

## Diseño de un calibre cónico anular para la defectación de superficies cónicas de piñones en cajas de velocidades.

### Autores

Lic. Iván Cruz Delgado, [noeliabg@isdi.co.cu](mailto:noeliabg@isdi.co.cu)  
Escuela Interarmas de las FAR General Antonio Maceo, Cuba

Dr.C. Noelia Barrueta Gómez, [noeliabg@isdi.co.cu](mailto:noeliabg@isdi.co.cu)  
Instituto Superior de Diseño (ISDi), Cuba

Dr.C. René Collazo Carceller, [collazo@mecanica.cujae.edu.cu](mailto:collazo@mecanica.cujae.edu.cu)  
Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE), Cuba

### RESUMEN

Se realiza un estudio de los parámetros estructurales establecidos en la carta de las condiciones técnicas para la defectación y reparación de las piezas en equipos pesados con esteras a partir de una muestra de piñones del árbol principal de la caja de velocidades considerados de desecho. Se efectúa el cálculo previo de las dimensiones del calibre a partir de las dimensiones de la pieza a controlar. Se determinan las dimensiones límites de la pieza a controlar y los parámetros geométricos de diseño para la manufactura del calibre cónico anular a partir de los indicadores establecidos en la NC 16-04. Se elabora el documento de proyecto básico (Plano de Pieza) del calibre. Se muestra el modelo computacional en 3D obtenido a partir del cálculo de los parámetros geométricos, la simulación de su principio de funcionamiento y la presentación del calibre manufacturado.

### INTRODUCCIÓN

Durante las reparaciones generales los carros incluyendo sus agregados, grupos, conjuntos y piezas se someten a diferentes pruebas con el fin de comprobar su estado técnico general. Esta condición se determina a través de la diagnosis técnica, lo cual brinda la posibilidad de un ahorro significativo de recursos al certificar que algunos de estos elementos cuentan con la posibilidad de continuar su explotación o ser reintegrados a esta mediante procesos de reparación o reacondicionamiento. Una de las etapas fundamentales de todo proceso de reparación es la defectación.

Específicamente durante la defectación de las cajas de cambio de velocidades de los tanques, está establecido en la carta de las condiciones técnicas para la defectación y la reparación de las piezas, verificar para los piñones del árbol de salida la variación dimensional de sus superficies de trabajo. Ver figura 1.



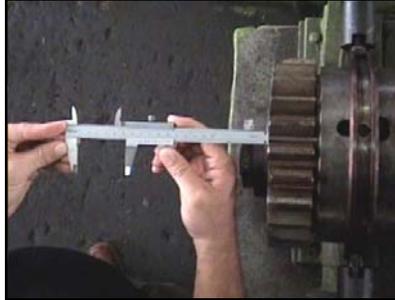
**Figura 1. Piñón conducido de V etapa**

Donde:

(SBP) -superficie de basificación principal (superficie cilíndrica interior)

- (SE-1) -superficie ejecutora № 1 (dentado exterior)
- (SE-2) -superficie ejecutora № 2 (dentado interior)
- (SE-3) -superficie ejecutora № 3 (superficie cónica exterior)

Sin embargo en el taller de reparación de agregados de la empresa “Emilio Bárcenas Pier” en la actualidad, solamente es comprobado mediante instrumentos la holgura máxima permisible entre las superficies cónicas de piñones y los conos interiores de sincronizadores. A través del control del desplazamiento axial de los conos de sincronizadores a partir de la posición neutral hasta el momento del cambio de velocidades. Ver figura 2.



**Figura 2. Método de control de la holgura máxima**

El control de este parámetro estructural de montaje y reglaje garantiza el normal funcionamiento de este mecanismo, pero su establecimiento depende de la magnitud (espesor) de un tercer elemento (arandelas de regulación). Por ello los ingenieros en mantenimiento recomiendan primeramente defectar cada una de las piezas del par tribológico por separado según se establece en los documentos normativos de reparación. Con el fin de determinar si cada pieza mantiene dentro del rango permisible sus parámetros estructurales.

Según estudios realizados [1] ha quedado demostrado la imposibilidad de verificar uno de los parámetros estructurales establecidos durante la defectación de los piñones mediante medición directa (diámetro menor del cono), por no contar en el país con el instrumento adecuado. Problemática que ha dado lugar al propósito principal de la presente investigación:

Diseñar un calibre cónico anular para la defectación de superficies cónicas de piñones en equipos pesados con esteras, a partir de los requisitos establecidos en la carta de las condiciones técnicas de reparación.

La investigación consistió en el análisis de la geometría de superficies cónicas de piñones que acoplan con los conos interiores de sincronizadores durante su funcionamiento. A partir del cual se desarrolló la siguiente metodología de cálculo para el diseño del calibre cónico anular, según los criterios expuestos en [2], [3], [4], [5] [6], [7], [8], [9]. Se empleó en la elaboración de los documentos de proyecto del calibre el software INVENTOR 9.

### DESARROLLO

#### **Cálculos preliminares del calibre cónico anular para la defectación de la superficie cónica del piñón conducido de la 5<sup>ta</sup> etapa.**

Cálculo de las dimensiones máximas y mínimas del diámetro menor del cono del piñón.

Datos del cono

$$d_{nom} = 190_{-0.50}^{-0.35} mm$$

$$d_{m\acute{a}x} = d + es \quad (1)$$

Donde:

$d_{m\acute{a}x}$  -dimensi3n m\acute{a}xima del di\`ametro menor del cono del pi\`on, (mm).

$d$  -di\`ametro nominal (menor) del cono del pi\`on, (mm).

$es$  -desviaci3n superior, (mm).

$$d_{m\acute{a}x} = 190 + (-0.35)$$

$$d_{m\acute{a}x} = 189.650mm$$

$$d_{m\acute{i}n} = d + ei \quad (2)$$

Donde:

$d_{m\acute{i}n}$  -dimensi3n m\acute{i}nima del di\`ametro menor del cono del pi\`on, (mm).

$d$  -di\`ametro nominal (menor) del cono del pi\`on, (mm).

$ei$  -desviaci3n inferior, (mm).

$$d_{m\acute{i}n} = 190 + (-0.50)$$

$$d_{m\acute{i}n} = 189.500mm$$

### C\`alculo del di\`ametro mayor del cono del calibre ( $d_1$ )

Datos del cono mayor  
(C1)

$$d_p = 189.650mm$$

$$l_1 = 18_{-0.5} mm$$

$$\alpha = 7^{\circ}30'$$

$$d_1 = ?$$

$$\tan \alpha = \frac{d_1 - d_p}{2l_1} \quad (3)$$

Donde:

$\tan \alpha$  -tangente de  $\frac{1}{2}$  \`angulo del cono del calibre, (grados).

$d_1$  -di\`ametro mayor del cono del calibre, (mm).

$d_p$  -di\`ametro pasa del calibre, (mm).

$l_1$  -longitud del cono mayor del calibre, (mm).

Despejando  $d_1$  en (3)

$$d_1 = (\tan \alpha \cdot 2l_1) + d_p \quad (4)$$

$$d_1 = (0.13165 \cdot 2 \cdot 18) + 189.650$$

$$d_1 = 194.389 \text{ mm}$$

**Cálculo de la longitud del cono menor del calibre ( $l_2$ ).**

Datos del cono menor

(C2)

$$d_{NP} = 189.2 \text{ mm}$$

$$d_p = 189.650 \text{ mm}$$

$$\alpha = 7^\circ 30'$$

$$l_2 = ?$$

$$\tan \alpha = \frac{d_p - d_{NP}}{2l_2} \quad (5)$$

Donde:

$\tan \alpha$  -tangente de  $\frac{1}{2}$  ángulo del cono del calibre, (grados).

$d_p$  -diámetro mayor del cono menor del calibre, (mm).

$d_{NP}$  -diámetro menor del cono menor del calibre, (mm).

$l_2$  -longitud del cono menor del calibre, (mm).

Despejando  $l_2$  en (5)

$$l_2 = \frac{d_p - d_{NP}}{2 \tan \alpha} \quad (6)$$

$$l_2 = \frac{189.650 - 189.2}{2 \tan 7^\circ 30'}$$

$$l_2 = 1.709 \text{ mm}$$

**Cálculo de las dimensiones de fabricación del calibre.**

**Selección de las tolerancias y desviaciones límites del calibre.**

Valores de las tolerancias y desviaciones límites según [5].

$d = 180 \div 250 \text{ mm}$  con

IT11

$$z_1 = 40 \mu\text{m}$$

$$Y_1 = 0 \mu\text{m}$$

$$\alpha_1 = 10 \mu\text{m}$$

$$H_1 = 14 \mu\text{m}$$

Donde:

- d -rango de la dimensión del diámetro menor del cono, (mm).
- $z_1$  -desviación de la mediana del campo de tolerancia para la elaboración del calibre pasante para ejes con respecto a la dimensión límite superior de la pieza, ( $\mu\text{m}$ ).
- $Y_1$  -salida permisible de la dimensión del desgaste del calibre pasante para ejes fuera de los límites del campo de tolerancias de la pieza, ( $\mu\text{m}$ ).
- $\alpha_1$  -magnitud de compensación de los errores de verificación con calibres para ejes con dimensiones superiores a 180 mm, ( $\mu\text{m}$ ).
- $H_1$  Tolerancia para la elaboración de calibres para ejes, ( $\mu\text{m}$ )

Para la selección de estos indicadores de la precisión (de medidas lineales) del calibre se tuvo en cuenta lo establecido en [5] [6], [7], [8].

### Cálculo del lado pasa del calibre

$$P = (d_{m\acute{a}x} - z_1) \pm 0.5 \cdot H_1 \tag{7}$$

$$P = (189.650 - 0.040) \pm 0.5 \cdot 0.014$$

$$P = 189.610 \pm 0.007 \text{mm}$$

### Cálculo del lado no pasa al medir diámetros mayores de 180 mm.

$$NP = (d_{m\grave{i}n} \pm \alpha_1) \pm 0.5 \cdot H_1 \tag{8}$$

$$NP = (189.2 + 0.010) \pm 0.5 \cdot 0.014 \tag{8.1}$$

$$NP = 189.210 \pm 0.007 \text{mm} > 189.2 \text{ mm} \text{ (dimensión límite admisible)}$$

$$NP = (189.2 - 0.010) \pm 0.5 \cdot 0.014 \tag{8.2}$$

$$NP = 189.190 \pm 0.007 \text{mm} < 189.2 \text{ mm} \text{ (dimensión límite admisible)}$$

Por lo tanto el valor del lado no pasa será  $NP = 189.210 \pm 0.007 \text{mm}$

### Cálculo del límite de desgaste del lado pasa usado.

$$PU = d_{m\acute{a}x} + Y_1 - \alpha_1 \tag{9}$$

$$PU = 189.650 + 0 - 0.010$$

$$PU = 189.640 \text{ mm}$$

### Corrección del diámetro $d_1$ del cono mayor del calibre

Datos del cono mayor  
(C1)

$$d_p = 189.610 \pm 0.007 \text{ mm}$$

$$l_1 = 18_{-0.5} \text{ mm}$$

$$\alpha = 7^\circ 30'$$

$$d_1 = ?$$

$$\tan \alpha = \frac{d_1 - d_p}{2l_1} \quad (3)$$

Despejando  $d_1$  en (3)

$$d_1 = (\tan \alpha \cdot 2l_1) + d_p \quad (4)$$

$$d_1 = (0.13165 \cdot 2 \cdot 18) + 189.610 \pm 0.007$$

$$d_1 = 194.349 \pm 0.007 \text{ mm}$$

### Corrección de la longitud $l_2$ del cono menor del calibre.

Datos del cono menor  
(C2)

$$d_{NP} = 189.210 \pm 0.007 \text{ mm}$$

$$d_p = 189.610 \pm 0.007 \text{ mm}$$

$$\alpha = 7^\circ 30'$$

$$l_2 = ?$$

$$\tan \alpha = \frac{d_p - d_{NP}}{2l_2} \quad (5)$$

Despejando  $l_2$  en (5)

$$l_2 = \frac{d_p - d_{NP}}{2 \tan \alpha} \quad (6)$$

$$l_2 = \frac{189.610 - 189.210}{2 \tan 7^\circ 30'}$$

$$l_2 = 1.519 \pm 0.007 \text{ mm}$$

### Selección del material de fabricación y su dureza

Los aceros cementables son catalogados como los aceros más adecuados para elaborar calibres de todo tipo, ya que las deformaciones que se originan después de la cementación y del temple son mínimas. El núcleo no endurecido del acero permite la corrección de las partes deformadas. [2]

El acero que menos cambios manifiesta en sus medidas durante el proceso de tratamiento térmico, es el acero aleado al cromo-manganeso-titanio. [2]

Las superficies de los calibres destinados a comprobar objetos templados deben tener una dureza de hasta HRc 56 ÷ 64. [2]

Atendiendo a las recomendaciones anteriores se seleccionó para la fabricación del calibre un acero aleado de cementación con designación 18XГТ según la norma GOST 4543-71 y la GOST 2590-71 de Rusia.

### Selección del acabado de la superficie de trabajo del calibre

El acabado de las superficies debe ser de alta calidad, lo que reducirá su razón de desgaste inicial. Se recomienda el acabado de las superficies de comprobación mediante un rectificado de alta calidad, manteniendo la rugosidad superficial con un valor de Ra que no exceda de 0.16  $\mu\text{m}$ . [4]

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

A partir de la aplicación de la metodología de cálculo se obtuvieron los siguientes resultados:

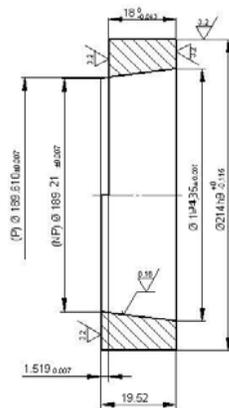


Figura 3. Plano de pieza del calibre



Figura 4. Prototipo del calibre cónico en 3D.

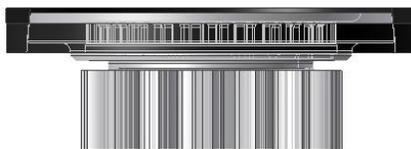


Figura 5. Calibre cónico anular lado pasa

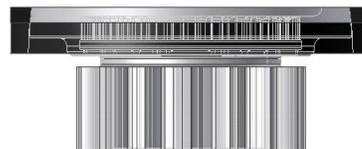
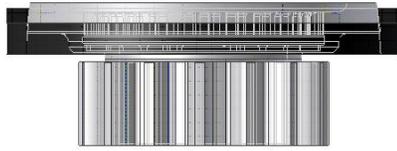


Figura 6. Calibre cónico anular lado no pasa



*Figura 7. Calibre cónico anular*



*Figura 8. Calibre cónico anular 3D fuera de límites*



*Figura 9. Vista del cono con el calibre*



*Figura 10. Aumento de la vista del calibre "pasa"*

## CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los resultados expuestos y el análisis de los mismos con especialistas de diferentes instituciones pertenecientes a la rama de la Tecnología de Construcción de Maquinarias en el país se llegó a las siguientes conclusiones:

1. El diseño realizado, cumple con las normas internacionales para la fabricación de calibres.
2. La utilización del instrumento, no requiere de una alta especialización de los operarios participantes en el proceso de defectación.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cruz, D. I. (2009): "El reacondicionamiento, manufactura o adquisición de piezas de repuesto para tanques.", Primer Seminario Científico Tecnológico, Centro de Investigación y Desarrollo de Diagnóstico, Conservación y Modernización del Transporte.
2. Cuele, S. A., García, G. J. y Hernández, A. O. (1989.): Ajuste Herramentista, Ed. Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana
3. González, R. R. y Toscazo, M. J.: (1986). Mediciones Técnicas para la Especialidad de Tecnología de Construcción de Maquinarias, Ed. Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana,
4. Hernández, S. F.(2006).: Metrología Dimensional, Ed. Félix Varela, Ciudad de La Habana,
5. NC16-04: 81. Calibres lisos para dimensiones hasta 500 mm.
6. Anillo con lengüeta en un lado DIN 230. Calibres cónicos para cono morse.
7. Anillo DIN 2080. Calibres cónicos para conos con fuerte conicidad.
8. Anillo DIN 55026 / DIN 55027. Calibres cónicos para cabeza de eje y brida de mandrino.
9. [www.ultra-germany.com](http://www.ultra-germany.com) ULTRA PRÄZISION MESSZEUGE GMBH.