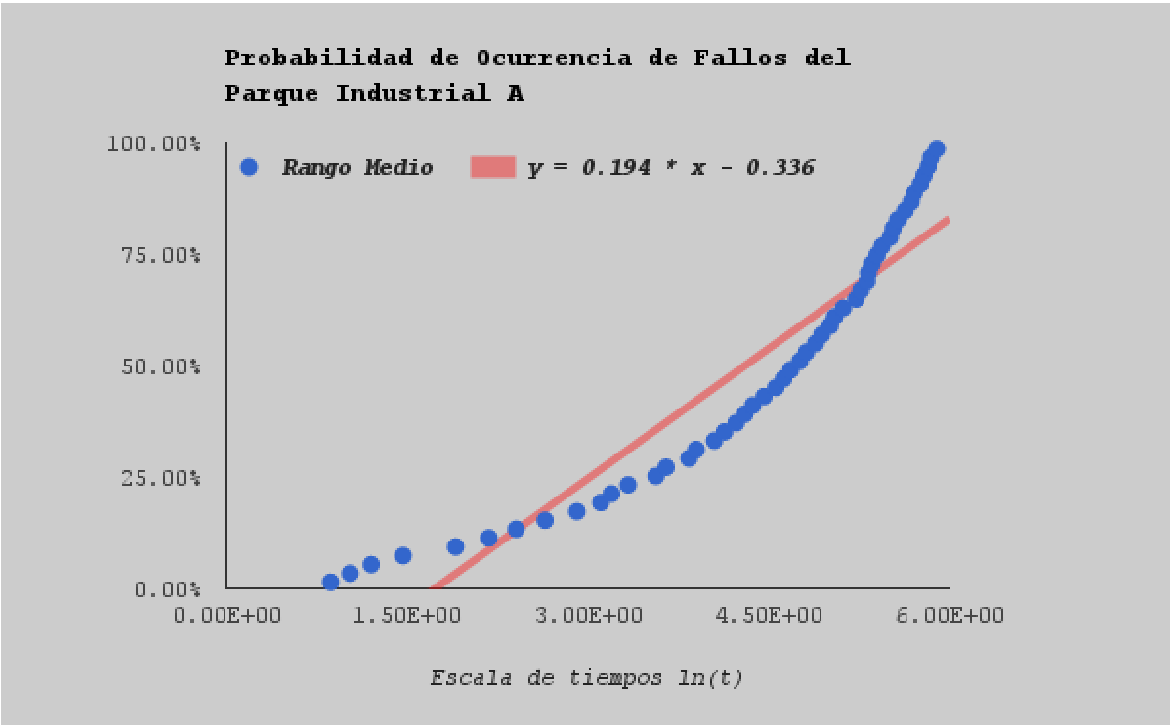


Figura 3: Interpretación gráfica de resultados

En 3 se está representando en línea de trazo continuo rojo, la ”aproximación lineal” de mínimos cuadrados, en escala de tiempos logarítmicas con base e.

La completitud del estudio que se ha llevado a cabo engloba conceptos que sirven para saber a posteriori como ha sido el desempeño o *performance* del mismo, con el objeto de estimar sus prestaciones futuras.

5. Conclusiones y comentarios

Como se menciona en la Introducción la aplicación de mecánica estocástica a la gestión de Mantenimiento Industrial le provee, al usuario una herramienta de notable utilidad; a la hora de evaluar el plan de uso de un determinado parque industrial. La interface de carga de datos ha demostrado ser amigable al usuario, el entorno gráfico de la misma está descrito en un modo bidireccional, permitiéndole al usuario corregir cualquier dato incorrecto.

Las bases de datos generadas por el formulario de carga de datos son de sencilla interpretación y administración. Los cálculos de parámetros de Weibull son de fácil ejecución. El usuario solo debe actualizar las ”celdas”.

La principal ventaja de esta implementación computacional es que al estar concebida en una plataforma *online* el usuario puede accceder al formulario siempre que este disponga de una conexión a Internet. Si esta es de tipo móvil, el formulario puede accederse con cualquier dispositivo portable, como ser *smartphone, tablet, etcétera*; caso contrario con un ordenador cableado se accede a la información. Se hace énfasis en este aspecto debido a que la actividad del encargado de MI, no dispone usualmente de tiempo para la carga de datos, mucho menos para el cálculo.

La función implementada presenta una sencilla interpretación y posee una sola desventaja; propia de la distribución, la necesidad de contar con una alta correlación estadística. Si bien en MI la correlación es elevada, la función de Weibull es aplicada a diversos casos.

A modo de futuras motivaciones se recae en la necesidad de adaptar este estudio a funciones de correlación estadística arbitraria. Esto conllevaría modificar la implementación de 7. Lo que significa aproximar con polinomios de mayor orden las estimaciones.

La principal ventaja que esta implementación ha desarrollado está relacionada a la practicidad de la misma. No se duplicaron los esfuerzos de cálculo y registro. En el mismo instante que el ”Encargado de Mi” ingresa un evento se están actualizando las dimensiones de las celdas a ser consideradas, lo que hace prometedora esta implementación. En la actualidad existen varias herramientas comercialmente disponibles que efectúan este servicio, por citar la más relevante está *ReliaSoft's Weibull++* está implementación computacional es aún más amigable que la que se ha desarrollado y mostrado en este trabajo, mas es costosa y prohibitiva, para el grupo de empresas que se autodenominan PyMES, las cuales tanto abundan en Córdoba.

Los autores de este trabajo agradecen los fondos brindados por *PID-UTN3637*, para la realización del mismo.

Referencias

[1] W. Weibull. A statistical distribution function of wide applicability. *Journal of applied mechanics*, 18:293–297, 1951.