

LEY DE PARETO APLICADA A LA FIABILIDAD

Autor: M.Sc Ing. Carlos Manuel.Bonet Borjas

**Instituto Superior Politécnico “José A. Echeverría”. CUJAE. Facultad de Mecánica.
Departamento de Ingeniería del Transporte.
bonet@mecanica.cujae.edu.cu
bonetbor @ yahoo. Com**

Resumen

El presente trabajo aborda la aplicación de La Ley de Pareto a la Fiabilidad, se explica la metodología de dicha ley y como puede ser usada como herramienta eficaz para definir de un conjunto de sistemas y / o piezas de un automóvil a cuales de le debe hacer el estudio fiabilístico y no desperdiciar tiempo y recursos en atender sistemas y piezas no críticos. También se muestra en el trabajo la metodología que se aplica para hacer un experimento fiabilístico usando un ejemplo práctico cuyos resultados fueron comprobados a través del programa profesional Statgraphics

Summary

The present work approaches the application of The Law of Pareto to the Reliability, the methodology of this law is explained and like it can be used as effective tool to define of a group of systems and / or pieces of an automobile to which of should make him the study of the reliability and not to waste time and resources in assisting systems and non critical pieces. It is also shown in the work the methodology that is applied to make a reliability experiment using a practical example whose results were proven through the professional program Statgraphics

INTRODUCCION:

Desde la década del 80 del pasado siglo en muchas empresas del país en el ramo del transporte se han realizado estudios de fiabilidad encaminados a determinar las demandas de piezas de repuestos, conocer los sistemas y piezas que más afectan a la producción, determinar los índices de fiabilidad , organizar el sistema de mantenimiento, realizar rediseño y /o reclamaciones a los proveedores, estas investigaciones se realizaban en la mayoría de los casos a todas los sistemas y piezas que fallaban en las máquinas de una empresa, en otros casos se realizaba por experiencias apoyadas en datos estadísticos.

Al realizar la investigación y aplicar la metodología de La Fiabilidad a todos las piezas y / o sistemas que fallan en un parque de máquinas se desperdiciaba tiempo en la realización de los cálculos de piezas no críticas, pero si además se usaba para calcular y solicitar los módulos de piezas de repuesto también se desperdiciaba dinero en piezas que en la mayoría de los casos iban a engrosar el inventario de piezas ociosas o piezas de bajos movimiento, ambas provocaban gastos innecesarios que en muchas entidades podían alcanzar sumas considerables.

La Ley de Pareto vino a solucionar esta problemática al poder ser aplicada como herramienta para determinar las piezas críticas y determinar a cuales piezas y sistemas de la máquina hay que prestarle más atención y por lo tanto dedicarle los recursos financieros, materiales y humanos.

Esta metodología fue incorporada (1998) a los programas de las asignaturas de Fiabilidad que imparte el Departamento de Ingeniería del Transporte de La CUJAE tanto en pregrado como en post-grado y ha sido empleada en el estudio del comportamiento de las piezas y sistemas de las cuñas tractivas de CUBALSE en (1998), autos taxi Citroen en PANATAXI (2001) y en los autos Peugeot 106 y Ladas 2107 en PANATRANS (2004).

Los objetivos de esta ponencia son: Mostrar como se aplica La Ley de Pareto en la Teoría de La Fiabilidad para determinar los fallos críticos de una máquina y mostrar la metodología para realizar el experimento fiabilístico.

DESARROLLO:**LEY DE PARETO APLICADA A LA FIABILIDAD.**

La Ley de Pareto es una herramienta de calidad y plantea *“En cualquier negocio o industria pocos elementos son vitales, mientras que la gran mayoría no lo son”*.

También se conoce como Ley 20 – 80 \Rightarrow El 20% de la población es la que provoca el 80 % de los problemas.

Hay que buscar el 20% de los rubros que más influyen o quienes provocan el 80% de los problemas.

Pasos para determinar los rubros que se incluirán en el programa.

En este caso los rubros serán los fallos críticos (Se analizará con un ejemplo práctico en la Empresa CUBALSE)

Paso #1.- Determinación de los rubros que se incluirán en el programa

- 1.1) Rubros que se incluirán en el análisis: Los 10 fallos más frecuentes en las cuñas tractivas de Transporte CUBALSE.
- 1.2) Período analizado: del 1/1/98 hasta el 31/12/98.
- 1.3) Unidad empleada: cantidad de fallos.
- 1.4) Localización de la información. Los datos se obtuvieron en el archivo de Transporte CUBALSE.

Este paso es de vital importancia porque:

1ro - Define que se va a investigar en este caso los fallos más frecuentes, pero pudo haber sido otro rubro (Ej. Las veces que falla cada cuña tractiva, la probabilidad de fallo de cada cuña, etc.)

2do – Es importante declarar bien el período y el mismo tiene que ser coincidente, ya que Pareto es repetitivo, se aplican las acciones propuestas y después se va comprobando en los períodos siguientes la efectividad de las medidas tomadas. Se aconsejan períodos 3 – 12 meses.

3ro - La unidad empleada es la decisión ingenieril más importante, la cual responde a los intereses de la investigación y de la empresa que la está realizando. Cuando se toma cantidad de fallos de cualquier tipo no se tiene en cuenta el valor de cada pieza, las pérdidas por estadías que puede provocar cada fallo, las afectaciones a la seguridad o al medio ambiente, etc. Otras unidades podrían ser: valor de la pieza, agregado o sistema, pérdidas por estadías que provoca el fallo, etc.

4to – Siempre hay que tomar los datos estadísticos por el mismo método (activo o pasivo) y en el mismo lugar

Paso #2.-Construir la tabla estadística a partir de las sumas totales de las magnitudes observadas y registradas.

Tabla 1.Resumen estadístico

RUBRO EN ANALISIS	MAGNITUDES SUMADAS POR CADA RUBRO	% ACUMULADO POR RUBRO	SUMA ACUMULADA DE LAS MAGNITUDES	SUMA ACUMULADA DEL % POR RUBRO	CLASIFICACIÓN POR CLASE
1	102	28,25	102	28,25	A
2	91	25,21	193	53,46	A
3	60	16,62	253	70,08	A
4	36	9,97	289	80,05	A
5	33	9,14	322	89,19	B
6	11	3,05	333	92,24	B
7	11	3,05	344	95,29	B
8	7	1,93	351	97,22	C
9	5	1,38	356	98,6	C
10	5	1,38	361	99,98	C
Total	361			99,98 \approx 100	

CLASIFICACION DE LOS RUBROS POR CLASES:

- 1- Clase A, los rubros más importantes.

2- Clase B, los rubros de importancia media.

3- Clase C, los menos importantes

Existen dos formas de determinar la clase de los rubros en la tabla estadística:

1- Por el 20% de los rubros.

2- Por el 80% del valor acumulado.

Por el 20 %, serán clase A el 20 % de los rubros, clase B entre el 30 y 40 % de los rubros y clase C entre el 50 y 40 % de los rubros.

Por el 80 %, serán clase A el 80 % de los rubros, clase B el 15% de los rubros y clase C el 5% de los rubros.

La forma que se decida para determinar la clase de los rubros es una decisión del especialista, si en el ejemplo mostrado se toma el 20% de los rubros, puede ser que el porcentaje acumulado no sea representativo y lo mejor sería tomar a partir del 80% del valor acumulado. Esta última fue la que se utilizó, ya que si se toma el 20% de los rubros, el porcentaje acumulado no es representativo ya que sólo resuelve el 53,46% de los problemas.

En este caso se utilizó el 80% del valor acumulado, resultando:

Clase A → 80% → 1 al 4 ⇒ 80,05%

Clase B → 15% → 5 al 7 ⇒ 15,24%

Clase C → 5% → 8 al 10 ⇒ 4,69 %

Al decidir esta forma, como se verá, hay que distribuir los recursos entre más rubros y se necesita más personal para las acciones que se planifiquen

Paso #3.- Resumen por clases

Tabla 2. Resumen por clase

CLASE	% DE RUBROS DENTRO DE LA CLASE	%ACUMULADO QUE REPRESENTA CADA CLASE	ESTABLECER RELACION	RAZON DE IMPORTANCIA ABSOLUTA	RAZON DE IMPORTANCIA RELATIVA
A	40	80,05	80,05 / 40	2,00	13,3
B	30	15,24	15,24 / 30	0,51	3,4
C	30	4,69	4,69 / 30	0,15	1

La relación de A significa que el 40% de los rubros son los que provocan el 80.05 de los fallos en las cuñas tractivas

La razón de importancia absoluta de A es 2 y como se ve es mucho mayor que la de B y C

La razón de importancia relativa es la relación de A y B respecto a C.

$$2,00 / 0,15 = 13,3 \Rightarrow \text{que A es 13,3 veces más importante que C.}$$

$$0,51 / 0,15 = 3,4 \Rightarrow \text{que B es 3.4 veces más importante que C.}$$

Paso #4. Construcción y Análisis del Diagrama de Pareto.

El diagrama de Pareto no es más que la elaboración de un histograma o la función de distribución acumulada. Figura 1. Diagrama de Pareto

Para el análisis del diagrama, como Pareto es repetitivo:

1- Hay que construir diagramas con características y períodos iguales para poder analizar la estrategia y acciones tomadas.

2- La estrategia y acciones son dirigidas a los rubros de clase A.

3-Después del plan de medida, debe observarse el alto de las barras, si han disminuido, las acciones son efectivas, pero si se mantienen igual o han aumentado entonces las acciones han sido malas.

4- La disminución de la altura de las barras significa una mejora equivalente a la magnitud de la disminución.

5- Llegará el momento en que los rubros A pasen a clase B o C y estos pasen a clase A, lo que obligará a dirigir las acciones a los nuevos rubros de la clase A. Lo ideal sería que la altura de todas las barras sea

del mismo alto

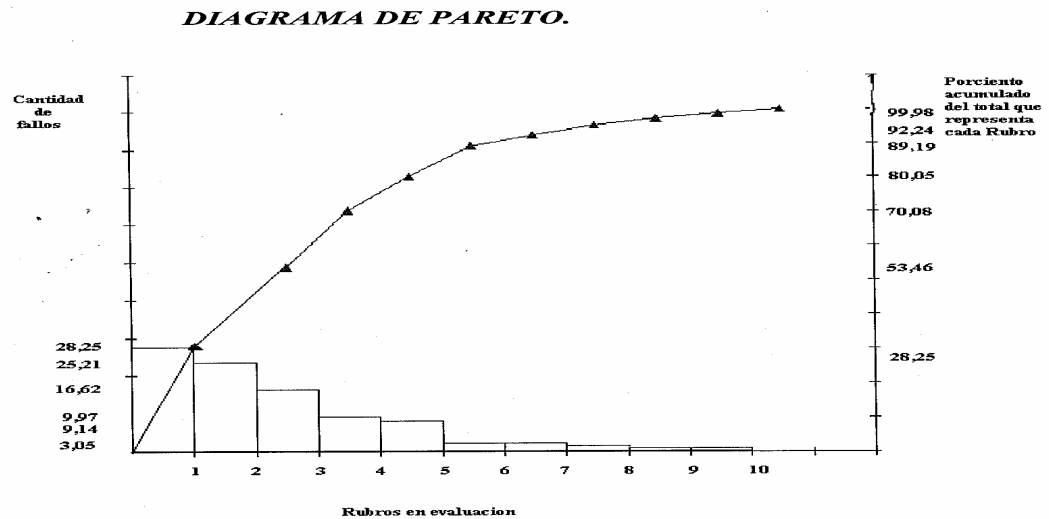


Figura 1. Diagrama de Pareto

Después de analizar los 10 fallos más frecuentes en las cuñas tractivas y la utilización de Pareto se llegó a la conclusión de que los fallos más críticos son los que están incluidos dentro de la clase A y a éstos son a los que se les hará un estudio fiabilístico para determinar la periodicidad de cambio de los elementos y así poder incluirlo en el ciclo de mantenimiento.

Estos fallos son:

1. Sistema cámara – neumático
2. Sistema eléctrico
3. Sistema de freno
4. Soldadura

Metodología Para Realizar El Experimento Fiabilístico.

A continuación se brinda la metodología a seguir para la determinación de la fiabilidad del sistema neumático – cámara debido a las sistemáticas entradas al taller por esta cuestión, junto con la cual también se expresan los resultados obtenidos.

Pasos:

1. Obtener información de la muestra en la cantidad y con la calidad requerida.

La representatividad o tamaño de la muestra, cuando no se conoce la ley de distribución que sigue el agregado, se puede calcular por medio de:

$$N_{\text{teo}} = \frac{\ln(1 - \alpha_1)}{\ln R(t)_{\text{min}}} = \frac{-2,30}{-0,05} = 44,89 = 45 \text{ muestra.} \quad (1)$$

donde:

α_1 = Nivel de significación en función de las exigencias del investigador. Se utilizó 0,90

$R(t)_{\text{min}}$ = Probabilidad de trabajo sin fallo del equipo. Se utilizó 0,95.

- 2- Hacer el experimento.

No se hizo porque se tomaron los resultados de forma pasiva a través de la documentación existente en la base de Transporte CUBALSE.

3- Ordenar la muestra.

Se tiene una lista de 102 muestras dentro de la cual se hará una limpieza de un 3% para eliminar los valores anormales de las mismas. Cada una de éstas representa los tiempos hasta el fallo del sistema neumático – cámara de todo el parque de las cuñas tractivas de Transportee CUBALSE.

Tabla 3. Tiempo entre fallos (Km.)

411	525	667	809	880	893	1332	1409	1512	1968	1980
1982	2017	2123	2141	2293	2306	2596	2683	2740	3019	3044
3185	3374	3527	3532	3561	3562	3584	3640	3818	3942	3966
3962	4318	4602	4721	4743	4790	4892	4949	4965	5204	5219
5361	5517	5582	6101	6132	6182	6598	6680	6894	6968	7164
7192	7323	7456	7472	7529	7975	8025	8112	8120	8150	8158
9573	9902	9914	10020	10085	10702	10786	10807	10923	10985	11266
11280	11412	11671	12796	13085	13457	14734	15161	15197	15848	16054
16142	17320	17331	19821	20496	21267	21752	22817	23000	24640	25141

4' Determinar la cantidad de intervalos de clase.

$$K = 1 + 3,31 \log n \tag{2}$$

Para n = 99

$$K = 7,6 = 8 \text{ intervalos}$$

5- Determinar ancho del intervalo.

$$\Delta x = \frac{(X_{max} - X_{min})}{K} = 3091 \tag{3}$$

6-Organizar la serie estadística y construir el Histograma

$$f^*(X_i) = P^*(X_i)$$

donde: Todas las variables con asteriscos son de las muestras y las demás son de la población.

Tabla 4. Representación tabular

K	Límite de clase		Marca clase X_i	Frec. ABS n_i^*	$\sum_{i=1}^k n_i^*$	Frec. Relat. $P^*(X_i)$	Func. Distrib. $F^*(X_i)$	$P^*(X_i) \cdot X_i$	$[X_i - E(X)]^2 \cdot P^*(X_i)$
	X_{inf}	X_{sup}							
1	0	3091	1545	22	22	0,2222	0,2222	343,29	9041569,2
2	3091	6182	4636	28	50	0,2828	0,5050	1311,06	3057260,5
3	6182	9273	7272	16	66	0,1616	0,6666	1248,68	6268,98
4	9273	12364	10818	14	80	0,1414	0,8080	1529,66	1184291,1
5	12364	15455	13909	6	86	0,0606	0,8686	842,88	2170734,65
6	15455	18546	17000	5	91	0,0505	0,9191	858,5	4159912,35
7	18546	21637	20091	3	94	0,0303	0,9494	608,75	4485516,93
8	21637	25141	23389	5	99	0,0505	0,9999	1181,14	12077956,84

$$\sum n = 99$$

$$E(x) = 7923,96 \quad D^2(x) = 36183510$$

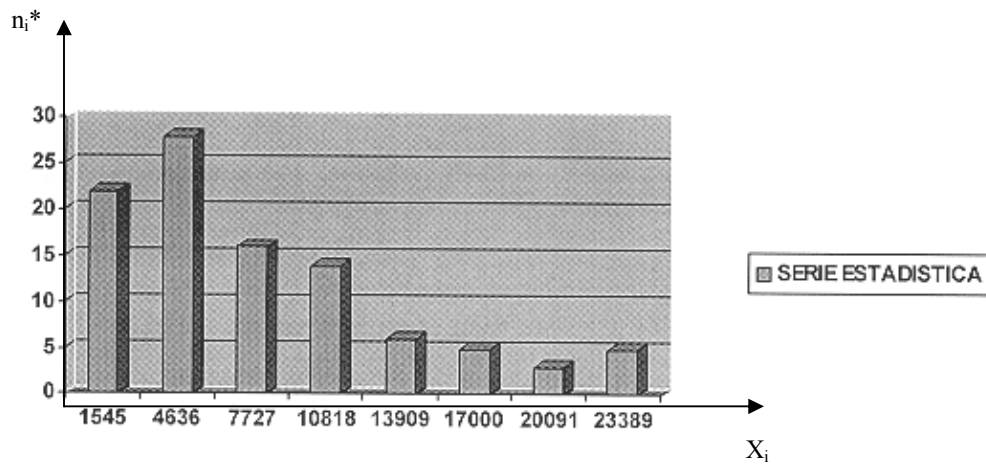


Figura.2 Histograma

7- Cálculo de los Estadígrafos

a) $E(x)$ = Esperanza matemática

$$E(x) = \sum_{i=1}^k P^*(X_i) \cdot X_i \quad (4)$$

$$E(x) = 7923,96$$

$$D^2(X) = \text{Varianza} \quad D^2(X) = \sum_{i=1}^k [X_i - E(x)]^2 \cdot P^*(x_i) \quad (5)$$

$$D^2(X) = 36183510,55$$

b) $\sigma(x)$ = Desviación media cuadrática

$$\sigma(x) = \sqrt{D^2(X)} \quad (6)$$

$$\sigma(x) = 6015,27$$

c) $V(x)$ = Coeficiente de variación

$$V(x) = \frac{\sigma(x)}{E(x)} \quad (7)$$

$$V(x) = 0,759 \Rightarrow \text{Hipótesis: Ley de Distribución Exponencial}$$

Tomando en cuenta que:

$V(x) \approx 1$ se aproxima a la LDE
 $V(x) \approx 0,33$ se aproxima a la LDN
 $1 \leq V(x) \leq 2$ asumir criterio

8-Calcular los valores de la función de distribución teórica para cada intervalo con la ecuación de la ley correspondiente de la hipótesis (L.D.E)

Ley exponencial. La distribución probabilística de una variable aleatoria se llama exponencial si ella puede tomar valores desde cero hasta más infinito con la función de densidad siguiente:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda X} \tag{8}$$

Tabla 4 Continuación de la representación tabular

K	X_i	$f(x)$	$F(x)$	$R(x)$	$P(X_i) = [F(X_i)-F(X_{i+1})]$	n_i^*	$\frac{[n_i^* - nP(X_i)]^2}{n.P(X_i)}$
1	1545	$1,038.10^{-4}$	0,177	0,823	0,177	22	1,1438
2	4636	$7,03.10^{-5}$	0,443	0,557	0,266	28	0,1054
3	7727	$4,759.10^{-5}$	0,623	0,377	0,18	16	0,1858
4	10818	$3,22.10^{-5}$	0,745	0,255	0,122	14	0,3058
5	13909	$2,18.10^{-5}$	0,827	0,173	0,082	6	0,5526
6	17000	$1,476.10^{-5}$	0,883	0,117	0,056	5	0,0534
7	20091	$9,99.10^{-6}$	0,921	0,079	0,038	3	0,1543
8	23389	$6,59.10^{-6}$	0,947	0,053	0,026	5	2,2865

$$\Sigma = n^* \quad \Sigma = X^2_{cal}$$

Donde la intensidad de fallos será:

$$\lambda = \frac{1}{E(x)} = 1,262.10^{-4} \tag{9}$$

La función de distribución de esta ley será:

$$F(x) = \int_0^X f(x)dx = 1 - e^{-\lambda X} \tag{10}$$

La probabilidad de que no ocurra un fallo antes del recorrido X (probabilidad de trabajo sin fallo) vendrá expresada por:

$$R(x) = e^{-\lambda X} \tag{11}$$

8-Ajuste por el método de X^2 .
 Se debe cumplir que $X^2_{cal} < X^2_{tab}$.

$$X_{cal}^2 = \sum_{i=1}^K \frac{[n_i^* - nP(x_i)]^2}{nP(x_i)} = 4.7876 \quad (12)$$

Determinación del X^2 tabulado

Cálculo de los grados de libertad.

$$r = (k - s) - 1$$

Para $s = 1$ (por ser L.D.E) y $K = 8$

Sustituyendo en 13 $\Rightarrow r = 6$

Y para $\alpha_1 = 0,10$ y $r = 6$

X^2 tabulado = 5,35]. Se cumple que $X_{cal}^2 < X_{tab}^2$

Por lo tanto la muestra se ajusta a la Ley de Distribución Exponencial.

9-Determinación del Intervalo de Confianza (IC) de la media o esperanza matemática.

$$E(x) - \varepsilon = 7319,4 \text{ km}$$

$$E(x) + \varepsilon = 8528,52 \text{ km}$$

$$7319,4 < 7923,96 < 8528,5$$

Con los resultados obtenidos se plantea la siguiente propuesta para el Sistema Neumático -Cámara A pesar de que el Intervalo de Confianza es $7923,96 \pm 604,56$ Km., se propone revisar el sistema neumático – cámara a los 5,000 Km. de recorrido, ya que la probabilidad de trabajo sin fallo a este kilometraje es del 53,2%.

Propuesta para los restantes rubros críticos:

Los cálculos fueron realizados por el programa profesional de computación STATGRAPHICS, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

.1 - Sistema Eléctrico: El Intervalo de Confianza es $6435,3 \pm 477,2$ Km. por lo que se propone una revisión de dicho sistema a los 5,000 Km.

2 - Sistema Freno: El IC es $9423,59 \pm 2183,17$ Km. por lo que se propone revisarlo a los 10,000 Km. de recorrido.

3 - Soldadura: El IC es $11389,1 \pm 3035,31$ Km. por lo que se propone una revisión a los 10,000 Km.

CONCLUSIONES:

1 - Durante el trabajo se mostró la metodología a seguir para usar La Ley de Pareto en los estudios de fiabilidad, usando el ejemplo práctico en La Empresa CUBALSE, en la cual la determinación de los sistemas y las piezas críticas se realizó a partir del porciento acumulado o sea se partió de un acumulado alrededor del 80% para obtener los rubros que provocan más problemas, esta situación se ha presentado en otros estudios realizados en otras empresas.

2 - Se mostró la metodología para realizar manualmente el experimento fiabilístico con el mismo ejemplo práctico y se debe destacar la importancia del Intervalo de Confianza para decidir la planificación de las acciones de mantenimiento así como destacar que todos estos resultados se pueden realizar rápido y fiablemente a través del programa de computación Statgraphisc

RECOMENDACIONES:

1 -Usar la Ley de Pareto para determinar las fallos críticos en los estudios de fiabilidad de cualquier máquina

2 – Usar para los cálculos de Fiabilidad el programa de computación profesional statgraphics

REFERENCIAS:

1. Bonet Borjas, Carlos Manuel. “**Explotación Técnica y Montaje de los Equipos de Elevación de las cargas**”, Tomo II, Ed. ENPES, La Habana Cuba, 1987.

2. Bonet Borjas, Carlos Manuel. "Fiabilidad de las máquinas automotrices e industriales", Monografía, PREGER, MITRANS, Cuba, 2004.
3. Genaro Mosquera. "Apoyo logístico al mantenimiento industrial"
4. Gestión empresarial. Revista Gestión 200
5. Luna, Higinio. "**Explotación Técnica de Automóviles**", Ed. ENPES, La Habana, 1982.
6. SAEM (Sistema de Análisis Estadístico para el Mantenimiento), CEIM, Facultad de Ingeniería Mecánica, CUJAE
7. Subko, Nicolae. "**Fiabilidad de las Máquinas**", MITRANS, Cuba, 1989.
8. Manual del Statgraphics
9. www.reliability.com