

# Principales aspectos sobre la metódica para la planificación de piezas de repuesto de las máquinas cosechadoras

**M. N. Navarro Ojeda.**

Facultad de Ingeniería, Universidad de Holguín.  
Ave. XX Aniversario, Holguín 80100. Cuba.  
E-Mail mnavarro@uho.hlg.edu.cu Telef. 462107

(Recibido el 20 de marzo de 1999, aceptado el 12 de enero del 2000)

## Resumen

La planificación de las piezas de repuesto de las máquinas cosechadoras constituye un elemento de vital importancia para la buena marcha de la zafra, elemento éste que aún presenta problemas de base. Basta decir, que de forma histórica, por ejemplo, en la Industria Azucarera, el cálculo de las piezas de repuesto de las principales máquinas y equipos agrícolas se ha hecho según datos de la experiencia; pero muchas veces estos cálculos no satisfacen el real comportamiento de los consumos durante las reparaciones operativas y profilácticas que deben llevarse a cabo. En repetidas ocasiones ocurren faltantes o por el contrario sobrantes en diferentes renglones. Se describen los diferentes pasos de una metódica de cálculo que sienta sus bases en un modelo sobre desgaste y renovación de Ihle-Rößner. Su adecuación práctica permitiría resultados muy favorables a la hora de ejecutar los ciclos de mantenimiento y reparación de las máquinas cosechadoras.

**Palabras claves:** Piezas de repuesto, planificación, mantenimiento, cosechadoras de caña.

## 1. Introducción

"Metódica para la planificación de piezas de repuesto de las máquinas cosechadoras de caña de azúcar", surge como el producto de un largo estudio de los consumos y necesidades de piezas de repuesto de las máquinas combinadas cañeras KTP en Cuba. Este aspecto ha constituido siempre un problema a la hora de calcular los repuestos necesarios para las diferentes campañas azucareras, ya que no se ha contado con un método científicamente fundamentado, sino teniendo como principal información los consumos históricos.

Un grupo de investigación de la Universidad de Holguín ha llevado a cabo un interesante estudio en la determinación de los índices de consumo de las piezas de repuesto de las máquinas combinadas cañeras KTP, durante los períodos de explotación y reparación profiláctica. Estos trabajos vienen desarrollándose desde 1980 y permiten conocer los consumos de piezas de repuesto en los diferentes sistemas que componen esta máquina [6], [8], [9]. Si bien estos resultados poseen un determinado interés práctico, no constituyen una vía rigurosamente fundamentada a utilizar en la planificación de los repuestos necesarios de las máquinas combinadas, pero si se traducen como valiosa

información para el trabajo de los expertos en la determinación de los índices de fiabilidad, soporte básico de la presente metodología de cálculo.

## 2. Agrupación de las piezas en clases

Las máquinas cosechadoras actuales, por su complejidad, poseen cientos de piezas diferentes. La necesidad de este primer paso es indiscutible, ya que de lo contrario se haría demasiado tedioso el cálculo de las piezas de repuesto necesarias de cada uno de los elementos que componen la máquina. Además de voluminoso, no se hace necesario tal grado de "supuesta precisión".

Ihle-Rößner [3], [4], [11] agrupan las piezas atendiendo a los siguientes indicadores: probabilidad de sobrevida, coeficiente de variación y límite de explotación relativo.

### Determinación de la probabilidad de sobrevida ( $\Gamma$ ).

Rößner [11] establece la división o agrupación de las piezas en cuatro clases fundamentales, ver tabla 1.

**Tabla 1.** Clases de piezas en dependencia de la probabilidad de sobrevida ( $\Gamma$ ) y vida útil proyectada.

PROBABILIDAD DE SOBREVIDA ( $\Gamma$ )			
Clases	Sin exigencias especiales	Altas pérdidas. Trabajo de alto riesgo al fallo, avería	Intervalo de referencia
Piezas durables (DT)	$\geq 0.90$	$\geq 0.95$	Vida útil proyectada del artículo (pieza, agregado)
Piezas de desgaste I (AT I)	$\geq 0.90$	$\geq 0.95$	$\frac{1}{2}$ ó $\frac{1}{4}$ de la vida útil proyectada
Piezas de desgaste II (AT II)	$\geq 0.90$	$\geq 0.95$	Funcionamiento (límite de servicio) anual proyectado
Piezas de rápido desgaste (SVT)	$\geq 0.5$ o de ser posible $\geq 0.7$	No permisible	Funcionamiento (límite de servicio) anual proyectado

**Determinación del coeficiente de variación del límite de vida útil del elemento (VA).**

Ihle y Rößner [4], [11], proponen una serie de

valores de orientación para el coeficiente de variación de la vida útil o servicio de las piezas (VA); los cuales se muestran en la tabla 2.

**Tabla 2.** Valores de orientación del coeficiente de variación de la vida útil efectiva (VA)

FACTORES ACTUANTES	VA (Valores de Orientación).	FALLO PREPONDERANTE
Desgaste	0.4	Dependiente de la carga.
Desgaste, fallos casuales, fatiga.	0.7	Dependiente de las cargas y fallos casuales
Corrosión, envejecimiento.	0.7	Dependiente del tiempo.
Fallos casuales	1.0	Dependiente de fallos casuales

**Fijación del límite de explotación relativo (hB).**

Los valores de VA fluctúan entre 0 y 1, produciéndose una elevación en los índices de consumo a medida que tienden a cero; mayor consumo de piezas implica mayores gastos. Esto lógicamente está en dependencia del papel que juega la pieza dentro de un

mecanismo o parte de la máquina y de las exigencias de fiabilidad de esta pieza.

Hile [3], siguiendo el principio de máxima eficacia en la utilización del material (repuestos) propone para hB los siguientes valores óptimos, tabla 3.

**Tabla 3.** Índices relativos de explotación óptimos de las piezas, según tipo de reparación.

PIEZAS DE DESGASTE I y II				
VA	$\Gamma$	FALLO (hB)	VERIFICACION (hB)	CICLO CERRADO (hB)
0.4	0.90	1.0	0.6	0.0
	0.95	1.0	0.7	0.0
0.7	0.90	1.0	0.8	0.0
	0.95	1.0	0.8	0.0
1.0	0.90	1.0	1.0	0.0
	0.95	1.0	1.0	0.0

Para todas las  $\Gamma$  y VA utilizadas: hB=0

**Formación de las clases, atendiendo a los parámetros de Fiabilidad.**

Para la agrupación de las piezas en clases Ihle [3] desarrolla una metódica que permite la creación de un banco de piezas apoyado en las anteriores características o parámetros de fiabilidad ( $\Gamma$ , VA y

hB). Sobre estas bases, Leyva [5] crea un código de tres cifras, según los citados parámetros. El código brinda una mayor información incorporándole un cuarto elemento: el tipo de pieza [7], lo cual se muestra en la tabla 4.

**Tabla 4.** Códigos del coeficiente de variación (VA), probabilidad de sobrevida ( $\Gamma$ ), índice relativo de explotación (hB) y tipo de pieza .

VA	DENOM
0.4	100
0.7	200
1.0	300

$\Gamma$	DENOM
0.995	0
0.99	10
0.98	20
0.95	30
0.90	40
0.85	50
0.80	60
0.70	70
0.60	80
0.50	90

HB	DENOM
0	0
0.2	1
0.3	2
0.4	3
0.5	4
0.6	5
0.7	6
0.8	7
0.9	8
1.0	9

TIPO DE PIEZA	DENOM
DT	0,1
ATI	0,2
ATII	0,3
SVT	0,4

Es comprensible que para la clasificación o agrupación de las diferentes piezas según este código de cuatro cifras, se hace necesario un análisis de expertos. En base a estos parámetros de orientación Zaldivar [12] llevó a cabo un interesante estudio en la determinación de estos indicadores referido al sistema hidráulico de la KTP-2.

### 3. Cálculo de los índices de consumo para cada clase

Los índices de consumo de piezas de repuesto para las etapas de explotación y reparación profiláctica, se calculan siguiendo el modelo matemático según la distribución de Weibull; que es precisamente el modelo que más se aviene al comportamiento de desgaste de los diferentes grupos de piezas que forman la máquina cosechadora KTP-2. En base a este modelo se crea el programa de cálculo INHÁUF [4].

### 4. Determinación de las existencias de almacenamiento por niveles: B

Se puede llegar a establecer una relación entre la variable B (existencias de almacenamiento por Niveles), que representa el parámetro objeto de evaluación y la Distribución Binomial a través de la siguiente ecuación:

$$\sum_{j=0}^k \binom{ML}{j} * p1^j * (1-p1)^{ML-j} = P(ML, k, p1) \quad (1)$$

El término P ( ML, k, p1) representa la probabilidad, que de un número ML de elementos, correspondientes a una determinada posición o clase, k elementos fallan, considerando que las probabilidades de fallos estarían

dadas por p1. Se puede hacer corresponder la variable p1 (probabilidad de fallos) a los índices de consumo relativos de explotación o profilácticos: VKZ<sub>r</sub>. Entonces la expresión (1) puede tomar la siguiente forma:

$$\sum_{j=0}^B \binom{ML}{j} * (VKZ_r)^j * (1-VKZ_r)^{ML-j} = SL \quad (2)$$

$$VKZ_r < 1, \quad VKZ_r = \frac{V}{N * WM} = \frac{V}{ML} \quad (3)$$

B: Existencias (necesidades) de almacenamiento

VKZr: Índice de consumo relativo

ML: Número de elementos para una determinada posición (pieza) o clase de un determinado nivel de almacenamiento. Esta variable, tal y como se puede observar a través de la expresión (3), está en función del número de máquinas por niveles (N) y el factor de repetición de esa pieza en la máquina (WM).

V: Consumos de piezas que se producen durante las reparaciones.

SL: Seguridad de aprovisionamiento en un almacén de piezas de repuesto. (La misma debe ir en aumento según se pasa del tercer al primer nivel). Según Ihle estos valores son diferentes para cada nivel de almacenamiento y establece los siguientes valores:

- 1er Nivel (Nacional) (0,98 - 0,999): Fábrica o Empresa productora del artículo (pe: Fábrica de Combinadas Cañeras KTP).
- 2do Nivel (Provincial) (0,95 - 0,98): Empresas u Organismos que explotan los equipos. (pe: Conjunto de los Complejos Agroindustriales (CAI) de la Provincia Holguín).
- 3er Nivel (0,90): Unidad donde son destinados los equipos para la Explotación (pe: CAI "U.Noris")

## 5. Cálculo de las existencias de seguridad por niveles de almacenamiento (SB)

Las existencias de seguridad de almacenamiento SB resultan de la diferencia que se establece entre las existencias de almacenamiento B, y las existencias de aprovisionamiento normales BN. BN es una función del número de elementos para una determinada pieza o clase (MN) y el índice de consumo relativo (VKZr). Estas relaciones se establecen como sigue:

$$SB1 = B1(SL=0,999;ML1) - B1(SL=0,98;ML1)$$

$$SB2 = B2(SL=0,98;ML2) - B2(SL=0,9;ML2)$$

$$SB3 = B3(SL=0,9;ML3) - ML3 * VKZr$$

Donde SB1, SB2 y SB3 representan el 1er, 2do y 3er nivel respectivamente.

## 6. Cálculo de la cantidad de piezas de repuesto que deben ser producidas para un determinado periodo de explotación

$$BET = F[B(1,2,3)op, B(1,2,3)vo; SB(1,2,3)]$$

BET: Número total de piezas de repuesto que deben ser producidas.

B(1,2,3)op,vo: Existencias de piezas de repuesto para los tres niveles de almacenamiento, correspondientes a las reparaciones operativas (op) y profilácticas (vo)

SB (1,2,3): Existencias de Seguridad de almacenamiento por niveles.

El cálculo se hace para cada clase, representando la misma un determinado grupo de piezas, con características de fiabilidad análogas. Así el cálculo se efectúa para 1,2,3... N campañas de explotación.

De la fórmula anterior resulta que la cantidad de piezas de repuesto totales: piezas de repuesto de las reparaciones operativas y profilácticas, en cada Complejo Agroindustrial, sumadas a las existencias de seguridad que deben existir en el primer y segundo nivel, se calculan a través de las siguientes relaciones:

$$BET = B_{CAI} + SB1 + SB2$$

$$B_{CAI} = \sum_{j=1}^{EK} CAI_j$$

B CAI: Número de piezas de repuesto totales correspondiente a la suma de todos los CAI.

SB1, SB2: Existencias de seguridad de almacenamiento correspondientes al primer y segundo nivel.

j=1,.....,EK. Número de campañas.

## 7. Conclusiones

Tal y como se apuntó inicialmente, esta metódica, para el cálculo de las piezas de repuesto que deben ser fabricadas y/o utilizadas en las reparaciones operativas y profilácticas, para N campañas o períodos de explotación de máquinas cosechadoras, se basa en la evaluación de determinados parámetros de fiabilidad: La probabilidad de sobrevivencia (T), el coeficiente de variación del límite de vida útil del elemento (VA) y el límite relativo de explotación (hB).

Como aspectos importantes de la metódica, no puede olvidarse el primer paso referido a la necesaria agrupación de las piezas en clases: con características de fiabilidad análogas, lo que simplifica sustancialmente el cálculo; después, como segundo aspecto, codificar cada clase: atendiendo a los anteriores parámetros de fiabilidad y tipos de piezas. Para la codificación de las clases o posición de determinada pieza siempre será necesaria la consulta del grupo de expertos, ya que como se puntualiza, la misma se hace atendiendo a valores de orientación de los parámetros de fiabilidad y de los tipos de piezas. La codificación de las clases permite la caracterización de las mismas, su rápida identificación con el número designado, así como su gran operatividad dentro del banco de datos y su procesamiento. La determinación de B, SB y BET, es decir, de la cantidad de repuestos necesarios para las diferentes campañas se puede llevar a efecto con el programa de cálculo ETP, versión 2.0

Resulta de gran utilidad tener agrupados en fichero aparte las piezas que por sus altos consumos y/o alto precio se pueden catalogar como críticas en la máquina.

## 8. Bibliografía

1. Eichler Ch. Instandhaltungstechnik (Técnica de Mantenimiento). VEB Verlag Technik. Berlin. 1977.
2. Ihle G.y Rößner K. Richtlinien für die Prognose der Instandsetzungshäufigkeit von Einzelteilen und Baugruppen, der Verbrauchskennzahlen von Ersatzteilen und der Instandsetzungskosten auf der Basis von Musterproben Landtechnischen Arbeitsmittel. Richtlinien. (Normas para el pronóstico de las frecuencias de reparación de piezas y subconjuntos, índices de consumo de piezas de repuesto y de los costos de reparación

- sobre la base de ensayos a muestras patrones de equipos de la agricultura. Normas). 1978. T.U Dresden.
3. Ihle G. Methodik zur Präzisierung einer Datenbank für die Zuverlässigkeitseigenschaften von Einzelteilen einer Landmaschinen. (Metódica para la precisión de un banco de pruebas sobre las características de fiabilidad de las piezas de repuesto de una máquina agrícola). T.U. Dresden. 1987.
  4. Ihle G., Rößner K., Teuchert G. Methodik für die Prognose der Verbrauchskennzahlen und der Instandhaltungskosten (Metódica para el pronóstico de los índices de consumo y los costos de reparación). 1981. TU. Dresden.
  5. Leyva M. Beitrag zu einer Methodik für die Vorhersage der Instandsetzungskosten von Landmaschinen in Abhängigkeit von der Zuverlässigkeit der Einzelteile, dargestellt am Beispiel der Zuckerrohrerntemaschine KTP-1. (Propuesta de una metódica para la predicción de los costos de reparación de máquinas agrícolas en dependencia de la fiabilidad de las piezas de repuesto. Se presenta el ejemplo de la máquina cosechadora de caña de azúcar KTP-1). Dissertation A. 1988. TU. Dresden.
  6. Navarro, M y Colectivo de Autores. Determinación de los índices de consumo de piezas de repuesto en los períodos de reparación y explotación en Complejos Agroindustriales de las provincias de Holguín y Las Tunas: CAI "U. Noris", "C. Naranja", "Maceo", A. Guiteras", "J. Menéndez", "A. Libre", "Fernando de Dios". Holguin.1988.
  7. Navarro M. Methodik zur Planung und Vorhersage des Materialaufwandes für die Instandsetzung von Zuckerrohrerntemaschinen. (Metódica para la planificación y predicción de los gastos materiales para las reparaciones de las máquinas cosechadoras de caña de azúcar.) Dissertation A, 1989. T.U. Dresden. R.D.A.
  8. Navarro M. y Zaldivar M. Estudio preliminar para la elaboración de una proposición con vista a la disminución del módulo de piezas de repuesto de las máquinas combinadas KTP-1. Boletín Inf. del Centro Multisectorial de ICT de la ACC. 1983 Holguín.
  9. Navarro M.y Zaldivar M. Indices de consumo de piezas de repuesto de la Cosechadora KTP-1. (I y II parte) Rev. Construcción de Maquinaria No. 2 y 3. 1986.
  10. Petersohn M. Beitrag zur Ersatzteilplanung für landtechnische Arbeitsmittel unter besonderer Berücksichtigung ihrer Entwicklungsphase und des Serienlaufes. (Propuesta de planificación de piezas de repuesto de equipos de la agricultura bajo consideraciones especiales de su desarrollo y producción seriada). Dissertation A. 1976, TU. Dresden.
  11. Rössner K. Grundlagen zur Projektierung der Instandhaltungslandtechnischer Arbeitsmittel im konstruktiven Entwicklungsprozess. (Bases para la proyección del mantenimiento de equipos de la agricultura, durante el proceso de desarrollo). Dissertation B. 1985. T.U. Dresden.
  12. Zaldivar M. El Diagnóstico técnico como método de valoración de la fiabilidad de las máquinas cosechadoras de caña KTP. Trabajo de defensa de doctorado, manuscrito. 1999. Universidad de Holguín..

## Main aspects on the methodical of planning spare parts for combined harvester.

### Abstract

The planning of spare parts for sugar cane croppers constitutes an element of vital importance for the good performance of the sugar-cane crop. Such element still presents problems on its base.. For example, in the sugar cane industry, the calculation of spare parts of the main machines and agricultural equipments has been made according to experience data. However, many times these calculation do not satisfy the real behaviour of the supplies during operative and profilactic replacements. A very frequent fact is the lack or overplus of this spares parts in different line branches. In this work, the different steps of a calculation methodic based in a wear and renovation Ihle-Rößner model are described. Its practical fitting will allow very favorable results for the maintenance and repair cycles of the combined harvesters.

**Key words:** Spareparts, replacement planning, maintenance, sugar cane croppers.