

*5<sup>th</sup> International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management  
XV Congreso de Ingeniería de Organización  
Cartagena, 7 a 9 de Septiembre de 2011*

## **Propuesta de un modelo para la gestión de los neumáticos de una flota de vehículos**

**José Miguel Fernández Gómez<sup>1</sup>, Javier Tafur Segura<sup>1</sup>, Miguel Palacios Fernández<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Dpto. de Ingeniería de Organización, Administración de Empresas y Estadística.  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid. Calle José Gutiérrez Abascal, 2. 28006. Madrid.

**Palabras clave:** Gestión flota de vehículos, mantenimiento, dirección operativa, modelo de gestión flota de neumáticos

### **1. Introducción**

En la gestión de los neumáticos de una flota de vehículos el mejor ratio para ello es el coste del neumático dividido por las Horas o Km. realizados por el neumático, pero existen flotas de vehículos que por sus características de uso no se puede realizar un seguimiento de las horas o Km. que realiza el neumático en su vida útil ya que son vehículos que son utilizados por un gran número de conductores en diferentes turnos al día. Este tipo de flotas suelen operar en entornos urbanos y son: Vehículos destinados a la limpieza viaria, recogida de basuras, mantenimiento de jardines, Policía, Guardia Civil, Bomberos etc. así también en menor medida flotas de empresas, renting de vehículos, alquiler de vehículos etc. por ello se propone un modelo de gestión de neumáticos para una flota de vehículos en los que no se puede hacer un seguimiento de las horas o kilómetros realizados por el neumático en su uso.

### **2. Costes de una flota de vehículos**

Existen dos tipos de costes que tenemos al adquirir y hacer uso de un vehículo: **Costes fijos:** Son aquellos costes en los que se incurren por adquirir el vehículo y son: Amortización del vehículo, intereses por la financiación, seguros y costes fiscales. **Costes variables:** Son aquellos en los que se incurren por la utilización del vehículo y son: Neumáticos, combustible, mantenimiento y reparaciones. Si tenemos en cuenta los costes fijos más los costes variables el coste de los neumáticos ronda alrededor del 5% del coste total del uso y adquisición del vehículo durante su vida útil. Si nos atenemos solo a los costes variables los costes de los neumáticos están en una franja entre el 10-20% de los mismos. Además de poder actuar en el gasto de combustible, donde más se puede hacer para reducir los costes variables es en la gestión de neumáticos, ya que el mantenimiento viene fijado por el fabricante y las averías es un fenómeno aleatorio.

### **3. Objetivos**

El modelo propuesto está compuesto principalmente por dos indicadores:

- Utilización del neumático: Es un ratio que nos mide el uso real de un neumático comparado con el uso teórico del mismo y nos da un valor del aprovechamiento del mismo.
- Coste del neumático por mm: Es un ratio que nos da el valor del coste euro/mm del neumático donde se incluyen todos los costes del neumático durante su vida útil (coste de adquisición, montajes, pinchazos etc.)

Lo ideal sería tener una utilización del neumático lo más cercano al 100% con el menor coste posible, ya que por ejemplo podríamos tener un ratio de utilización del neumático muy alta pero con un coste muy elevado o por el contrario una utilización del neumático muy bajo con un coste muy bajo. Con estos dos ratios podemos saber: Que marcas de neumáticos, perfiles etc. son los mas apropiados a nuestra flota de vehículos, seguir el valor de los 2 ratios y su tendencia, comparar entre marcas de neumáticos, comparar entre marcas de vehículos, rutas etc. que montan determinados neumáticos, etc.

### **4. Factores de la duración de un neumático**

Los factores que afectan a la duración de un neumático son varios: Estructura del neumático, compuesto del neumático, profundidad de rodadura, diseño del neumático etc. pero lo efectos mas significativos son: La tasa de desgaste del neumático varia según la fuerza de fricción que soporta el neumático y aumenta de forma exponencial cuanto mayor es esta fuerza de fricción (Braghin F, et al 2006), por otro lado cuanto menos es la profundidad de rodadura del neumático, la tasa de desgaste y la resistencia al rodamiento disminuyen (Michelin S.A).

### **5. Modelo propuesto**

#### **5.1. Metodología**

Las hipótesis iniciales son:

- Hipótesis H1: La tasa de desgaste es constante independientemente de la profundidad de rodadura del neumático, la presión de fricción no tiene influencia en el desgaste del neumático y se considera que todos los neumáticos son utilizados en las mismas condiciones.

El modelo se aplica en una población cerrada de n neumáticos en los cuales los motivos de retirada pueden ser: 1º Gastado, 2º Dañado, 3º Desinflado-pinchado, 4º Desgaste irregular, 5º Rodaje sin presión, 6º Daños en el costado, 7º Roces en el costado, 8º Diferencia profunda entre gemelas. Cuando un neumático tiene un pinchazo este es reparado y el neumático es vuelto a incorporarse a nuestra flota de neumáticos, en el resto de causas de retirada el neumático no tiene reposición en nuestra flota de vehículos. Cuando se repone un neumático por pinchazo, este es como si se montase un neumático nuevo de menor profundidad de rodadura, ya que se repone en unas condiciones totalmente nuevas (vehículo, conductor, etc.).

- Hipótesis H2: Al reponer un neumático proveniente de un pinchazo existen las mismas probabilidades que se produzcan los motivos de retirada como si se montase nuevo.

El modelo y la notación es la que se muestra en la figura 1:

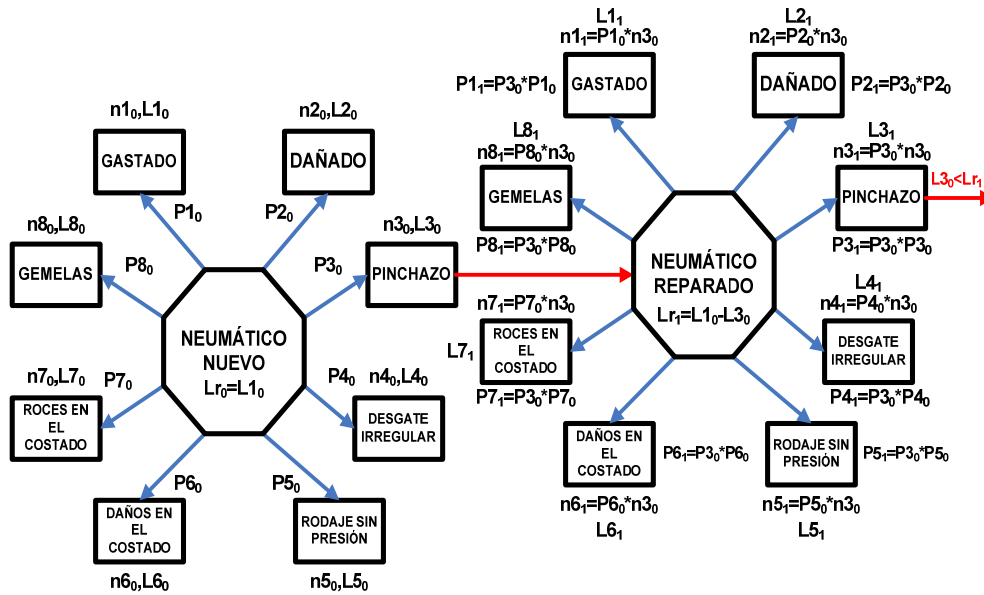


Figura 1. Modelo propuesto.

C=motivo de la retirada del neumático (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,8); p= Pinchazos que tiene un neumático (0, 1,2,...n) Empezando por el numero 0;  $PC_p$ : Probabilidad de retirada de un neumático por la causa C en el pinchazo p;  $NC_p$ : Numero de neumáticos retirados por la causa C en el pinchazo p;  $LC_p$ : Longitud usada de los neumáticos retirados por la causa C en el pinchazo p. Operativa utilizada: Tenemos una muestra de neumáticos n, que se retiran por las diversas causas  $nC_0$  antes comentadas con unas profundidades de uso  $Lc_0$ , con estos datos calculamos  $nC_p$ ,  $PC_p$ ,  $LC_p$  y  $Lr_p$ . Los neumáticos pinchados, reparados y repuestos tienen las mismas probabilidades que causan su retirada  $PC_0$  y su formula genérica a partir de un pinchazo es (1):

$$PC_p = P_{3_{p-1}} * PC_0 \rightarrow p \geq 1 \quad (1)$$

Los neumáticos pinchados, reparados y repuestos tienen las mismas probabilidades que causan su retirada  $PC_0$  y su formula genérica para calcular el número de neumáticos por los diferentes motivos de retirada a partir de un pinchazo es (2):

$$nc_p = n_{3_{p-1}} * PC_o \rightarrow p \geq 1 \quad (2)$$

La formula genérica del uso de la profundidad de uso de los neumáticos pinchados, reparados y repuestos a partir de un pinchazo es (3):

$$Lr_p = Lr_{p-1} - L_{3_{p-1}} \rightarrow p \geq 1 \quad (3)$$

Profundidad de uso de los neumáticos pinchados, reparados y repuestos: En el ejemplo de la figura 1, tenemos unas longitudes de uso de los neumáticos  $L1_0$ ,  $L2_0$ ,  $L3_0$ , etc. al sufrir el

neumático un pinchazo y reponerlo este neumático es como si fuera uno nuevo con una profundidad de rodadura de  $L_{r1}$  y este neumático repuesto tiene las mismas probabilidades de retirada  $P1_0, P2_0, P3_0, \text{etc.}$ , pero la profundidad de uso de este neumático reparado depende de  $L_{r1}$  y  $L1_0, L2_0, L3_0, \text{etc.}$  tal como mostramos a continuación. Si  $L_{r1} < LC_0$  el motivo de retirada del neumático será desgaste y la profundidad usada de este neumático reparado será  $L_{r1}$ . Si  $L_{r1} > LC_0$  el motivo de retirada del neumático será el correspondiente a C y la profundidad usada de este neumático reparado será  $LC_0$ . Si  $L_{rp} < LC_0$  el motivo de retirada del neumático será desgaste y la profundidad usada de este neumático reparado será  $L_{rp}$ . Si  $L_{rp} > LC_0$  el motivo de retirada del neumático será el correspondiente a C y la profundidad usada de este neumático reparado será  $LC_0$ .

## 5.2. Utilización del neumático

Cuando se repara y se repone un neumático que ha sufrido un pinchazo este neumático se considera que tiene las mismas probabilidades de retirada como si fuese nuevo  $Pc_0$ , y así sucesivamente como muestra la figura 1. Por lo tanto para calcular el porcentaje de uso de los neumáticos se emplea la formula 2, en el denominador tenemos la profundidad del neumático nuevo por el número de neumáticos montados y en el numerador los milímetros totales usados (4):

$$\% \text{ uso} = \frac{n1_0 * L1_0 + n2_0 * L2_0 + n3_0 * L3_0 + \dots + nc_p * Lc_p}{n * L1_0} \quad (4)$$

$L1_0$ =La profundidad del neumático nuevo en mm;  $Lc_p$ = La profundidad del neumático utilizada cuando se retira este por cualquier motivo en mm; n: Numero de neumáticos nuevos montados; c: Causa de la retirada (1,2,3,4,5,6,7,8); p= Pinchazos sufrido en el neumático;  $nc_p$ : Numero neumáticos que se han usado en cada motivo de retirada;  $Lm$ = Profundidad media del neumático utilizada. Como  $nc_p = Pc_p * n$ , que es la probabilidad multiplicada por el número de neumáticos n, sustituyendo en (4), se obtiene (5):

$$\% \text{ uso} = \frac{p1_0 * L1_0 + p2_0 * L2_0 + \dots + pc_p * Lc_p}{L1_0} \quad (5)$$

Por lo que la expresión final es la que se muestra en (6):

$$\% \text{ uso} = \frac{\sum_{p=0}^p = n \sum_{c=1}^c = 8 pc_p * Lc_p}{L1_0} = \frac{L_m}{L1_0} \quad (6)$$

En el cálculo, la longitud  $L_{10}$  se considera la longitud total entera del neumático para eliminar las variaciones de la profundidad que le resta al neumático en el momento de su retirada ya que esta puede variar (por ley 1,6mm).

### 5.3. Coste del neumático por mm

La expresión empleada para el cálculo del coste del neumático por mm, teniendo en cuenta que un neumático pinchado se repara cuantas veces sea necesario hasta su uso final, como si fuese un neumático nuevo con un sobrecoste que es la reparación del pinchazo es la mostrada en (7), en el denominador tenemos los milímetros totales usados y en el numerador tenemos el coste total del uso de los neumáticos.

$$C = \frac{n * C_n + C_p * \sum_{p=0}^{p=n} n 3_p + (C_i * \sum_{p=0}^{p=n} \sum_{c=2}^{c=8} nc_p \rightarrow Lc_p < Lr_p)}{n * L_m} \quad (7)$$

n=Numero de neumáticos totales; n<sub>p</sub>=Numero de pinchazos totales; C<sub>n</sub>=Coste del neumático +montaje +nfu +varios...; C<sub>p</sub>=Coste de reparar un pinchazo; p=Pinchazos que tiene el neumático; C<sub>i</sub>= Coste de la incidencia: Coste de no poder realizar el servicio, coste de no tener disponible el vehículo, coste del servicio móvil, coste de la grúa etc. Como C<sub>i</sub> es un parámetro difícil de estimar (7) quedaría simplificada a (8):

$$C = K_1 + K_2 * C_i \quad (8)$$

Donde (9), (10):

$$K_1 = \frac{C_n + C_p \sum_{p=0}^{p=n} P 3_p \rightarrow L 3_p < Lr_p}{L_m} \quad (9)$$

$$K_2 = \frac{C_i * n * (\sum_{p=0}^{p=n} \sum_{c=2}^{c=8} Pc_p \rightarrow Lc_p < Lr_p)}{n * L_m} = \frac{\sum_{p=0}^{p=n} \sum_{c=2}^{c=8} Pc_p \rightarrow Lc_p < Lr_p}{L_m} * C_i \quad (10)$$

Con K1 y K2 tenemos los índices del coste del neumático que nos sirve para saber los costes por mm del neumático, con estos índices podemos saber los objetivos marcados en el punto 3.

## 6. Conclusiones

Se presenta un modelo para la gestión de los neumáticos de flotas de vehículos en los que no es posible hacer un seguimiento para saber el coste de los mismos en horas o Km realizados. Con este modelo obtenemos unos ratios que nos sirven de referencia para saber el coste de los neumáticos por mm y el grado de utilización de los mismos. El presente modelo debería ser usado junto a la técnica matemática de tablas de contingencia atendiendo al motivo de retirada del mismo para comparar si hay significación entre los neumáticos entre rutas, vehículos, marcas etc. Una vez aplicado el modelo y la técnica matemática de tablas de contingencia se tendrá la información necesaria para tomar las decisiones que correspondan para optimizar la flota de neumáticos.

## **Referencias**

Braghin F, Cheli F, Melzi S, Resta F (2006). Tyre wear model: Validation and sensitivity analysis. *Meccanica*. No. 41, Pp. 143-156.