

Universidad Nacional de Rosario

Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura

Escuela de Ingeniería Mecánica

Asignatura

M15 Transformación y Unión de materiales

Trabajo Práctico Integrador: Falla en Ojal



Docentes:

Ing. FRANCIA, Pablo

Ing. PEROTTI, Ariel

Autores:

Benjamín Arias (A-4518/7)

Lorenzo Tomás Francisca (F-3643/9)

2024

Índice de contenido

1. Introducción	3
1.1. Uso en ingeniería	3
1.2. Objetivos del informe	3
2. Estudio de Falla	4
2.1. Preparación	4
2.2. Estudio macrográfico	4
2.2.1. Observación	4
2.2.2. Dureza	4
2.2.3. Ataque	5
2.3. Estudio micrográfico	6
2.3.1. Observación	6
2.3.2. Microdureza	8
3. Discusión	8
4. Marcos normativos existentes	9
4.1. ASME B18-15 / ASTM A489-18 [1]	9
4.2. DIN 580: 2010/09 [2]	11
5. Propuesta de solución	12
5.1. Material	12
5.2. Procedimiento	12
5.2.1. Material Inicial [3]	12
5.2.2. Mecanizado 1	12
5.2.3. Forjado [4][5]	12
5.2.4. Tratamiento térmico	13
5.2.5. Mecanizado 2	13
5.2.6. Roscado	13
5.3. Ensayos a realizar	14
A. Plano Ojal Nuevo	17

Índice de figuras

1. Ojales de baja (izquierda) y alta (derecha) resistencia	3
2. Preparación de la pieza	4
3. Observación	5
4. Ataque	5
5. Micrografías del núcleo a distintas magnificaciones	6
6. Micrografías de la zona de transición a distintas magnificaciones	7
7. Micrografías de la superficie a distintas magnificaciones	7
8. Perfil de microdureza superficial	8
9. Proceso de fabricación del ojal	14

Índice de tablas

1. Tabla composición química	9
2. Requisitos de resistencia a la rotura	10

3.	Propiedades mecánicas	10
4.	Composición química acero C15E	11
5.	Composición química acero SAE 1045	12

1. Introducción

1.1. Uso en ingeniería

Un ojal es un sujetador mecánico que consta de un eje roscado y una cabeza que forma un anillo. La aplicación típica de un ojal es ser roscado en la parte superior de una estructura para que una cuerda o cable pueda pasar a través del anillo. Esto puede utilizarse para levantar o asegurar el objeto. Otro uso existente en este tipo de dispositivos es para transporte, funcionando como conexión entre la fuerza impulsora y el dispositivo impulsado.

Según su resistencia, variará su diseño y conformado:

- Los ojales de **baja resistencia** suelen formarse a partir de una barra del diámetro correspondiente al tamaño nominal de la rosca. La cabeza se dobla simplemente en forma de anillo a partir de una sección no roscada de la barra. Estos tipos de ojales pueden soportar cargas axiales de manera razonable, pero no deben usarse para cargas fuera del eje. La apertura donde se cierra el extremo de la barra para completar el anillo puede ser soldada, aunque probablemente seguirá siendo un punto potencial de falla.
- Los ojales de **alta resistencia** tienen cabezas forjadas que normalmente incluyen un hombro sustancial. Este hombro les permite soportar cargas significativas fuera del eje.



Figura 1: Ojales de baja (izquierda) y alta (derecha) resistencia

Los ojales poseen un alto nivel de accidentes como resultado de un mal uso.

1.2. Objetivos del informe

En este informe, analizaremos la falla de un ojal forjado de transporte. Se detalla a continuación lo que se realizará en el informe:

- Se analizará la falla del dispositivo
- Se estudiará el marco normativo existente internacionalmente para este tipo de dispositivos.
- Se propondrá un proceso de fabricación normalizado para estos ojales de tal manera de evitar la falla.

2. Estudio de Falla

2.1. Preparación

Se cortó una rodaja de sección del material para realizar 2 tareas:

- Ataque y observación macroscópica
- Inclusión y observación microscópica



(a) Corte en sierra



(b) Corte con sierra de corte metalográfico



(c) Mg. Ing. Ariel Perotti realizando el corte de la pieza



(d) Pieza cortada

Figura 2: Preparación de la pieza

2.2. Estudio macrográfico

2.2.1. Observación

Macroscópicamente se puede observar perdida de material debido a un gran desgaste en la zona interior del orificio y en zona superior de sujeción, mayoritariamente en la zona sin templar. Observando la imagen 4a, en el lado derecho se ve una pequeña zona opaca en el borde y en el resto se denota una fractura brillante. Esto podría indicar un comienzo de fractura dúctil seguido por uno frágil. Las líneas que se observan son llamadas líneas de chevron que indican el inicio y dirección de propagación de la fractura, son ocasionadas por una fractura frágil o por fatiga.

2.2.2. Dureza

Se realizó un ensayo de dureza rockwell C en tres puntos diferentes a lo largo de la circunferencia del ojal. Se midió la dureza en la zona desgastada, en la zona cercana a la rotura y en un punto medio. Siendo respectivamente los valores 48 HRC, 46 HRC y 60 HRC.



(a) Rotura



(b) Desgaste



(c) Ensayo Rockwell C

Figura 3: Observación

2.2.3. Ataque

Uno de los extremos del ojal fue lijado y atacado con nital. Esto revelo que la zona interior del ojal poseía un color mas oscuro que el resto por lo que se concluyo que había sido templado mediante por inducción.



(a) Ing. Pablo Francia realizando el lijado de la pieza



(b) Pieza atacada

Figura 4: Ataque

2.3. Estudio micrográfico

2.3.1. Observación

Núcleo Se observó $\%F = 50\%$ y $\%P = 50\%$, indicando un porcentaje de carbono de aproximadamente $\%C = 0,40 - 0,45\%$. No se observó perlita resuelta en x400. En x800 se resuelve aproximadamente en un 50%.

Se estimó un tamaño de grano ASTM 7.

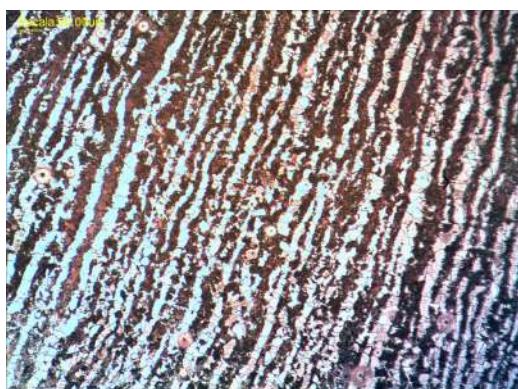
Se observó un severo banding en el material, resultado de las inclusiones de sulfuro de manganeso (MnS) presentes.

Transición Se observaron zonas de F + Ms. Se observó Troostita, indicando una velocidad de enfriamiento menor.

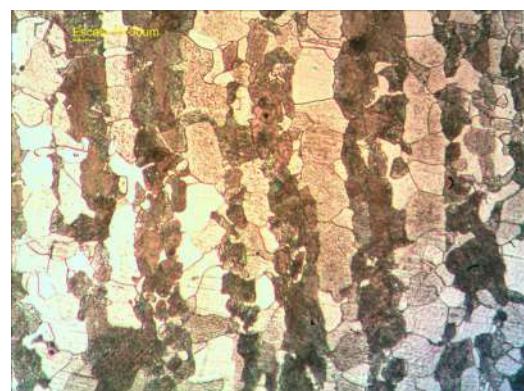
Superficie Se observó Ms de medio carbono. Se observó banding de martensita. Se observan algunas lagunas de bainita (color más oscuro).

Micrografías Se muestran a continuación las micrografías tomadas sobre el material. (Figuras 5, 6, 7)

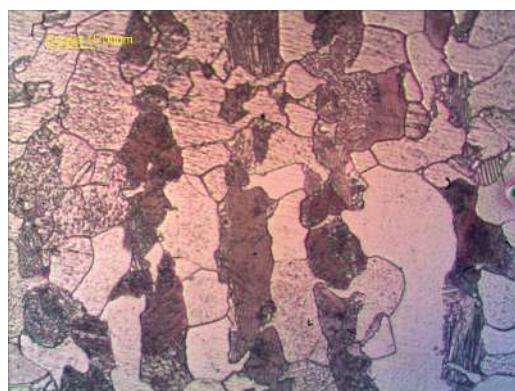
Se utilizó un microscopio metalográfico IM 7000.



(a) x100



(b) x400

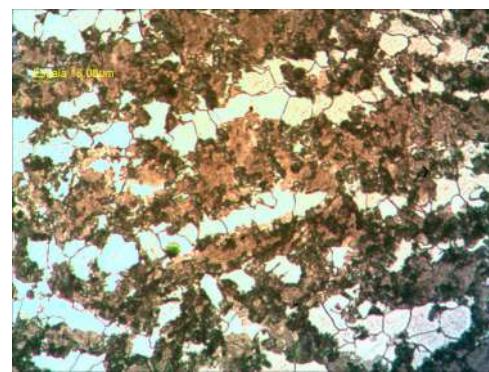


(c) x800

Figura 5: Micrografías del núcleo a distintas magnificaciones



(a) x100



(b) x400

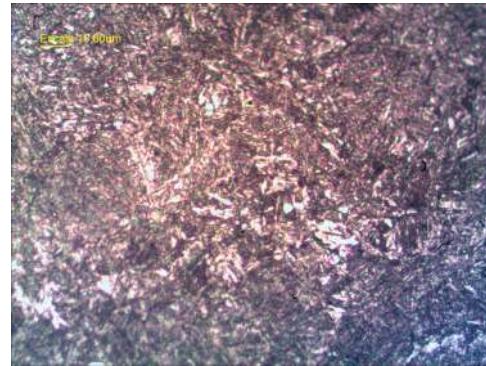
Figura 6: Micrografías de la zona de transición a distintas magnificaciones



(a) x100



(b) x400



(c) x800

Figura 7: Micrografías de la superficie a distintas magnificaciones

2.3.2. Microdureza

Se realizó un perfil de microdureza en la superficie. Se utilizó un Microdurómetro HMV, empleandose un indentador Vickers.

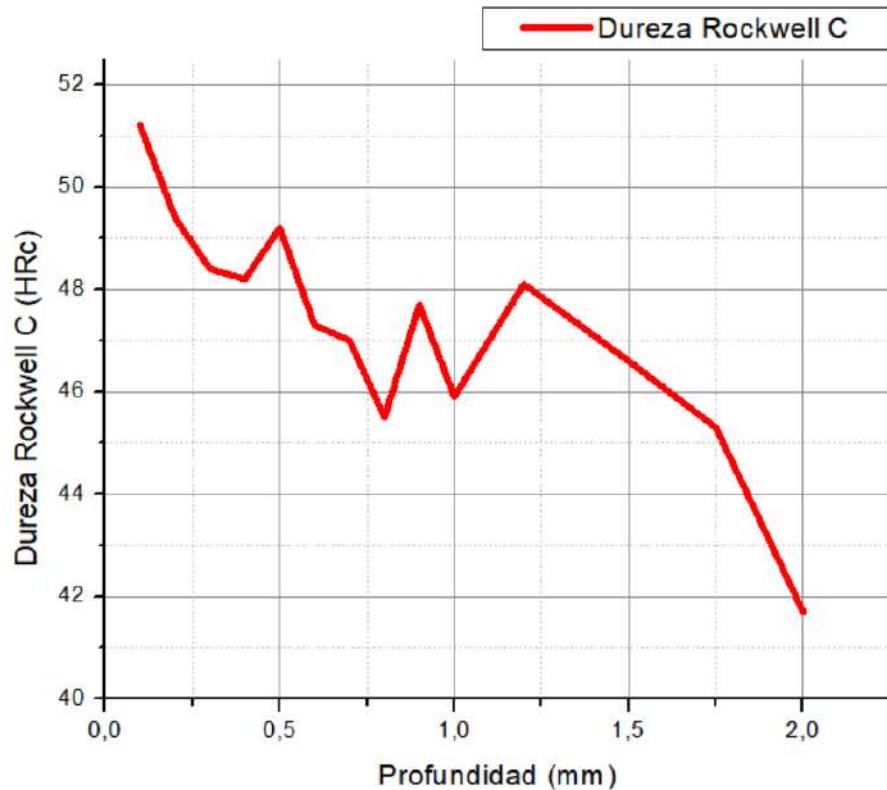


Figura 8: Perfil de microdureza superficial

Se obtuvo una profundidad de capa efectiva $p_{ef} = 0,1 - 0,2 \text{ mm}$. Realizando una interpolación lineal, se estimó $p_{ef} = 0,17 \text{ mm}$.

Se notó una gran variabilidad de los datos obtenidos. Se estimó que este efecto es producto del antes nombrado banding de martensita, el cual varía el porcentaje de carbono de esta y con ello la dureza.

3. Discusión

Con todo lo estudiado anteriormente, se concluyó que la falla fue debida a una sobrecarga, la cual combinada con el desgaste (producto de la falta de dureza en la zona de contacto sin templar) que disminuyó la sección provocó la decohesión del material.

4. Marcos normativos existentes

La normalización de ojales y de distintos elementos promueve la creación de un idioma técnico común a todas las organizaciones y es una contribución importante para la libre circulación de los productos industriales. Además, tanto en el mercado local como a nivel global, fomenta la competitividad empresarial, principalmente en el ámbito de las nuevas tecnologías.

Se estudiarán a continuación distintas normas y calificaciones referidas a ojales de aceros al carbono. A saber:

- **ASME B18-15 / ASTM A489-18** (Norma Americana)
- **DIN 580: 2010/09** (Norma Alemana)

4.1. ASME B18-15 / ASTM A489-18 [1]

Esta especificación cubre los requisitos químicos, físicos y mecánicos para ojales roscados de acero al carbono forjado destinados a la elevación por encima de la cabeza.

- Esta norma internacional fue desarrollada de acuerdo con los principios internacionalmente reconocidos sobre estandarización establecidos en la Decisión sobre Principios para el Desarrollo de Normas Internacionales, Guías y Recomendaciones emitida por el Comité de Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC) de la Organización Mundial del Comercio.

Elemento	Heat Analysis	Product Analysis
Carbono	0.48 max	0.51 max
Manganoso	1.00 max	1.06 max
Fósforo	0.040 max	0.048 max
Azufre	0.050 max	0.058 max
Silicio	0.15–0.35	0.12–0.38

Tabla 1: Tabla composición química

- Los análisis químicos deben realizarse de acuerdo con la norma A751.
 - **4.1 Proceso de Fusión:** El acero se fabricará mediante el proceso de hogar abierto, oxígeno básico o horno eléctrico y se hará con una práctica de grano fino.
 - **4.2 Forjado:** Los ojales se forjarán sin soldaduras.
 - **4.3 Tratamiento Térmico:** Los ojales se templarán y se someterán a un tratamiento térmico antes de mecanizar el extremo roscado.
 - **4.4 Mecanizado:** Los ojales se mecanizarán después de la operación de temple y revenido.
 - **4.5 Roscas:** Los ojales se roscarán. Las rosas pueden ser laminadas, cortadas o rectificadas.
 - **Propiedades mecánicas:** Los ojales de elevación deberán soportar la carga especificada en la Tabla 2
 - **Prueba de resistencia:** Los ojales de elevación deberán cumplir prueba de resistencia especificada en la Tabla 2.
- Método de ensayo:** La carga de prueba se aplicará atornillando el ojal hasta el total de la rosca en un bloque asegurado en una de las mordazas de la máquina de prueba y la otra mordaza se sostiene mediante un mandril que pasa a través del ojo. El mandril redondo tendrá un diámetro igual a la mitad del diámetro interior del ojo. La carga de prueba se aplicará a una velocidad máxima de 0.12 pulgadas por minuto, se mantendrá durante 10 segundos y luego se liberará. La deformación permanente del ojal que excede 0.01 pulgadas entre las marcas de punzón constituye una falla.

Tamaño nominal de la rosca	Tamaño de la rosca	Área de tensión	Resistencia a la rotura, mín.
1/4	1/4 –20	0.0318 in ²	2 100 lbf
5/16	5/16 –18	0.0524 in ²	3 400 lbf
3/8	3/8 –16	0.0775 in ²	5 000 lbf
7/16	7/16 –14	0.1063 in ²	6 900 lbf
1/2	1/2 –13	0.1419 in ²	9 200 lbf
9/16	9/16 –12	0.182 in ²	11 830 lbf
5/8	5/8 –11	0.226 in ²	14 700 lbf
3/4	3/4 –10	0.334 in ²	21 700 lbf
7/8	7/8 –9	0.462 in ²	30 000 lbf
1	1 –8	0.606 in ²	39 400 lbf
1 1/8	1 1/8 –7	0.763 in ²	49 600 lbf
1 1/4	1 1/4 –7	0.969 in ²	63 000 lbf
1 1/2	1 1/2 –6	1.405 in ²	91 300 lbf
1 3/4	1 3/4 –5	1.90 in ²	123 500 lbf
2	2–4 1/2	2.50 in ²	162 500 lbf
2 1/2	2 1/2 –4	4.00 in ²	260 000 lbf

Tabla 2: Requisitos de resistencia a la rotura

Propiedad	Valor
Resistencia a la tracción	65 000–90 000 psi
Límite de elasticidad	30 000 psi
Elongación en 4D, mín.	30 %
Reducción de área, mín.	60 %

Tabla 3: Propiedades mecánicas

Prueba de tracción a la rotura: Una muestra mecanizada de un perno de ojo terminado deberá cumplir con los requisitos de tracción especificados en la Tabla 3.

Método de ensayo: Se indica el mismo procedimiento que en la prueba de resistencia solo que la fractura del ojal por debajo de la resistencia a la rotura especificada o el desgarro de las roscas constituye una falla.

- **Inspección y Garantía de Calidad:** A menos que se especifique lo contrario, la aceptabilidad de los ojales de elevación se determinará de acuerdo con la norma ASME B18.18.1M.
- **Marcado:** Las marcas de los ojales de elevación deben incluir la identificación del fabricante, el tamaño de la rosca de la pieza y la clasificación. Todas las marcas deben estar en relieve.
- **Certificación de Rendimiento:** A menos que se especifique lo contrario, la carga de prueba y la carga mínima de rotura especificadas en la Tabla 2 se inspeccionarán de acuerdo con el nivel B de la norma ASME B18.18.2M.
- **Características Dimensionales:** A menos que se especifique lo contrario, las siguientes características dimensionales designadas se inspeccionarán de acuerdo con la norma ASME B 18.18.2M.

4.2. DIN 580: 2010/09 [2]

Esta norma es aplicada a ojales de elevación. Sus especificaciones son las siguientes:

- **Requerimientos generales:** Conforme DIN EN 10254
- **Material:** Acero C15E con $\%Al = 0,025 - 0,050\%$, conforme DIN EN 10084.

Aleante	C	Si	Mn	P	S
Porcentaje (%)	0.12 - 0.18	0.40 máx.	0.30 - 0.60	0.035 máx.	0.035 máx.

Tabla 4: Composición química acero C15E

- **Tratamiento térmico:** Normalizado, con tamaño de grano austenítico más fino que 5, conforme DIN EN ISO 643 y DIN EN 10084. Dureza post tratamiento: 95-150 HB.
- **Proceso:** Forjado en una pieza, conforme DIN EN 10254. Las tolerancias de dimensiones sin maquinar o aletas residuales han de ser especificadas conforme DIN EN 2043-1.
- **Terminación superficial:** Tal cual procesado. De hacerse una deposición electroquímica, se aplica norma DIN EN ISO 4042. De hacerse una galvanización por inmersión en caliente, se aplica norma DIN EN ISO 10684.
- **Discontinuidades superficiales:** Conforme DIN EN 26157-3
- **Inspección de aceptación:** Conforme DIN EN ISO 3269
- **Marcado:** Marca de la empresa manufacturera, grado del material, capacidad de trabajo axial, flecha indicando dirección axial.
- **Ensayos:** Axial y a 90°

5. Propuesta de solución

Se realizará el ojal de acuerdo a la norma ASME B18-15 / ASTM A489-18. Se elige esta norma al realizar el ojal de una forma más robusta, realizando un temple a la pieza lo que ayuda contra la resistencia al desgaste existente en este caso.

5.1. Material

Se utilizará un acero SAE 1045 de grano ASTM 9. Este posee la composición química de la Tabla 5, cumpliendo con lo requerido por la norma estipulada. Además, es un acero de gran uso comercial pudiendo conseguirse fácilmente en barras de 6 metros.

Aleante	C	Si	Mn	P	S
Porcentaje (%)	0.43 - 0.50	0.40 máx.	0.60 - 0.90	0.035 máx.	0.035 máx.

Tabla 5: Composición química acero SAE 1045

5.2. Procedimiento

5.2.1. Material Inicial [3]

Se tomará una barra redonda inicial de $\phi 2 \frac{1}{4}'' \times 500$. (Figura 9a)

5.2.2. Mecanizado 1

Se mecanizará la barra de manera de obtener las medidas requeridas. (Figura 9b)

5.2.3. Forjado [4][5]

Calentamiento Se calentará el material hasta una temperatura de aproximadamente 1000-1200 °C. Este será realizado utilizando un inductor en la sección de mayor diámetro.

Recalcado de pre-forma [6] Se realizará un recalcado de una sección de la pieza para realizar una pre-forma (Figura 9c). Los valores a tomar serán los siguientes:

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ $h_i = 200mm$ ■ $h_f = 140mm$ ■ $\phi = 57,15mm$ | <ul style="list-style-type: none"> ■ $r_f = \frac{h_i}{h_f} = 1,43$ ■ $r_p = \frac{\phi}{h_i} = 3,50$ |
|---|---|

Para realizar dicho recalcado se utilizará una prensa. La fuerza que deba realizar dicha prensa vendrá dada por:

$$P = \frac{V_c R_d \ln \frac{h_i}{h_f}}{\Delta h}$$

Dado que

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ $h_i = 200mm$ ■ $h_f = 140mm$ ■ $\Delta h = 60mm$ | <ul style="list-style-type: none"> ■ $V_c = \pi \frac{\phi^2}{4} h_i = 513000 mm^3$ ■ $v = \frac{d\Phi}{dt} = 6\%$ ■ $R_d = 5 \frac{kgf}{mm^2}$ |
|--|---|

Se obtiene entonces:

$$P = \frac{(513000 \text{ mm}^3) (5 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}) \ln\left(\frac{200 \text{ mm}}{140 \text{ mm}}\right)}{60 \text{ mm}} = 15248 \text{ kgf}$$

Por lo que se utilizará una prensa de unas 20 toneladas

Estampado de pre-forma Se realizará un estampado de pre-forma. Este mismo se realiza para poder realizar el estampado final de forma de manera óptima.

Estampado de forma Se realizará el estampado final de forma consiguiendo el diseño deseado (Figura 9d).

Desaletado Se eliminarán las aletas producto del estampado (Figura 9e).

Punzonado Se eliminará el material del agujero interior utilizando un punzón. Este debe ser capaz de producir la tolerancia definida en plano (Figura 9f).

5.2.4. Tratamiento térmico

Se realizará un tratamiento de temple y revenido a toda la pieza (Figura 9g). A continuación se detalla el proceso.

- Precalentamiento: Se realizará un precalentamiento a 500°C. Se utilizará un horno de circulación de aire. [7]
- Calentamiento y mantenimiento: Se calentará la pieza hasta los 825°C.

Para el cálculo de su tiempo de mantenimiento, se tuvo en cuenta [8]

- *Factor de forma*: $K = 2,0$ (considerandolo como tubo corto a la sección del ojal)
- $S = 43 \text{ mm}$
- $S \times K = 86 \text{ mm}$

Se llegó entonces a un tiempo de mantenimiento de 84 minutos.

- Enfriamiento: El enfriamiento será realizado en agua o salmuera. Su dureza post - enfriamiento será de aproximadamente 58 HRc [9]
- Revenido: Se calentará la pieza a una temperatura de 200-300°C y se la mantendrá por una hora. Su dureza post - revenido será de aproximadamente 48-54 HRc. [9]

5.2.5. Mecanizado 2

Se llevará el material a las medidas especificadas por plano (Figura 9h).

5.2.6. Roscado

Se realizará el roscado de la pieza según plano (Figura 9i).

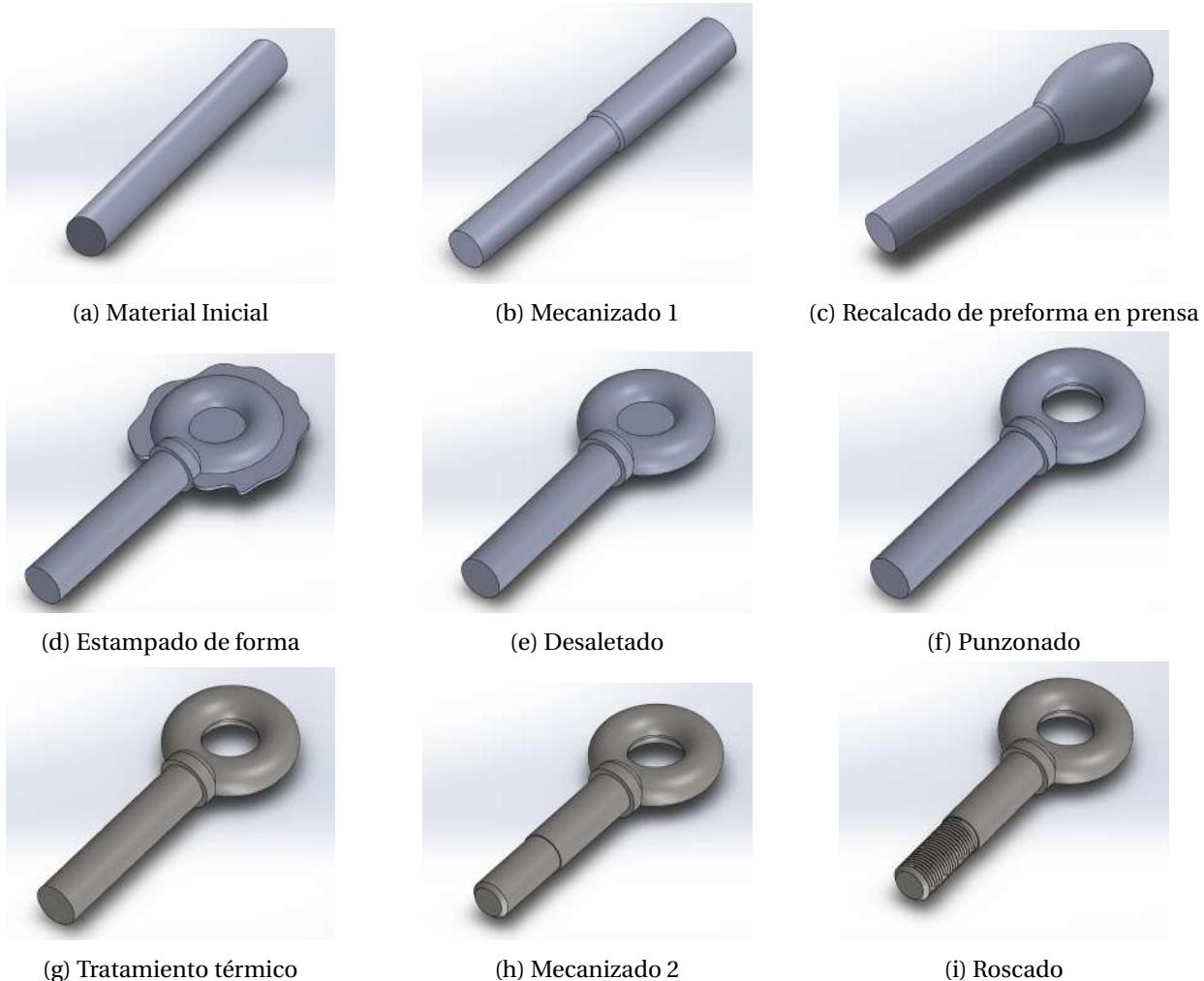


Figura 9: Proceso de fabricación del ojal

5.3. Ensayos a realizar

Prueba de resistencia y Prueba de tracción a la rotura, según ASME B18-15 / ASTM A489-18

Referencias

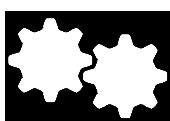
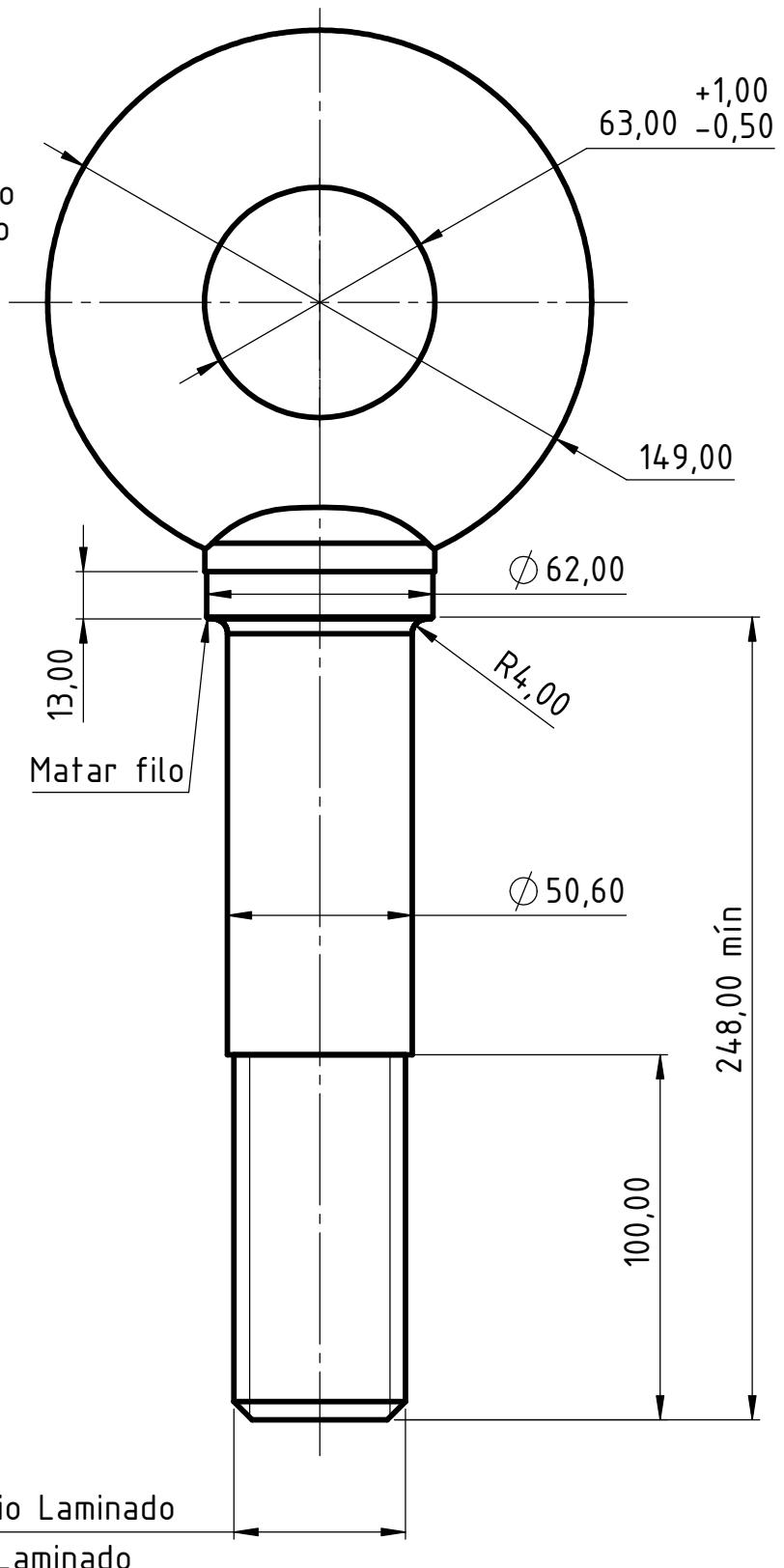
- [1] ASTM, Astm a489-18, ASTM (2018) 1–2.
- [2] DIN, Din 580, Deutsches Institut für Normung (2010) 1–13.
- [3] A. M. S.R.L, Catálogo de redondos sae 1045, ACEROS MIGUEL S.R.L (2017).
- [4] A. Perotti, Forjado - generalidades, EIM (2023) 2–3.
- [5] A. Perotti, Teoría de forja, EIM (2023).
- [6] Estampado en caliente de los metales, Nociones básicas sobre la elaboracion plastica en caliente.
- [7] A. Perotti, Procesos de temple, EIM (2021) 1.
- [8] A. Perotti, Procesos de temple, EIM (2021) 2–3.
- [9] EUROPER, Ficha técnica sae 1045, EUROPER (2019) 1–5.

ANEXO

OJAL

INFORMACIÓN DE PROCESOS:

1. Mecanizado 1
2. Forjado
3. Desalegado / Punzonado
4. Temple total y revenido
5. Mecanizado 2
6. Roscado



TyUdM
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

TITULO
OJAL NUEVO

DIBUJO	FECHA	FIRMA	NOMBRE: BENJAMIN ARIAS LORENZO FRANCISCA	ESCALA GENERAL 1:2	TP PIEZA
06/02/2025	A.B / F.L		L:A-4518/7 - F-3643/9		
APROBO					