



Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Volumen II

Anexo

TRABAJO DE FINAL DE GRADO



**REDISEÑO Y PUESTA A
PUNTO DE UNA
HERRAMIENTA DE
BRUÑIDO CON BOLA
PARA TORNO**

TFG presentado para optar al título de GRADO en
INGENIERÍA MECÁNICA

por **Oriol Casadesús Farràs**

y

Manel Madueño Guerrero

Barcelona, 08 de Junio de 2016

Tutor proyecto: Ramón Jerez Mesa y Giovanni Gómez-Gras
Departamento de ENGINYERIA MECÀNICA (DEM)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

ÍNDICE ANEXOS

| | |
|--|----|
| ÍNDICE ANEXOS | 1 |
| ANEXO 1 | 2 |
| FICHA TÉCNICA DE LOS MATERIALES UTILIZADOS | 2 |
| ANEXO 1.1. FICHA TÉCNICA DE MATERIAL: UNS G52986 | 2 |
| ANEXO 1.2. FICHA TÉCNICA DE MATERIAL: Latón CW617N | 3 |
| ANEXO 1.3. FICHA TÉCNICA DE MATERIAL: AISI 420..... | 4 |
| ANEXO 1.4. FICHA TÉCNICA DE MATERIAL: UNS S30400 | 5 |
| ANEXO 1.5. FICHA TÉCNICA DE MATERIAL: PLA..... | 6 |
| ANEXO 2 | 7 |
| HOJA DE RUTA PARA LA FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS | 8 |
| ANEXO 3 | 11 |
| ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES PREVIAS AL BRUÑIDO | 11 |
| ANEXO 4.1: MEDICIÓN DE RUGOSIDADES | 11 |
| ANEXO 3.2: MEDICIÓN DE MICRO-DUREZAS | 13 |
| ANEXO 3.3: MEDICIÓN DE CICLOS DE VIDA A FATIGA | 14 |
| ANEXO 4 | 17 |
| DETERMINACIÓN DE RESULTADOS TRAS EL BRUÑIDO DE LAS PROBETAS | 17 |
| ANEXO 4.1: RESULTADOS DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL | 17 |
| ANEXO 4.2: RESULTADOS DE DUREZA | 19 |
| ANEXO 4.3: RESULTADOS DE VIDA A FATIGA..... | 22 |
| ANEXO 5 | 23 |
| DISEÑO DEL ANÁLISIS DE EXPERIMENTOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN MINITAB | 23 |
| ANEXO 5.1: DISEÑO DEL EXPERIMENTO DE RUGOSIDAD Y DUREZA | 23 |
| ANEXO 5.2: DISEÑO DEL EXPERIMENTO DE FATIGA | 25 |
| ANEXO 6 | 26 |
| ESPECIFICACIONES DE TOLERANCIAS Y AJUSTES PARA LA FABRICACIÓN DE PIEZAS | 26 |

ANEXO 1

FICHA TÉCNICA DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

En el presente anexo se muestran las principales características de los materiales utilizados a lo largo del presente estudio, tanto de las piezas de la herramienta de bruñido como de las probetas ensayadas.

La información presentada a continuación se ha extraído en su mayor parte de la web www.matweb.com.

ANEXO 1.1. FICHA TÉCNICA DE MATERIAL: UNS G52986

- Especificaciones

Acero AISI E 52100

ASTM A535, A646, A711

SAE J404, J412, J770

DIN 1.3505

AFNOR 100Cr6 (Francia)

- Categorías

Metal; Metal Ferroso; Acero Aleado; Acero Serie AISI 5000; Acero de Baja Aleación; Acero al Carbono; Acero Alto en Carbono.

- Notas del Material

E52100 posee características metalúrgicas y de procesamiento similares a la aleación TBS-9.

- Propiedades

Propiedades físicas

| | |
|----------|------------------------|
| Densidad | 7,81 g/cm ³ |
|----------|------------------------|

Propiedades mecánicas

| | |
|--------------------------|---------|
| Dureza, Rockwell B | 55 |
| Dureza, Rockwell C | 62 |
| Dureza, Vickers | 100 |
| Módulo de Elasticidad | 210 GPa |
| Coefficiente de Poissons | 0,30 |

| | |
|-----------------------|----------|
| Maquinabilidad | 40,0 % |
| Módulo de Cizalladura | 80,0 GPa |

Composición química

| | |
|----------------|--------------|
| Carbono, C | 0,98-1,1 % |
| Cromo, Cr | 1,3-1,6 % |
| Hierro, Fe | 96,5-97,32 % |
| Manganesio, Mn | 0,25-0,45 % |
| Fósforo, P | <=0,025 % |
| Silicio, Si | 0,15-0,30 % |
| Azufre, S | <=0,025 % |

ANEXO 1.2. FICHA TÉCNICA DE MATERIAL: Latón CW617N

- Categorías

Metal; Metal No-Ferroso; Aleación de Cobre; Latón.

- Notas de Material

CW617N se usa para un amplio rango de componentes forjados y prensados, y en componentes que requieran un elevado grado de precisión de mecanizado.

- Propiedades

Propiedades físicas

| | |
|----------|-----------------------|
| Densidad | 8,4 g/cm ³ |
|----------|-----------------------|

Propiedades mecánicas

| | |
|--------------------------|----------|
| Dureza, Rockwell B | 69,3 |
| Dureza, Rockwell F | 69,1 |
| Dureza, Brinell | 65,1 |
| Módulo de Elasticidad | 106 GPa |
| Módulo de Cizalladura | 38,8 GPa |
| Coefficiente de Poissons | 0,318 |
| Maquinabilidad | 46,8 % |

Composición química

| | |
|------------|-----------|
| Cobre, Cu | 56-58,5 % |
| Plomo, Pb | 1,5-2,5 % |
| Hierro, Fe | <=0,3 % |
| Zinc, Zn | Restante |
| Otros | <=0,7 % |

ANEXO 1.3. FICHA TÉCNICA DE MATERIAL: AISI 420

- Especificaciones

AISI 420 modificado.

- Categorías

Metal; Metal Ferroso; Acero Inoxidable; Acero de Herramienta.

- Notas de Material

AISI 420 se caracteriza por la buena resistencia a la corrosión, pulido, resistencia al desgaste y maquinabilidad.

- Propiedades

Propiedades físicas

| | |
|----------|------------------------|
| Densidad | 7,81 g/cm ³ |
|----------|------------------------|

Propiedades mecánicas

| | |
|---------------------------|----------|
| Dureza, Brinell | 200 |
| Dureza, Rockwell C | 30-55 |
| Resistencia a la Tracción | 1420 MPa |
| Módulo de Elasticidad | 200 GPa |

Composición química

| | |
|----------------|--------|
| Carbono, C | 0,38 % |
| Cromo, Cr | 13,6 % |
| Hierro, Fe | 84,3 % |
| Manganesio, Mn | 0,50 % |
| Silicio, Si | 0,90 % |
| Vanadio, V | 0,30 % |

ANEXO 1.4. FICHA TÉCNICA DE MATERIAL: UNS S30400

- Especificaciones

Acero AISI 304

ASTM A167, A182, A193, A194

SAE 30304

DIN 1.4301

- Categorías

Metal; Metal Ferroso; Acero Inoxidable; Acero Inoxidable Serie T 300.

- Notas de Material

Acero inoxidable austenítico Cr-Ni, mejor resistencia a la corrosión que el 302. Alta ductilidad. No-magnético. Bajo contenido en carbono.

- Propiedades

Propiedades físicas

| | |
|----------|------------------------|
| Densidad | 8,00 g/cm ³ |
|----------|------------------------|

Propiedades mecánicas

| | |
|---------------------------|----------|
| Dureza, Rockwell B | 70 |
| Dureza, Knoop | 138 |
| Dureza, Brinell | 123 |
| Módulo de Elasticidad | 193 GPa |
| Resistencia a la Tracción | 505 MPa |
| Coefficiente de Poissons | 0,29 |
| Resistencia a la Tracción | 215 MPa |
| Módulo de Cizalladura | 77,0 GPa |

Composición química

| | |
|----------------|------------|
| Carbono, C | <=0,08 % |
| Cromo, Cr | 18-20 % |
| Hierro, Fe | 66,35-74 % |
| Manganesio, Mn | <=2,0 % |
| Niquel, Ni | 8,0-10,5 % |

| | |
|-------------|-----------------|
| Fósforo, P | $\leq 0,045 \%$ |
| Silicio, Si | $\leq 1,0 \%$ |
| Azufre, S | $\leq 0,03 \%$ |

ANEXO 1.5. FICHA TÉCNICA DE MATERIAL: PLA

La siguiente ficha muestra las características técnicas del PLA utilizado en la impresión 3D del prototipo. Esta ficha ha sido suministrada por el fabricante.

Technical data sheet - PLA Extrafill

| | | | |
|-------------------|--|----|-----------------------|
| Product: | PLA Extrafill | | |
| Diameters: | 1,75 mm | or | 2,85 mm (+/- 0,05 mm) |
| Lengths: | 255 m | or | 95 m |
| Weight: | > 0,75 kg | | |
| Material: | Polylactic acid | | |
| Color: | wide variety of colours according to the color range | | |

Information:

- High quality filaments with the trade name PLA Extrafill used for the FFF (also known as FDM) 3D printing technology.
- The advantage of this material is that it can be used in 3D printers easily, that it allows a high quality of printing even in tricky details and an excellent lamination of the printed object.
- PLA filament is made of natural ingredients and is easily biodegradable by composting.
- PLA Extrafill is manufactured from material, which fulfill FDA requirements.
- Fillamentum guarantees high precision of filament dimension within the tolerance +/- 0,05 mm, which is strictly controlled throughout the production.

Properties of PLA filaments for 3D printing:

| | |
|--------------------------------|------------------------|
| Specific Gravity (ASTM D1505): | 1,24 g/cm ³ |
| Ductility (ASTM D638): | 6 % |
| Strength (ASTM D638): | 53 MPa |
| Working temperature: | 190 - 210 °C |
| Hot pad: | max. 45 °C |

ANEXO 2

HOJA DE RUTA PARA LA FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS

El presente anexo muestra los pasos seguidos para la obtención de las probetas utilizadas durante los ensayos realizados.

Se parte de barras fabricadas de acero inoxidable AISI 304 de longitud 6 m y diámetro 12 mm. La mecanización de las probetas se realizará utilizando la siguiente maquinaria:

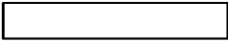
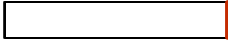
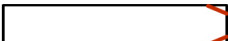
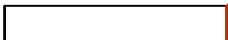


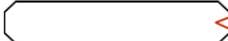
- Sierra hidráulica.
- Torno convencional.
- Torno CNC.

A continuación se muestra la hoja de ruta en la que se detallan las operaciones seguidas en la sierra hidráulica y el torno convencional:



Hoja de Ruta Tecnológica

| | | | |
|--------------------|--------------------|---------------|--------------------|
| Denominación pieza | Probeta Fatiga | Elaborado por | Casadesús/ Madueño |
| Nº plano | 16 | Fecha | 01/03/2016 |
| Material | Acero AISI 304 | Hoja/Total | 1/1 |
| Semiproducto | Barra D=12mm L= 6m | | |

| Nº Fase | Croquis | Fase/Operación | Descripción herramienta | Parámetros de corte | | | | | | |
|---------|---|------------------------------------|-------------------------|---------------------|---------------|--------|-------------|-------------|------------|-------|
| | | | | Vc (m/min) | a (mm/vuelta) | P (mm) | n (rev/min) | Va (mm/min) | L mec (mm) | Tc(s) |
| 01/10 |  | Sierra Serrar barra L=148 mm | | | | | | | | |
| 02/10 |  | Torno Refrentado justo a limpio | CNMG120408 | 30 | Manual | 0,2 | 770 | Manual | 12 | 10 |
| 02/20 |  | Chaflán | CNMG120408 | 30 | Manual | 1 | 770 | Manual | 1 | 2 |
| 02/30 | Voltear cara 2 | | | | | | | | | |
| 02/40 |  | Refrentado justo a limpio | CNMG120408 | 30 | Manual | 0,2 | 770 | Manual | 12 | 10 |
| 2/50 |  | Refrentado | CNMG120408 | 30 | Manual | 1,6 | 770 | Manual | 12 | 40 |
| 2/60 |  | Chaflán | CNMG120408 | 30 | Manual | 1 | 770 | Manual | 1 | 2 |
| 2/70 |  | Puntear | Broca puntear 60º | 30 | Manual | 3 | 770 | Manual | 3 | 10 |
| 3/10 | Ciclo CNC | | | | | | | | | |

Finalmente, se da a las probetas la geometría deseada implementando el siguiente programa en el torno CNC. El bloque final se corresponde con el módulo para la mecanización del radio de acuerdo:

```
( FATIGA TFG )
( 2 )
G54
( TOPE CASQUILLO 0,8 MAS )
( TOTAL 146+0.8=146.8 )
G58 Z146.4
T1 D1
( CILINDRAR )
M4
G95 F0.16
G97 S2000
G90
G0 X45 Z1
G1 X15 Z1
( CICLO DE TRABAJO )
R20=401 R21=7 R22=0 R24=0.03 R25=0.03 R26=0.2 R27=42 R29=11
R28=0.14 R30=0.5
L96 P1
G95 F0.1
G96 S60
R20=401 R21=7 R22=0 R24=0 R25=0 R26=0.1 R27=42 R29=21
R28=0.05 R30=0.5
L96 P1
G1 X15 Z0
G0 X80
G0 Z100
M30
( Subprograma TFG )
( Fatiga TFG radio=3,2mm )
G1 X7 Z0
G1 X7.88 Z-1
G1 X7.94 Z-102.5
G2 X12 Z-106 B3.5
G1 X13 Z-106
M17
```

El tiempo de implementación del programa anterior es de aproximadamente 7 minutos, por lo que si se suma el tiempo de preparación de la pieza en bruto y de su retirada a la finalización del programa, el tiempo de fabricación de una probeta es de aproximadamente 10 minutos.

ANEXO 3

ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES PREVIAS AL BRUÑIDO

El trabajo presentado realiza un estudio comparativo, por lo que se requiere una medición de las características superficiales previas al bruñido, tanto de rugosidad como de dureza, para determinar la mejora producida tras la aplicación del proceso.

A continuación se muestran los pasos seguidos para la obtención de dichos parámetros y los valores obtenidos.

ANEXO 4.1: MEDICIÓN DE RUGOSIDADES

Como ya se ha comentado en la memoria, la obtención de los valores de rugosidad en las probetas se ha realizado mediante un rugosímetro de mano modelo Mitutoyo SJ-201, con una precisión de 0,01 μm .

Según la norma ISO 4288:1996, la medición de rugosidades en una superficie metálica se debe realizar en una zona homogénea, es decir, que no presente defectos visibles. Siguiendo esta recomendación, todas las mediciones se han tomado en puntos alejados de rallas resultantes del proceso de mecanizado.

Además, la norma anterior también establece el valor de las longitudes de muestreo y de evaluación a la hora de medir rugosidades. En todo caso, la longitud de evaluación debe ser igual a 5 veces la longitud de muestreo.

En la siguiente tabla se muestra el valor de las longitudes de muestreo y de evaluación según la R_a de la probeta ensayada:

| R_a (μm) | Longitud de muestreo (mm) | Longitud de evaluación (mm) |
|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| $0,006 < R_a \leq 0,02$ | 0,08 | 0,4 |
| $0,02 < R_a \leq 0,1$ | 0,25 | 1,25 |
| $0,1 < R_a \leq 2$ | 0,8 | 4 |
| $2 < R_a \leq 10$ | 2,5 | 12,5 |
| $10 < R_a \leq 80$ | 8 | 40 |

El valor de la rugosidad R_a se encuentra entre 2 y 10 μm , por lo que se ha determinado una longitud de muestreo de 2,5 mm y una longitud de evaluación de 12,5 mm.

A continuación se muestra la media del valor de 10 rugosidades previas al bruñido para cada una de las probetas. Todas las mediciones se han realizado en dirección perpendicular a las líneas de mecanizado.

| Probeta | R_a (μm) | R_t (μm) |
|----------------|---------------------------|---------------------------|
| 1 | 10,6 | 79,5 |
| 2 | 8,0 | 63,8 |
| 3 | 12,1 | 83,3 |
| 4 | 12,5 | 84,2 |
| 5 | 11,2 | 78,2 |
| 6 | 12,8 | 79,8 |
| 7 | 11,2 | 78,2 |
| 8 | 12,6 | 95,0 |
| 9 | 12,9 | 84,8 |
| 10 | 11,6 | 72,2 |
| 11 | 12,8 | 83,6 |
| 12 | 10,1 | 66,5 |
| 13 | 10,6 | 70,3 |
| 14 | 14,7 | 104,0 |
| 15 | 11,4 | 70,1 |
| 16 | 10,4 | 68,5 |
| 17 | 12,4 | 78,1 |
| 18 | 10,8 | 71,6 |
| 19 | 10,8 | 72,1 |
| 20 | 11,2 | 69,8 |
| 21 | 9,8 | 60,1 |
| 22 | 10,2 | 58,7 |
| 23 | 10,3 | 68,1 |
| 24 | 11,8 | 72,3 |
| 25 | 10,2 | 65,2 |
| 26 | 11,3 | 74,0 |
| 27 | 12,1 | 86,9 |
| 28 | 11,8 | 78,6 |
| 29 | 9,5 | 55,6 |
| 30 | 12,0 | 78,2 |

| | | |
|----|------|------|
| 31 | 12,9 | 83,3 |
| 32 | 8,8 | 57,9 |
| 33 | 12,1 | 85,3 |
| 34 | 8,6 | 56,0 |
| 35 | 9,2 | 59,7 |
| 36 | 7,6 | 51,6 |
| 37 | 8,8 | 53,7 |
| 38 | 7,5 | 47,0 |
| 39 | 7,2 | 47,5 |
| 40 | 7,0 | 43,9 |
| 41 | 6,8 | 43,1 |
| 42 | 6,9 | 46,4 |
| 43 | 7,3 | 46,6 |
| 44 | 7,1 | 44,3 |
| 45 | 6,9 | 44,6 |
| 46 | 7,4 | 44,9 |
| 47 | 7,5 | 51,9 |
| 48 | 7,0 | 51,1 |
| 49 | 7,4 | 54,1 |
| 50 | 7,2 | 49,5 |

ANEXO 3.2: MEDICIÓN DE MICRO-DUREZAS

Para la determinación de la micro-dureza de las probetas se ha utilizado un durómetro modelo Buehler 5114. Esta máquina permite la medición de micro-durezas en la escala Vickers, por lo que el indentador presenta una geometría piramidal, dejando en la probeta huellas en forma romboidal.

La determinación de las micro-durezas en las probetas se ha determinado siguiendo las recomendaciones de la norma UNE-EN ISO 6507-1:1997 para ensayos de dureza Vickers en materiales mecánicos.

Según la norma, se ha establecido una carga de 500 g, aplicada sobre la probeta durante 10 segundos. También es necesario una calibración visual del operario del durómetro previa a las mediciones, utilizando una plantilla en la que se obtiene el valor del error en función de sus capacidades visuales.

Por otro lado, la norma consultada especifica la aplicación de un factor de corrección en el caso que las probetas presenten geometría cilíndrica. Dichos factores dependen de las dimensiones de la probeta y de la huella dejada por el indentador.

En la siguiente tabla se muestran los factores de corrección que se deben aplicar:

| d/D | Factor de corrección | d/D | Factor de corrección |
|------------|-----------------------------|------------|-----------------------------|
| 0,009 | 0,995 | 0,085 | 0,965 |
| 0,019 | 0,990 | 0,104 | 0,960 |
| 0,029 | 0,985 | 0,126 | 0,955 |
| 0,041 | 0,980 | 0,153 | 0,950 |
| 0,054 | 0,975 | 0,189 | 0,945 |
| 0,068 | 0,970 | 0,243 | 0,940 |

Para obtener un valor de dureza medio para el acero AISI 304 utilizado en las probetas se han tomado un total de 10 mediciones

ANEXO 3.3: MEDICIÓN DE CICLOS DE VIDA A FATIGA

El objetivo de este ensayo es determinar el aumento en el número de ciclos de vida que experimentan las probetas cuando éstas se someten a esfuerzos que causan fatiga del material, después de bruñir la pieza. Por lo tanto, es necesaria la obtención del número de ciclos previo al bruñido, pues así se podrá determinar la diferencia antes y después del proceso.

La vida a fatiga de un material se representa mediante la curva tensión/deformación (S/N), que recibe el nombre de diagrama de Wöhler. En éste se representa el número de ciclos de vida que soporta el material en dependencia de la tensión aplicada.

Por lo tanto, para determinar la curva a fatiga de un material se necesita ensayar a varias fuerzas. A su vez, para cada una se han ensayado 6 probetas para poder determinar dicha curva.

A continuación se exponen los datos del estudio a fatiga previo al bruñido:

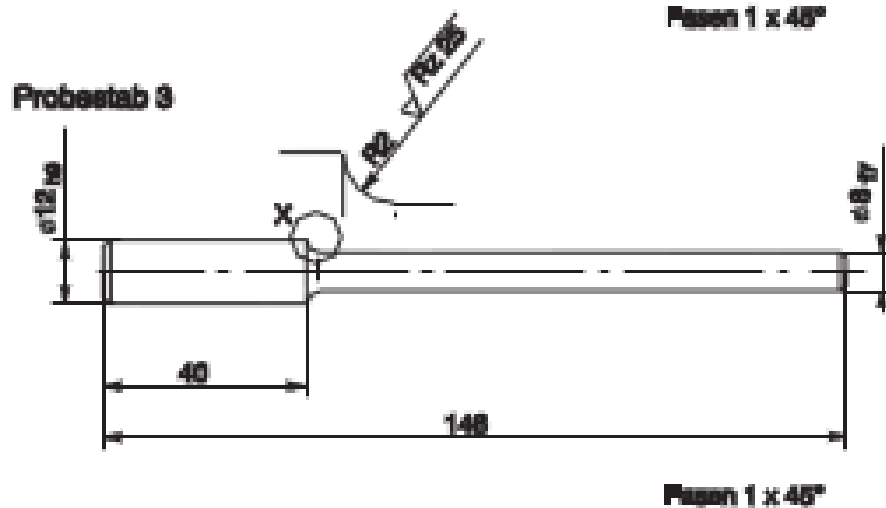
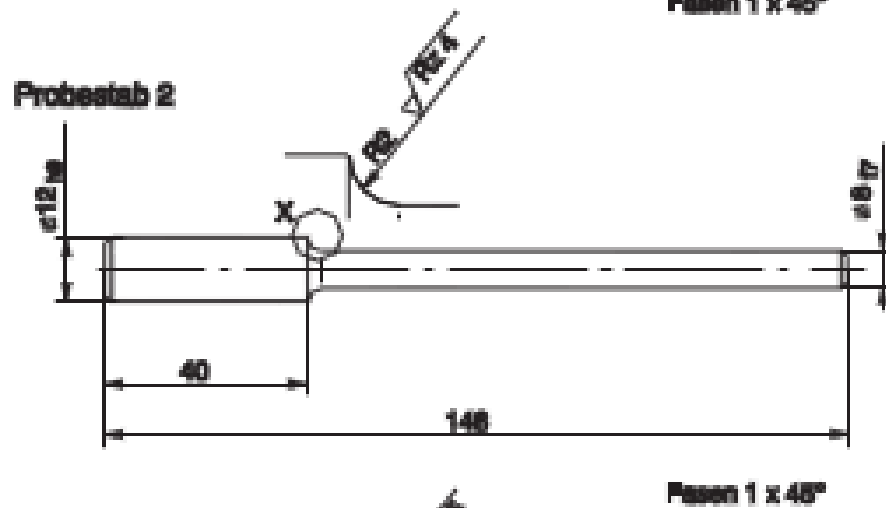
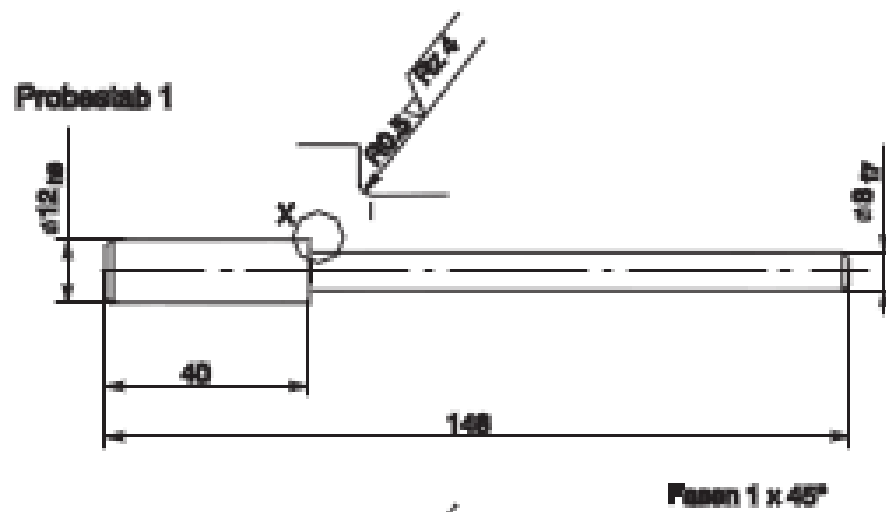
| Fuerza (N) | Tensión (MPa) | Ciclos de vida |
|-------------------|----------------------|-----------------------|
| 246 | 491,85 | 4927,6 |
| 237 | 473,85 | 5274,0 |
| 227 | 453,86 | 6139,2 |
| 216 | 431,87 | 8533,6 |
| 207 | 413,87 | 12226,4 |
| 197 | 393,88 | 18567,0 |

Como se ha comentado, la geometría de las probetas se justifica a partir de la máquina de fatiga sobre las cuales se van a ensayar. Se trata de una máquina de fatiga por flexión rotativa, modelo WP140.

A continuación se muestra la página del manual donde se indica la geometría de las probetas, extraído del manual de la máquina de fatiga por flexión rotativa modelo GUNT WP140 [31]. No obstante se puede comprobar que el valor del radio de acuerdo se ha modificado, por los motivos explicados en la memoria, por considerarlo una cota que no depende de la máquina de ensayo.

5.3 Varas de prueba

Varas de prueba de acero de temple y revenido Ck 35, Valores de resistencia:



ANEXO 4

DETERMINACIÓN DE RESULTADOS TRAS EL BRUÑIDO DE LAS PROBETAS

Después de bruñir todas las probetas se ha realizado un estudio comparativo a partir de los datos previos presentados en el anexo anterior.

A continuación se muestran los resultados obtenidos después de bruñir.

ANEXO 4.1: RESULTADOS DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL

Para la obtención de la rugosidad en las probetas se ha seguido la misma metodología utilizada previamente. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

| Probeta | Zona | R _a (μm) | R _t (μm) |
|---------|------|---------------------|---------------------|
| 1 | 1 | 1,6 | 14,06 |
| | 2 | 1,21 | 11,72 |
| | 3 | 1,11 | 10,43 |
| | 4 | 2,84 | 27,1 |
| 2 | 1 | 3,5 | 21,72 |
| | 2 | 4,29 | 52,27 |
| | 3 | 3,61 | 25,12 |
| | 4 | 3,23 | 22,67 |
| 3 | 1 | 6,03 | 46,39 |
| | 2 | 5,43 | 39,82 |
| | 3 | 2,36 | 20,54 |
| | 4 | 1,82 | 10,26 |
| 4 | 1 | 4,27 | 38,01 |
| | 2 | 6,12 | 37,96 |
| | 3 | 3,65 | 30,08 |
| | 4 | 0,72 | 5,58 |
| 5 | 1 | 5,2 | 45,69 |
| | 2 | 3,81 | 29,02 |
| | 3 | 2,51 | 23,45 |

| | | | |
|----|---|------|-------|
| | 4 | 1,46 | 15,76 |
| 6 | 1 | 3,83 | 25,78 |
| | 2 | 3,02 | 27,94 |
| | 3 | 2,99 | 23,74 |
| | 4 | 2,79 | 20,11 |
| 7 | 1 | 4,78 | 32,54 |
| | 2 | 5,17 | 45,35 |
| | 3 | 2,82 | 21,08 |
| | 4 | 2,08 | 17,97 |
| 8 | 1 | 3,41 | 33,39 |
| | 2 | 2,14 | 26,53 |
| | 3 | 2,84 | 27,53 |
| | 4 | 3,7 | 29,33 |
| 9 | 1 | 0,7 | 9,65 |
| | 2 | 0,49 | 7,09 |
| | 3 | 0,35 | 4,32 |
| | 4 | 0,36 | 4,43 |
| 10 | 1 | 4,05 | 37,72 |
| | 2 | 5,52 | 40,97 |
| | 3 | 2,33 | 24,02 |
| | 4 | 2,1 | 16,74 |
| 11 | 1 | 4,68 | 33,94 |
| | 2 | 4,94 | 32,71 |
| | 3 | 1,56 | 14,11 |
| | 4 | 1,18 | 20,1 |
| 12 | 1 | 3,74 | 30,07 |
| | 2 | 5,23 | 38,43 |
| | 3 | 0,47 | 6,3 |
| | 4 | 0,55 | 3,72 |
| 13 | 1 | 3,66 | 26,89 |
| | 2 | 2,79 | 26,88 |
| | 3 | 3,53 | 34,5 |
| | 4 | 2,26 | 23,22 |

| | | | |
|----|---|------|-------|
| 14 | 1 | 2,33 | 27,14 |
| | 2 | 2,48 | 22,95 |
| | 3 | 0,49 | 5,19 |
| | 4 | 0,76 | 15,16 |
| 15 | 1 | 4,87 | 32,99 |
| | 2 | 3,14 | 25,13 |
| | 3 | 1,68 | 17,59 |
| | 4 | 1,49 | 17,35 |
| 16 | 1 | 1,78 | 16,43 |
| | 2 | 2,25 | 19,29 |
| | 3 | 2,58 | 17,13 |
| | 4 | 2,26 | 12,33 |
| 17 | 1 | 6,36 | 33,53 |
| | 2 | 6,28 | 40,14 |
| | 3 | 0,77 | 8,51 |
| | 4 | 0,7 | 17,43 |

ANEXO 4.2: RESULTADOS DE DUREZA

A continuación se muestra una tabla con los resultados de dureza obtenidos y la aplicación del factor de corrección para probetas cilíndricas (como se puede observar el factor es el mismo para todas las probetas, ya que el valor de la diagonal media no difiere en gran medida):

| Probeta | Zona | Dureza (HV) | Factor | Dureza corregida (HV) |
|----------------|-------------|--------------------|---------------|------------------------------|
| 1 | 1 | 272,1 | 0,995 | 270,7 |
| | 2 | 291,3 | 0,995 | 289,8 |
| | 3 | 286,5 | 0,995 | 285,1 |
| | 4 | 340,2 | 0,995 | 338,5 |
| 2 | 1 | 272,6 | 0,995 | 271,2 |
| | 2 | 288,6 | 0,995 | 287,2 |
| | 3 | 283,5 | 0,995 | 282,1 |
| | 4 | 330,2 | 0,995 | 328,5 |
| 3 | 1 | 270,6 | 0,995 | 269,2 |
| | 2 | 285,8 | 0,995 | 284,4 |
| | 3 | 283,6 | 0,995 | 282,2 |

| | | | | |
|----|---|-------|-------|-------|
| | 4 | 322,4 | 0,995 | 320,8 |
| 4 | 1 | 264,8 | 0,995 | 263,5 |
| | 2 | 284,2 | 0,995 | 282,8 |
| | 3 | 280,2 | 0,995 | 278,8 |
| | 4 | 321,3 | 0,995 | 319,7 |
| 5 | 1 | 265,3 | 0,995 | 264,0 |
| | 2 | 280 | 0,995 | 278,6 |
| | 3 | 279,1 | 0,995 | 277,7 |
| | 4 | 317,6 | 0,995 | 316,0 |
| 6 | 1 | 261 | 0,995 | 259,7 |
| | 2 | 280,2 | 0,995 | 278,8 |
| | 3 | 275,4 | 0,995 | 274,0 |
| | 4 | 310,3 | 0,995 | 308,7 |
| 7 | 1 | 255,4 | 0,995 | 254,1 |
| | 2 | 276,7 | 0,995 | 275,3 |
| | 3 | 273,8 | 0,995 | 272,4 |
| | 4 | 294,2 | 0,995 | 292,7 |
| 8 | 1 | 249,8 | 0,995 | 248,6 |
| | 2 | 275,3 | 0,995 | 273,9 |
| | 3 | 272,9 | 0,995 | 271,5 |
| | 4 | 291,6 | 0,995 | 290,1 |
| 9 | 1 | 272,1 | 0,995 | 270,7 |
| | 2 | 291,3 | 0,995 | 289,8 |
| | 3 | 286,5 | 0,995 | 285,1 |
| | 4 | 340,2 | 0,995 | 338,5 |
| 10 | 1 | 272,6 | 0,995 | 271,2 |
| | 2 | 288,6 | 0,995 | 287,2 |
| | 3 | 283,5 | 0,995 | 282,1 |
| | 4 | 330,2 | 0,995 | 328,5 |
| 11 | 1 | 270,6 | 0,995 | 269,2 |
| | 2 | 285,8 | 0,995 | 284,4 |
| | 3 | 283,6 | 0,995 | 282,2 |
| | 4 | 322,4 | 0,995 | 320,8 |
| 12 | 1 | 264,8 | 0,995 | 263,5 |

| | | | | |
|----|---|-------|-------|-------|
| | 2 | 284,2 | 0,995 | 282,8 |
| | 3 | 280,2 | 0,995 | 278,8 |
| | 4 | 321,3 | 0,995 | 319,7 |
| 13 | 1 | 265,3 | 0,995 | 264,0 |
| | 2 | 280 | 0,995 | 278,6 |
| | 3 | 279,1 | 0,995 | 277,7 |
| | 4 | 317,6 | 0,995 | 316,0 |
| 14 | 1 | 261 | 0,995 | 259,7 |
| | 2 | 280,2 | 0,995 | 278,8 |
| | 3 | 275,4 | 0,995 | 274,0 |
| | 4 | 310,3 | 0,995 | 308,7 |
| 15 | 1 | 255,4 | 0,995 | 254,1 |
| | 2 | 276,7 | 0,995 | 275,3 |
| | 3 | 273,8 | 0,995 | 272,4 |
| | 4 | 294,2 | 0,995 | 292,7 |
| 16 | 1 | 249,8 | 0,995 | 248,6 |
| | 2 | 275,3 | 0,995 | 273,9 |
| | 3 | 272,9 | 0,995 | 271,5 |
| | 4 | 291,6 | 0,995 | 290,1 |
| 17 | 1 | 290 | 0,995 | 288,6 |
| | 2 | 290 | 0,995 | 288,6 |
| | 3 | 290 | 0,995 | 288,6 |
| | 4 | 290 | 0,995 | 288,6 |

A continuación se muestra una captura de la plantilla utilizada para la obtención de los valores de dureza a partir de la medición de la huella dejada por el indentador:

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | | | | |
|----|------------------|------------------|---------------|-----------|---------------|-------------|------------------------------|---------------|--------------|---|---|---|---------------------|---------------|---|----------|-----------------|---|---------|--|--|
| 1 | Mostra | Probeta | | | | | | | | | | | | | | N | tp (95%) | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | d1 (u.a.) | d2 (u.a.) | d (µm) | HV | Defect | Avis | Operari | Manel Madueño | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 57,11 | 61,41 | 61,25 | 247,2 | | | | | | | | | | | | | | 1 | 12,7062 | | |
| 5 | 51,08 | 55,10 | 54,98 | 306,7 | | | Reina | | | | | | | | | | | 2 | 4,30265 | | |
| 6 | 48,65 | 56,04 | 54,23 | 315,3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 54,79 | 55,55 | 57,10 | 284,4 | | | Càrrega (g) | 500 | 5,000 | | | | Objectiu | O.N. | | | | | | | |
| 8 | 52,88 | 58,36 | 57,55 | 279,9 | | | | | | | | | 10 | 0,25 | | | | | | | |
| 9 | 53,86 | 56,99 | 57,35 | 281,9 | | | Objectiu | 50 | | | | | 50 | 0,65 | | | | | | | |
| 10 | 57,83 | 54,34 | 58,02 | 275,4 | | | | | | | | | 100 | 0,95 | | | | | | | |
| 11 | 54,59 | 59,11 | 58,80 | 268,2 | | | | Valor | Error | | | | | | | | | | | | |
| 12 | 55,29 | 53,12 | 56,12 | 294,4 | | | pendent | 1,01491 | 0,00906 | | | | | | | | | | | | |
| 13 | 55,52 | 52,62 | 55,98 | 295,9 | | | Interc. (µm) | 1,10307 | 0,99534 | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | λ (µm) | 0,40 | | | | | | Duresa | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | <x>+2S | 324,01 | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | Resolució òptica (µm) | 0,31 | | | | | Max | 315,29 | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | Min | 247,17 | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | Mesures bones | 10 | | | | | <x>-2S | 245,83 | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | | | | | | | HV | Error | | | | | Desviació | 19,543 | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | 284,9 | 25,6 | | | | | Error Ace | 13,98 | | | | | | | |
| 23 | | | | | | | | | | | | | Error Res | 11,586 | | | | | | | |
| 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | | | | | | | | | | | | | F(N) = | 4,9033 | | | | | | | |
| 26 | | | | | | | | | | | | | Constant | 0,1891 | | | | | | | |
| 27 | | | | | | | | | | | | | Gravetat | 9,8067 | | | | | | | |
| 28 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

ANEXO 4.3: RESULTADOS DE VIDA A FATIGA

Los resultados de vida a fatiga de las probetas se recogen en la memoria del proyecto.

ANEXO 5

DISEÑO DEL ANÁLISIS DE EXPERIMENTOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN MINITAB

En este anexo se muestran los diseños de los experimentos realizados para desarrollar un análisis experimental sobre el que sacar conclusiones, utilizando el software Minitab.

ANEXO 5.1: DISEÑO DEL EXPERIMENTO DE RUGOSIDAD Y DUREZA

| OrdenEst | OrdenCorrida | PtCentral | Bloques | F (N) | NP | n (rpm) | f (mm/rev) | D (mm) |
|----------|--------------|-----------|---------|-------|----|---------|------------|--------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 80 | 1 | 385 | 0,05 | 6 |
| 2 | 2 | 1 | 1 | 115 | 1 | 385 | 0,05 | 6 |
| 3 | 3 | 1 | 1 | 80 | 7 | 385 | 0,05 | 6 |
| 4 | 4 | 1 | 1 | 115 | 7 | 385 | 0,05 | 6 |
| 5 | 5 | 1 | 1 | 80 | 1 | 770 | 0,05 | 6 |
| 6 | 6 | 1 | 1 | 115 | 1 | 770 | 0,05 | 6 |
| 7 | 7 | 1 | 1 | 80 | 7 | 770 | 0,05 | 6 |
| 8 | 8 | 1 | 1 | 115 | 7 | 770 | 0,05 | 6 |
| 9 | 9 | 1 | 1 | 80 | 1 | 385 | 0,22 | 6 |
| 10 | 10 | 1 | 1 | 115 | 1 | 385 | 0,22 | 6 |
| 11 | 11 | 1 | 1 | 80 | 7 | 385 | 0,22 | 6 |
| 12 | 12 | 1 | 1 | 115 | 7 | 385 | 0,22 | 6 |
| 13 | 13 | 1 | 1 | 80 | 1 | 770 | 0,22 | 6 |
| 14 | 14 | 1 | 1 | 115 | 1 | 770 | 0,22 | 6 |
| 15 | 15 | 1 | 1 | 80 | 7 | 770 | 0,22 | 6 |
| 16 | 16 | 1 | 1 | 115 | 7 | 770 | 0,22 | 6 |
| 17 | 17 | 1 | 1 | 80 | 1 | 385 | 0,05 | 14 |
| 18 | 18 | 1 | 1 | 115 | 1 | 385 | 0,05 | 14 |
| 19 | 19 | 1 | 1 | 80 | 7 | 385 | 0,05 | 14 |
| 20 | 20 | 1 | 1 | 115 | 7 | 385 | 0,05 | 14 |
| 21 | 21 | 1 | 1 | 80 | 1 | 770 | 0,05 | 14 |
| 22 | 22 | 1 | 1 | 115 | 1 | 770 | 0,05 | 14 |
| 23 | 23 | 1 | 1 | 80 | 7 | 770 | 0,05 | 14 |
| 24 | 24 | 1 | 1 | 115 | 7 | 770 | 0,05 | 14 |

| | | | | | | | | |
|----|----|---|---|-----|---|-----|------|----|
| 25 | 25 | 1 | 1 | 80 | 1 | 385 | 0,22 | 14 |
| 26 | 26 | 1 | 1 | 115 | 1 | 385 | 0,22 | 14 |
| 27 | 27 | 1 | 1 | 80 | 7 | 385 | 0,22 | 14 |
| 28 | 28 | 1 | 1 | 115 | 7 | 385 | 0,22 | 14 |
| 29 | 29 | 1 | 1 | 80 | 1 | 770 | 0,22 | 14 |
| 30 | 30 | 1 | 1 | 115 | 1 | 770 | 0,22 | 14 |
| 31 | 31 | 1 | 1 | 80 | 7 | 770 | 0,22 | 14 |
| 32 | 32 | 1 | 1 | 115 | 7 | 770 | 0,22 | 14 |
| 33 | 33 | 1 | 1 | 80 | 1 | 385 | 0,05 | 6 |
| 34 | 34 | 1 | 1 | 115 | 1 | 385 | 0,05 | 6 |
| 35 | 35 | 1 | 1 | 80 | 7 | 385 | 0,05 | 6 |
| 36 | 36 | 1 | 1 | 115 | 7 | 385 | 0,05 | 6 |
| 37 | 37 | 1 | 1 | 80 | 1 | 770 | 0,05 | 6 |
| 38 | 38 | 1 | 1 | 115 | 1 | 770 | 0,05 | 6 |
| 39 | 39 | 1 | 1 | 80 | 7 | 770 | 0,05 | 6 |
| 40 | 40 | 1 | 1 | 115 | 7 | 770 | 0,05 | 6 |
| 41 | 41 | 1 | 1 | 80 | 1 | 385 | 0,22 | 6 |
| 42 | 42 | 1 | 1 | 115 | 1 | 385 | 0,22 | 6 |
| 43 | 43 | 1 | 1 | 80 | 7 | 385 | 0,22 | 6 |
| 44 | 44 | 1 | 1 | 115 | 7 | 385 | 0,22 | 6 |
| 45 | 45 | 1 | 1 | 80 | 1 | 770 | 0,22 | 6 |
| 46 | 46 | 1 | 1 | 115 | 1 | 770 | 0,22 | 6 |
| 47 | 47 | 1 | 1 | 80 | 7 | 770 | 0,22 | 6 |
| 48 | 48 | 1 | 1 | 115 | 7 | 770 | 0,22 | 6 |
| 49 | 49 | 1 | 1 | 80 | 1 | 385 | 0,05 | 14 |
| 50 | 50 | 1 | 1 | 115 | 1 | 385 | 0,05 | 14 |
| 51 | 51 | 1 | 1 | 80 | 7 | 385 | 0,05 | 14 |
| 52 | 52 | 1 | 1 | 115 | 7 | 385 | 0,05 | 14 |
| 53 | 53 | 1 | 1 | 80 | 1 | 770 | 0,05 | 14 |
| 54 | 54 | 1 | 1 | 115 | 1 | 770 | 0,05 | 14 |
| 55 | 55 | 1 | 1 | 80 | 7 | 770 | 0,05 | 14 |
| 56 | 56 | 1 | 1 | 115 | 7 | 770 | 0,05 | 14 |
| 57 | 57 | 1 | 1 | 80 | 1 | 385 | 0,22 | 14 |
| 58 | 58 | 1 | 1 | 115 | 1 | 385 | 0,22 | 14 |

| | | | | | | | | |
|----|----|---|---|-----|---|-----|------|----|
| 59 | 59 | 1 | 1 | 80 | 7 | 385 | 0,22 | 14 |
| 60 | 60 | 1 | 1 | 115 | 7 | 385 | 0,22 | 14 |
| 61 | 61 | 1 | 1 | 80 | 1 | 770 | 0,22 | 14 |
| 62 | 62 | 1 | 1 | 115 | 1 | 770 | 0,22 | 14 |
| 63 | 63 | 1 | 1 | 80 | 7 | 770 | 0,22 | 14 |
| 64 | 64 | 1 | 1 | 115 | 7 | 770 | 0,22 | 14 |
| 65 | 65 | 0 | 1 | 95 | 4 | 550 | 0,13 | 10 |
| 66 | 66 | 0 | 1 | 95 | 4 | 550 | 0,13 | 10 |
| 67 | 67 | 0 | 1 | 95 | 4 | 550 | 0,13 | 10 |
| 68 | 68 | 0 | 1 | 95 | 4 | 550 | 0,13 | 10 |

ANEXO 5.2: DISEÑO DEL EXPERIMENTO DE FATIGA

| Factorial | | Real | | Consigna |
|------------------|-----------|--------------|-----------|-----------------|
| F (N) | NP | F (N) | NP | |
| 0 | 0 | 95 | 4 | I |
| 0 | 0 | 95 | 4 | B |
| 1 | 1 | 80 | 7 | C |
| 1 | -1 | 80 | 1 | D |
| 0 | 0 | 95 | 4 | E |
| -1 | 1 | 115 | 7 | F |
| 1 | -1 | 80 | 1 | G |
| -1 | -1 | 115 | 1 | H |
| 1 | 1 | 80 | 7 | A |
| -1 | 1 | 115 | 7 | J |
| -1 | -1 | 115 | 1 | K |
| 0 | 0 | 95 | 4 | L |

ANEXO 6

ESPECIFICACIONES DE TOLERANCIAS Y AJUSTES PARA LA FABRICACIÓN DE PIEZAS

En la siguiente tabla se muestran las desviaciones permisibles para las diferentes cotas nominales. Estas indicaciones se han seguido para diseñar las partes del cabezal de la herramienta indicadas en los planos.

Table 1 - Permissible deviations for linear dimensions except for broken edges (external radii and chamfer heights)

| Tolerance class | | Permissible deviations for basic size range | | | | | | | |
|-----------------|-------------|---|----------------|-----------------|-------------------|--------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| Designation | Description | from 0,5* up to 3 | over 3 up to 6 | over 6 up to 30 | over 30 up to 120 | over 120 up to 400 | over 400 up to 1000 | over 1000 up to 2000 | over 2000 up to 4000 |
| f | fine | ± 0,05 | ± 0,05 | ± 0,1 | ± 0,15 | ± 0,2 | ± 0,3 | ± 0,5 | -- |
| m | medium | ± 0,1 | ± 0,1 | ± 0,2 | ± 0,3 | ± 0,5 | ± 0,8 | ± 1,2 | ± 2 |
| c | coarse | ± 0,2 | ± 0,3 | ± 0,5 | ± 0,8 | ± 1,2 | ± 2 | ± 3 | ± 4 |
| v | very coarse | -- | ± 0,5 | ± 1 | ± 1,5 | ± 2,5 | ± 4 | ± 6 | ± 8 |

* For nominal size below 0,5 mm, the deviation shall be indicated adjacent to the relevant nominal size(s).

Table 2 – Permissible deviations for broken edges (external radii and chamfer heights)

| Tolerance class | | Permissible deviations for basic size range | | |
|-----------------|-------------|---|----------------|--------|
| Designation | Description | from 0,5* up to 3 | over 3 up to 6 | over 6 |
| f | fine | ± 0,2 | ± 0,5 | ± 1 |
| m | medium | | | |
| c | coarse | ± 0,4 | ± 1 | ± 2 |
| v | very coarse | | | |

* For nominal size below 0,5 mm, the deviation shall be indicated adjacent to the relevant nominal size(s).

Table 3 – Permissible deviations for angular dimensions

| Tolerance class | | Permissible deviations for ranges of lengths in millimetres of shorter side of the angle concerned | | | | |
|-----------------|-------------|--|------------------|-------------------|--------------------|----------|
| Designation | Description | up to 10 | over 10 up to 50 | over 50 up to 120 | over 120 up to 400 | over 400 |
| f | fine | ± 1° | ± 0,5° | ± 0,333° | ± 0,166° | ± 0,083° |
| m | medium | | | | | |
| c | coarse | ± 1,5° | ± 1° | ± 0,5° | ± 0,25° | ± 0,166° |
| v | very coarse | ± 3° | ± 2° | ± 1° | ± 0,5° | ± 0,333° |

Finalmente se muestra una tabla con los tipos de ajustes empleados según su función:

| AJUSTES MÓVILES | | <i>Agujero base</i> | | | <i>Eje base</i> | | | |
|--|------------------------------------|---------------------|-----------|--------------------------|-----------------|----------------|-----------|--------------------------|
| | | H7 | H8 | H11 | h6 | h7 | h8 | h11 |
| a) Con gran juego (alineación defectuosa, longitudes muy grandes) | | | d8 | a11 b11 c11 d11 | | | D10 | A11 B11 C11 D11 |
| b) Casos normales de piezas que giran o deslizan | | e7 f6 | e8 f7 | | | E8 F7 | E9 F8 | |
| c) Piezas que necesitan una guía precisa y giran despacio | | g6 | | | G7 | | | |
| AJUSTES CON APRIETE | | | | | | | | |
| a) Para no transmitir esfuerzo notable y que puedan montarse y desmontarse sin deterioro | 1) Colocación a mano | h6 j6 | h7 | h11 | H7 J7 | H8 | H8 | H11 |
| | 2) Colocación con mazo | k6 m6 n6 | | | K7 M7 N7 | | | |
| b) Para transmitir esfuerzos; desmontaje con deterioro | 1) Colocación con mazo | p6 r6 | | | P7 R7 | | | |
| | 2) Montaje con prensa o dilatación | r6 s6 x7 | u7 | | R7 S7 U7 | U8 X7 Z7 | | |