UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE MECÁNICA

PORTADA

TEMA:

“Diseño y construcción de una llave de ajuste para tubería redonda”

Trabajo de titulación, Modalidad proyecto técnico, presentado previo a la obtención del Título de Cuarto Nivel de Ingeniero Mecánico, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato.

AUTOR: Anthony Ricardo Tobar Castillo

TUTOR: Ing.Mg. Christian Byron Castro Miniguano

AMBATO - ECUADOR

Junio - 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA LLAVE DE AJUSTE PARA TUBERÍA REDONDA"**, elaborado por el estudiante Tobar Castillo Anthony Ricardo, portador de la cédula de identidad: C.C. 1805434998 estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo de titulación, bajo la modalidad proyecto técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, junio 2025

Ing. Christian Byron Castro Miniguano, Mg.

C.C.: 1803441128

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Tobar Castillo Anthony Ricardo, con cédula de ciudadanía: C.C.: 1805434998, declaro que los criterios emitidos en el trabajo de titulación, modalidad de Proyecto Técnico bajo el tema: **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA LLAVE DE AJUSTE PARA TUBERÍA REDONDA"**, así como también los contenidos presentados, ideas, análisis, síntesis de datos y conclusiones, son de exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, junio 2025



Tobar Castillo Anthony Ricardo

C.C.: 1805434998

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Yo, Tobar Castillo Anthony Ricardo, con cédula de ciudadanía C.C.: 1805434998, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA LLAVE DE AJUSTE PARA TUBERÍA REDONDA"**, autorizamos a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible con fines netamente académicos para su lectura consulta y procesos de investigación.

Cedo una licencia gratuita e intransferible, así como los derechos patrimoniales de nuestro Trabajo de Titulación a favor de la Universidad Técnica de Ambato con fines de difusión pública; y se realice su publicación en el repositorio institucional de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, siempre y cuando no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, junio 2025



Tobar Castillo Anthony Ricardo

C.C.: 1805434998

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado del Trabajo de Titulación, Modalidad Proyecto Técnico, realizado por el estudiante Tobar Castillo Anthony Ricardo, de la carrera de Mecánica, bajo el tema: **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA LLAVE DE AJUSTE PARA TUBERÍA REDONDA"**, de conformidad con el Reglamento para la Titulación de Grado para obtener el título terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato, una vez revisado y calificado.

Ing. Diego Fernando Núñez Núñez
C.C: 1803367729
MIEMBRO CALIFICADOR

Ing. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa
C.C: 1802039485
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con el corazón lleno de gratitud a mi madre, por su presencia constante, por estar siempre pendiente de cada paso que he dado, por su amor incondicional y su fortaleza, que han sido mi refugio y motor. A mi padre, por su apoyo firme.

Extiendo esta dedicatoria a mi familia materna y paterna, a cada uno de mis tíos, tías, primos, por su compañía, por las palabras de aliento y por formar parte esencial de mi camino personal y académico.

A mis amigos María Augusta, Jessica, Alexander, Bryan y Fernanda, gracias por su amistad leal, por estar ahí cuando más los necesitaba, y por hacer más llevaderos los días de esfuerzo.

De manera muy especial, a mis queridos juniors de la JCI Ambato. Gracias por su apoyo constante, por compartir sus conocimientos y por enseñarme, con el ejemplo, el valor del liderazgo y el servicio.

Creo que nada ocurre por casualidad. Todo llega en su momento, por una razón. Vivir con propósito y aprender cada día es, sin duda, el mejor destino posible.

Tobar Castillo Anthony Ricardo

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento al tutor de este trabajo, cuyo acompañamiento, sugerencias y observaciones oportunas fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de esta investigación. Su guía académica y su compromiso fueron clave para mantener la orientación y el rigor necesarios en cada etapa del proceso.

Agradezco también a los ingenieros y maestros que, a lo largo de mi formación, compartieron no solo sus conocimientos técnicos, sino también su visión profesional y ética. Ellos han sido referentes importantes para la construcción de mi criterio académico y vocación.

Extiendo mi gratitud a la Universidad, por brindarme la infraestructura, los recursos y el ambiente adecuado para mi formación. A mis compañeros de estudio, por su colaboración, apoyo mutuo y el compañerismo que hicieron más enriquecedor este camino compartido.

A mi familia y amigos, gracias por su comprensión, paciencia y constante respaldo emocional. Su presencia ha sido esencial para mantener el equilibrio y la motivación necesarios en los momentos más desafiantes.

Cada uno, desde su lugar, ha contribuido de manera significativa a este logro, por lo cual me siento profundamente agradecido.

Tobar Castillo Anthony Ricardo

INDICE DE CONTENIDO

PORTADA i
APROBACIÓN DEL TUTOR ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHOS DE AUTOR iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
INDICE DE TABLAS xi
INDICE DE FIGURAS xii
RESUMEN EJECUTIVO xiv
ABSTRACT xv
CAPITULO 1.- MARCO TEÓRICO 1
1.1 Antecedentes Investigativos 1
1.1.1 Marco Teórico 1
1.1.2. Justificación 2
1.3. Objetivos 2
CAPITULO 2.- METODOLOGÍA 3
2.1. Materiales 3
2.1.1. Materiales y Resistencia Mecánica en Herramientas de ajuste 3
2.2. Ergonomía y Seguridad en el diseño de Herramientas 4
2.2. Métodos 5
2.2.1. Diseño de partes y piezas 6
2.2.2. Construcción de la llave de ajuste 6
2.2.3. Evaluación funcional 6

2.3. Organigrama del proyecto 6
2.4. Diseño de partes y piezas 8
2.4.1. Investigación Preliminar 8
2.4.2. Material de la tubería 8
2.4.3. Torque optimo de conexión 10
2.4.4. Llaves de tubo que existen el mercado 11
CAPITULO 3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN 12
3.1. Datos de los materiales 15
3.1.1. Aplastamiento del pasador 16
3.1.2. Aplastamiento palanca 17
3.1.3. Cortante del pasador/pin 17
3.1.4. Cortante en el borde 18
3.1.5 Cargas que puede soportar el perno 19
3.1.5.1. Corte 19
3.1.5.2. Aplastamiento 20
3.1.6. Diagramas de fuerzas 22
3.1.7. Análisis de esfuerzos usando Von mises 23
3.1.8. Simulación en Software 26
3.2. Construcción de la llave de ajuste 28
3.2.1. Preparación de materiales 28
3.2.2 Fabricación de las mordazas 30
3.2.3 Mecanismo de ajuste 30
3.3. Procedimiento de uso de la herramienta 44
3.4. Evaluación funcional 46
3.4.1 Evaluación de confiabilidad mediante análisis AMFE 50
3.4.2 Comparación de ajuste 51

3.5. Estudio ergonómico de postura 53
3.5.1. Análisis postural mediante el método REBA 54
3.5.2. Análisis postural colocación de herramienta 56
3.5.3. Análisis postural aplicación de fuerza 59
3.6. Costos 63
3.7 Posibles Mejoras 65
CAPÍTULO 4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 67
4.1 Conclusiones 67
4.2 Recomendaciones 68
REFERENCIAS 69
ANEXOS 72

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Pautas de torsión para la configuración de tubos 10
Tabla 2. Dimensiones de llaves existente en el mercado 11
Tabla 3. Propiedades de los materiales..... 13
Tabla 4. Propiedades mecánicas del AISI 1018 13
Tabla 5. Especificaciones SAE para pernos de acero..... 15
Tabla 6. Análisis método REBA, colocación de herramienta 58
Tabla 7. Nivel de riesgo y acción recomendada..... 59
Tabla 8. Análisis método REBA, aplicación de fuerza 62
Tabla 9. Nivel de riesgo y acción recomendada..... 63
Tabla 10. Costo materiales y herramientas..... 65
Tabla 11. Costo total de fabricación 65
Tabla 12. Matriz AMFE de la herramienta..... 72

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de proceso 7
Figura 2. Diseño de la herramienta. 15
Figura 3. Cortante en el borde 18
Figura 4. Diámetro interno y externo de la mordaza. 21
Figura 5. Diagrama de Fuerzas Aplicada a la herramienta 22
Figura 6. Diagrama de momento y cortante 23
Figura 7. Asignación de fuerzas y creación de malla 26
Figura 8. Tensiones Von mises 26
Figura 9. Desplazamientos 27
Figura 10. Deformación unitaria equivalente 27
Figura 11. Factor de seguridad 28
Figura 12. Bloque de acero de transmisión 29
Figura 13. Llave de tubo reutilizada 29
Figura 14. Corte de bloques en sierra de cinta 30
Figura 15. Desbaste y nivelación 31
Figura 16. Trazado de la geometría mordaza derecha 31
Figura 17. Trazado de la geometría mordaza derecha 32
Figura 18. Fresado para dar forma 32
Figura 19. Forma de las mordazas 33
Figura 20. Lijado de superficies 33
Figura 21. Desbaste de pestañas 34
Figura 22. Comparación con el prototipo 34
Figura 23. Preparación de la unión 35
Figura 24. Unión y preparación para torneado 35
Figura 25. Torneado de agujero interior 36
Figura 26. Perforación de agujero pasadores 36
Figura 27. Verificación de los agujeros 37
Figura 28. Modificación del mango de llave convencional 37
Figura 29. Verificación de agujero de unión mordazas-mango 38
Figura 30. Montaje de la herramienta 38
Figura 31. Comprobación de funcionalidad 42

Figura 32. Herramienta con acabados finales 42
Figura 33. Ajuste llave de tubo convencional 43
Figura 34. Prueba de funcionamiento 43
Figura 35. Postura recomendaba para colocación de la herramienta 44
Figura 36. Postura recomendada para la aplicación de fuerza 45
Figura 37. Apertura de la llave 46
Figura 38. Colocación en la tubería 46
Figura 39. Aplicación de fuerza 46
Figura 40. Colocación de grasa 47
Figura 41. Armado de tubería 47
Figura 42. Colocación de grasa 48
Figura 43. Armado de la tubería para su ajuste 48
Figura 44. Colocación de la herramienta 49
Figura 45. Aplicación de fuerza para el ajuste 49
Figura 46. Ajuste de una llave de tubo convencional de 36” 52
Figura 47. Daños en la tubería debido a la llave convencional 52
Figura 48. Ajuste de la llave diseñada 53
Figura 49. No hay presencia de daños en la tubería. 53
Figura 50. Vista frontal 56
Figura 51. Vista Posterior 56
Figura 52. Vista lateral izquierda 57
Figura 53. Vista lateral derecha 57
Figura 54. Vista Superior 58
Figura 55. Vista Frontal 60
Figura 56. Vista Posterior 60
Figura 57. Vista lateral izquierda 61
Figura 58. Vista lateral derecha 61
Figura 59. Vista Superior 62

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de investigación aborda una problemática recurrente en industrias como la petrolera: el desgaste prematuro y los daños generados por las herramientas convencionales de ajuste de tuberías. En respuesta, se diseñó y construyó una llave de ajuste ergonómica y funcional para tuberías redondas de 3 ½ pulgadas, con el objetivo de mejorar la eficiencia del apriete sin comprometer la integridad del material.

El estudio se enmarca en la línea de investigación de Diseño Mecánico y Tecnología Aplicada, y destaca por su pertinencia ante los altos costos operativos derivados de fallas en herramientas tradicionales. La metodología contempló la selección de materiales, simulaciones estructurales utilizando el criterio de Von Mises, construcción con aceros AISI 1018 y 4140, aplicación de tratamientos superficiales (fosfatado) y evaluación ergonómica mediante el método REBA.

La propuesta innovadora radica en el diseño de mordazas envolventes que distribuyen de forma uniforme la presión sobre la tubería, minimizando el riesgo de daño superficial y mejorando la durabilidad de la herramienta. Su efectividad fue validada mediante pruebas funcionales y comparativas, en las que se evidenció una reducción en el daño a la tubería en comparación con herramientas tradicionales.

Este desarrollo representa un aporte significativo para la seguridad operativa, la reducción de costos de mantenimiento y la mejora en las condiciones laborales del operario.

PALABRAS CLAVE: DISEÑO MECÁNICO, HERRAMIENTA DE AJUSTE, ERGONOMÍA INDUSTRIAL, ANÁLISIS DE ESFUERZOS, TUBERÍA REDONDA.

ABSTRACT

This research addresses a recurring issue in industries such as the oil sector: premature wear and damage caused by conventional pipe adjustment tools. In response, an ergonomic and functional adjustment wrench was designed and built for 3½-inch round pipes, aiming to improve tightening efficiency without compromising the material's integrity.

The study falls within the research line of Mechanical Design and Applied Technology and is highly relevant given the high operational costs associated with traditional tool failures. The methodology involved material selection, structural simulations based on the Von Mises criterion, construction using AISI 1018 and 4140 steels, surface treatment through phosphating, and ergonomic assessment using the REBA method.

The innovative aspect lies in the design of wrap-around jaws that distribute pressure evenly along the pipe, minimizing the risk of surface damage and improving the tool's durability. Its effectiveness was validated through functional and comparative testing, showing a reduction in pipe damage compared to traditional tools.

This development represents a significant contribution to operational safety, maintenance cost reduction, and improved working conditions for operators.

KEYWORDS: MECHANICAL DESIGN, ADJUSTMENT TOOL, INDUSTRIAL ERGONOMICS, STRESS ANALYSIS, ROUND PIPE.

CAPITULO 1.- MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

1.1.1 Marco Teórico

El diseño de herramientas ha jugado un papel fundamental en la evolución de la producción industrial. Las primeras herramientas fueron creadas para mecanizar materiales duros, y con el tiempo, el uso de aceros y metales duros ha permitido fabricar herramientas más eficientes y resistentes. La introducción de tecnologías como el diseño asistido por computadora (CAD) ha facilitado el desarrollo de herramientas industriales con mayor precisión y durabilidad, mejorando así la productividad en diversas industrias [1]. Según La Cruz y Casariego [2], las tecnologías emergentes no solo han revolucionado el proceso de diseño, sino que también han optimizado la funcionalidad de las herramientas industriales para satisfacer las demandas actuales.

Las herramientas de ajuste, como las llaves de tubo, requieren materiales que ofrezcan una alta resistencia mecánica para soportar cargas constantes y repetitivas. El acero es el material más común debido a su durabilidad y resistencia a la fatiga. En aplicaciones donde se manipulan tuberías, es fundamental que los materiales no solo ofrezcan resistencia, sino también flexibilidad para adaptarse a diferentes diámetros sin comprometer la funcionalidad. La resistencia al desgaste es otro aspecto crucial, ya que las herramientas están sujetas a fricción constante durante su uso [1].

En la industria, las herramientas que requieren fuerza física prolongada deben estar diseñadas con un enfoque ergonómico que minimice la tensión en las muñecas y manos del usuario. La seguridad también juega un papel importante; los materiales deben proporcionar un buen agarre, especialmente en entornos de trabajo húmedos o con grasa, para evitar accidentes [3]. Según señala Rivas [3], la correcta adaptación del diseño al usuario no solo mejora la seguridad, sino que aumenta la productividad al permitir un uso más cómodo y eficiente.

A lo largo del tiempo, la evolución del diseño de herramientas ha respondido a los desafíos específicos de cada contexto industrial, priorizando la precisión, durabilidad y adaptabilidad. En particular, las llaves de tubo tradicionales no

siempre logran un ajuste eficiente sin causar daños a la superficie de las tuberías. Esta brecha entre la tecnología disponible y las necesidades prácticas del operario evidencia la urgencia de desarrollar soluciones más especializadas.

1.1.2. Justificación

En industrias como la petrolera, donde se emplean frecuentemente llaves de tubo para ajustar conexiones roscadas, se ha observado un desgaste acelerado de las herramientas y daños recurrentes en las tuberías.

El constante reemplazo de estas, debido a la falta de repuestos específicos, incrementa significativamente los costos operativos, ya que implica la compra de herramientas completas en lugar de sustituir solo las partes desgastadas, además el daño que se causa a las tuberías y herramientas debido al mal ajuste o desgaste de las llaves de tubo, puede afectar seriamente la seguridad de las operaciones, aumentando el riesgo de fugas, micro corrosiones, fallos en el sistema, daños de herramientas y costos asociados a reparaciones y pérdidas productivas.

Por ello, la propuesta de diseñar y construir una llave de ajuste para tubería redonda, que minimice el desgaste de las muelas y garantice un ajuste preciso sin dañar las superficies. Este diseño no solo proporcionará una mayor durabilidad a la herramienta, sino que también reducirá el impacto económico y ambiental asociado a los daños en tuberías y accesorios redondos.

1.3. Objetivos

Objetivo General:

- Diseño y construcción de una llave de ajuste para tubería redonda**.**

Objetivos Específicos:

- Diseñar las partes y piezas de una llave de ajuste para tubería, asegurando que cada componente cumpla con los requisitos de durabilidad, precisión y ergonomía.
- Construir la llave de ajuste utilizando materiales seleccionados para maximizar la resistencia y minimizar el desgaste y ensamblar todas las partes diseñadas en un producto funcional.
- Evaluar el elemento funcional de la llave de pruebas prácticas y recopilar retroalimentación para posibles mejoras.

CAPITULO 2.- METODOLOGÍA

2.1. Materiales

2.1.1. Materiales y Resistencia Mecánica en Llaves de ajuste

Los materiales utilizados en herramientas de ajuste deben tener una alta resistencia mecánica, con el objetivo de soportar esfuerzos repetitivos y condiciones de uso industrial. El acero es el material más comúnmente utilizado para herramientas debido a su alta resistencia a la tracción y compresión. En particular, el acero al carbono y el acero de baja aleación ofrecen un equilibrio entre durabilidad y maleabilidad, permitiendo que las herramientas mantengan su forma sin deformarse bajo condiciones de alto estrés [4].

Además, el estudio de la resistencia de materiales es esencial para diseñar herramientas capaces de soportar fuerzas significativas sin sufrir fallas estructurales. Los ensayos de tracción y torsión son métodos clave utilizados para evaluar la capacidad del material de la herramienta para resistir estas fuerzas. En el caso de una llave de ajuste, es vital que el material utilizado en las mordazas sea lo suficientemente duro para evitar el desgaste rápido, pero también lo suficientemente flexible para adaptarse a diferentes diámetros de tubería sin perder funcionalidad [4].

Por otro lado, se enfatiza que la torsión uniforme es un factor crítico en el diseño de herramientas para tuberías redondas. Esto implica que la herramienta debe distribuir las fuerzas aplicadas de manera uniforme a lo largo de su estructura para evitar puntos de falla. El acero de alta resistencia y las aleaciones especiales, como el acero inoxidable endurecido, se seleccionan para maximizar la vida útil de la herramienta, proporcionando resistencia a la corrosión y fatiga mecánica [4].

Materiales previstos para la fabricación de la herramienta

Acero al carbono de bajo contenido de carbono (0.15%-0.30%C)

ASTM A36 o SAE 1018

Características:

- Buena ductilidad y facilidad para el mecanizado.
- Adecuado para componentes secundarios que no están sometidos a fuerzas

extremas.

- Usos: Partes del mango o componentes no críticos

Acero al carbono de medio contenido de carbono (0.30%-0.60%C)

SAE 1045 o AISI 4140 (este último es un acero al carbono con aleaciones adicionales como cromo y molibdeno).

Características:

- Excelente resistencia y dureza tras el tratamiento térmico.
- Mayor resistencia al desgaste que los aceros de bajo carbono

Usos: Cuerpo principal de la llave de ajuste y mordazas, donde se requiere alta resistencia mecánica,

Acero al carbono de alto contenido de carbono (0.60%-1%C)

AISI 1095

Características

- Muy alta resistencia al desgaste y dureza tras tratamientos como el templado y revenido.
- Menor ductilidad, por lo que puede ser menos adecuado para elementos que necesitan soportar deformaciones.

Usos: Mordazas reemplazables o dientes de agarre.

El SAE 1045 o el AISI 4140 son excelentes opciones para la llave de ajuste, ya que combinan buena resistencia mecánica y dureza tras tratamientos térmicos

Acero de transmisión

AISI 1018

- Alta resistencia a la tracción, torsión y flexión
- Facilidad de mecanizado

Usos: Mordazas

2.2. Ergonomía y Seguridad en el diseño de Herramientas

En el diseño y construcción de llaves de ajuste, como las llaves de tubo, la ergonomía y la seguridad son fundamentales para garantizar la eficiencia operativa

y la protección del usuario. La ergonomía busca adaptar la herramienta a las características físicas del operario, minimizando el riesgo de lesiones y fatiga. Además, la seguridad se asegura al utilizar materiales que proporcionen un buen agarre y protejan al trabajador de vibraciones, golpes y otros riesgos presentes en el entorno industrial. Estos factores son esenciales para garantizar el éxito en su implementación.

- **Ergonomía en el diseño de herramientas**: Para minimizar el riesgo de lesiones, las herramientas deben adaptarse a las características antropométricas del usuario. Las dimensiones, como el diámetro del mango, deben permitir un agarre adecuado, preferiblemente entre 32-51 mm para herramientas de fuerza, como llaves de ajuste. Además, se recomienda evitar mangos lisos o con acanaladuras que puedan provocar presión excesiva en la mano [5].
- **Postura y biomecánica**: El diseño de herramientas debe permitir posturas neutrales del cuerpo, minimizando la flexión o extensión excesiva de la muñeca. En el caso de llaves de ajuste, la posición de la mano y el antebrazo es crucial para evitar lesiones como el síndrome del túnel carpiano. Un agarre mal diseñado puede aumentar la compresión en las muñecas, lo que puede llevar a fatiga muscular y disminución de la eficiencia [5].
- **Seguridad**: Los materiales de las herramientas deben proporcionar un buen agarre, especialmente en condiciones adversas (como humedad o sudoración). Mangos de goma o espuma pueden aumentar el coeficiente de fricción, mejorando la seguridad durante su uso. Además, para prevenir accidentes, el diseño debe considerar la prevención de lesiones por golpes, proyecciones de partículas, o exposición a vibraciones, adaptando las herramientas a las características del entorno de trabajo [5].

2.2. Métodos

Este proyecto sigue una metodología técnica que asegura la consecución de los objetivos planteados:

2.2.1. Diseño de partes y piezas

- Procedimiento: Se inició con un análisis detallado de las solicitaciones mecánicas esperadas en la herramienta de ajuste: esfuerzos de tensión, compresión, torsión y corte. Estos esfuerzos se distribuyeron según la geometría propuesta, evaluando su comportamiento mediante simulaciones y métodos analíticos. La validación del diseño consideró como criterios de aceptación el cumplimiento de un factor de seguridad mínimo (F.S. $\geq$ 2), aplicables al diseño de conexiones mecánicas sometidas a carga manual. Se documentó cada fase del diseño mediante diagramas de flujo. La herramienta fue modelada en software CAD y posteriormente sometida a análisis estructural por elementos finitos (FEM).

2.2.2. Construcción de la llave de ajuste

- Procedimiento: El diseño se llevará a la fabricación mediante máquinas, utilizando los materiales seleccionados. Cada pieza será fabricada y luego ensamblada, verificando que los mecanismos de ajuste funcionen correctamente y que se logre el objetivo de durabilidad.

2.2.3. Evaluación funcional

- Procedimiento: La llave de ajuste será sometida a pruebas prácticas, se evaluará su capacidad de ajuste en tuberías del diámetro propuesto y su resistencia a la fatiga mecánica. También se realizarán estudios ergonómicos para medir el confort en el manejo de la herramienta.
- Recopilación de datos: Se obtendrá retroalimentación de los operarios sobre el desempeño de la herramienta, la cual será utilizada para identificar áreas de mejora en el diseño.

2.3. Organigrama del proyecto

El siguiente organigrama ilustra el flujo de actividades durante el desarrollo del proyecto:

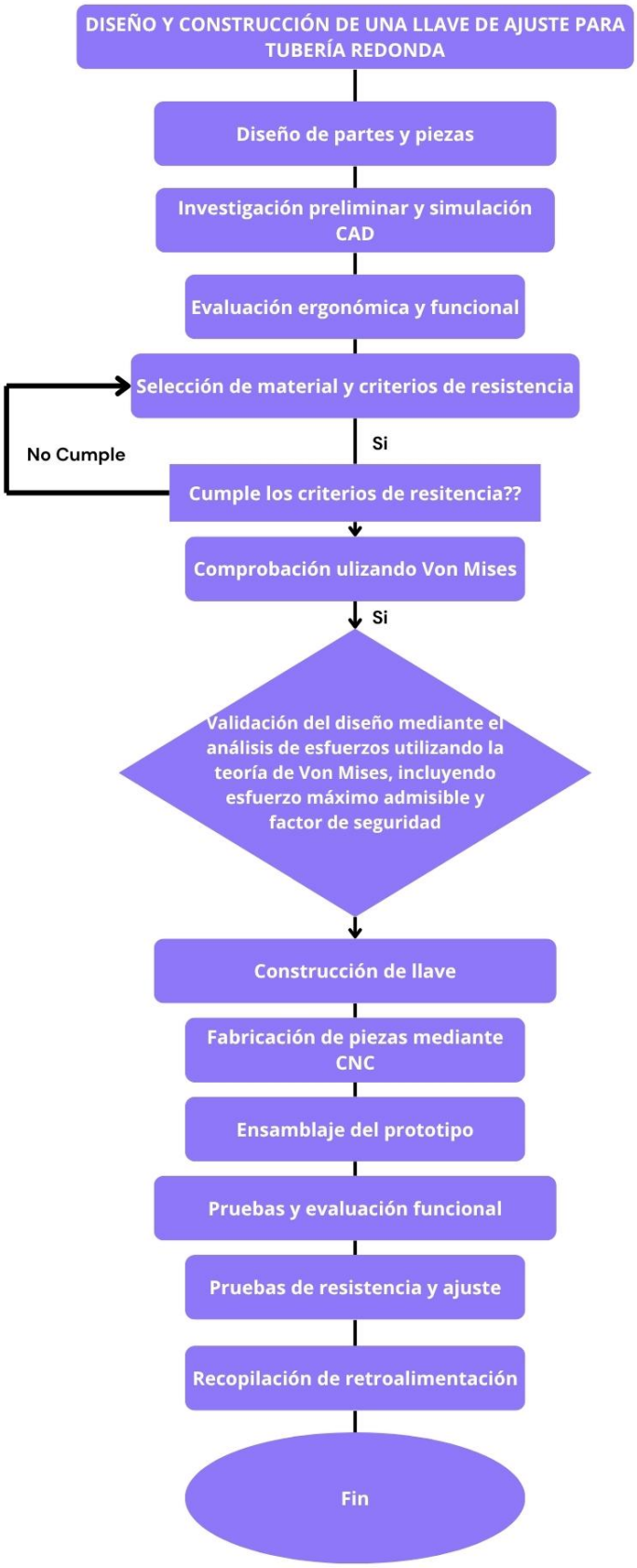


Figura 1. Diagrama de proceso

2.4. Diseño de partes y piezas

2.4.1. Investigación Preliminar

Para el desarrollo de una llave de ajuste que garantice un rendimiento óptimo y una alta durabilidad en aplicaciones industriales, se ha definido como base de diseño una tubería de 3 1/2 pulgadas. Este elemento ha sido seleccionado debido a su amplia utilización en diversos sectores, como la industria petrolera, la construcción y otras aplicaciones donde las tuberías de este tamaño representan un estándar común.

El enfoque en una tubería de 3 1/2 pulgadas permite optimizar el diseño de la herramienta para ajustarse con precisión a este diámetro, asegurando un agarre uniforme y minimizando el riesgo de daño en la superficie de la tubería. Además, las dimensiones estándar de esta tubería facilitan la definición de los parámetros clave para el diseño, como el rango de apertura de las muelas, las tolerancias de ajuste y la resistencia necesaria para soportar esfuerzos de torsión, compresión y corte.

2.4.2. Material de la tubería

El acero utilizado en las tuberías estándar API 3 1/2 pulg L8 abarca diferentes grados, tales como K55, N80, L80, C90, T95, P110 y Q125. El Instituto Americano del Petróleo (API, por sus siglas en inglés) establece estándares ampliamente reconocidos para la industria petrolera y gasífera. Entre estos estándares se destacan el API 5B y el API 5CT, los cuales definen especificaciones clave como propiedades químicas, grados de acero, procesos de fabricación, codificación por colores, tratamientos térmicos, inspección y otras características relevantes [6].

Los grados de acero del API también se emplean en la fabricación de equipos especializados, como los zapatos flotantes, en particular aquellos de grado K-55. Cada grado de acero se clasifica según su límite elástico, distribuyéndose en nueve categorías principales: H-40, J-55, K-55, N-80, L-80, C-90, T-95, P-110 y Q-125. En esta nomenclatura, las letras identifican la categoría del acero (sin relación directa con sus propiedades), mientras que los números indican su resistencia mínima a la fluencia: cuanto mayor es el número, mayor es la resistencia [6].

Además, el estándar API agrupa los grados de acero en cuatro categorías: el primer

grupo incluye H, J, K y N; el segundo comprende L, C y T; el tercero está representado únicamente por P, y el cuarto corresponde a Q [6].

Las características y usos de estos grupos varían en función de sus propiedades mecánicas y químicas:

Primer grupo (H, J, K, N):

- **H-40**: Tiene un límite elástico bajo y no suele utilizarse en tuberías debido a su limitada capacidad de carga.
- **J-55**: Es el grado estándar para pozos poco profundos (<9,000 pies) y de baja presión (<4,000 psi).
- **K-55**: Similar al J-55, pero con mayor resistencia mínima a la tracción.
- **N-80**: Adecuado para pozos con gas y petróleo dulce; se subdivide en N-80-1 (normalizado o laminado en caliente) y N-80-Q (tratado térmicamente mediante temple y revenido) [6].

Segundo grupo (L, C, T):

- **L-80**: Destaca por su resistencia frente a la corrosión y se clasifica en L80-1, L80-9Cr y L80-13Cr. El L80-1 es más económico, mientras que los tipos 9Cr y 13Cr, más costosos y complejos de fabricar, son ideales para ambientes altamente corrosivos.
- **C-90**: Un grado más reciente con dos variantes (C90-1 y C90-2), utilizado principalmente en condiciones de alta acidez, aunque su uso ha sido reemplazado en gran medida por el T-95.
- **T-95**: Ofrece alta resistencia al agrietamiento inducido por sulfuro (SSC), aunque no es inmune a la pérdida de peso por corrosión. También tiene dos variantes: T95-1 y T95-2 [6].

Tercer grupo (P): El grado P-110 se utiliza en pozos de alta presión y profundidad debido a su gran resistencia mecánica [6].

Cuarto grupo (Q): El grado Q-125 es el más resistente, diseñado para condiciones extremas.

Estos estándares y clasificaciones permiten elegir el material adecuado según los requerimientos específicos de cada operación en la industria del petróleo y el gas,

optimizando la seguridad, durabilidad y rendimiento de las tuberías y componentes asociados [6].

2.4.3. Torque optimo de conexión

La **Tabla 1** proporciona una guía detallada sobre los valores de torque mínimos recomendados para la tubería de rosca redonda, según los estándares establecidos por el API 5C1. Esta tabla es esencial para garantizar una instalación adecuada y segura de las conexiones en campo, reduciendo riesgos asociados con torque insuficiente o excesivo, los cuales podrían comprometer la integridad estructural y operativa de las tuberías [7]

Tabla 1. Pautas de torsión para la configuración de tubos [7]

Table 3—Tubing Makeup Torque Guidelines—Round Thread Tubing (Continued)

(1)		(2)	(3)	(4)	(5)	
Size, Outside Diameter		Nominal Weight, Threads and Coupling			Torque	
in.	mm	(lb/ft)	Grade	Thread	ft-lb	N • m
2.875	73.0	7.90	N80	EUE	2770	3760
2.875	73.0	8.70	N80	EUE	3020	4090
2.875	73.0	6.50	C90	EUE	2460	3340
2.875	73.0	7.90	C90	EUE	2970	4020
2.875	73.0	8.70	C90	EUE	3230	4380
2.875	73.0	6.50	P105	EUE	2910	3940
2.875	73.0	7.90	P105	EUE	3500	4750
2.875	73.0	8.70	P105	EUE	3810	5170
3.500	88.9	7.70	H40	NU	920	1250
3.500	88.9	9.20	H40	NU	1120	1520
3.500	88.9	10.20	H40	NU	1310	1770
3.500	88.9	7.70	J55	NU	1210	1640
3.500	88.9	9.20	J55	NU	1480	2010
3.500	88.9	10.20	J55	NU	1720	2330
3.500	88.9	7.70	C75	NU	1600	2170
3.500	88.9	9.20	C75	NU	1950	2650
3.500	88.9	10.20	C75	NU	2270	3080
3.500	88.9	12.70	C75	NU	3030	4100
3.500	88.9	7.70	L80	NU	1660	2250
3.500	88.9	9.20	L80	NU	2030	2750
3.500	88.9	10.20	L80	NU	2360	3200
3.500	88.9	12.70	L80	NU	3140	4260
3.500	88.9	7.70	N80	NU	1700	2300
3.500	88.9	9.20	N80	NU	2070	2810
3.500	88.9	10.20	N80	NU	2410	3270
3.500	88.9	12.70	N80	NU	3210	4350
3.500	88.9	7.70	C90	NU	1820	2460
3.500	88.9	9.20	C90	NU	2220	3010
3.500	88.9	10.20	C90	NU	2590	3510
3.500	88.9	12.70	C90	NU	3440	4670
3.500	88.9	9.20	P105	NU	2620	3550
3.500	88.9	12.70	P105	NU	4060	5510
3.500	88.9	9.30	H40	EUE	1730	2340
3.500	88.9	9.30	J55	EUE	2280	3090
3.500	88.9	9.30	C75	EUE	3010	4080
3.500	88.9	12.95	C75	EUE	4040	5480
3.500	88.9	9.30	L80	EUE	3030	4240
3.500	88.9	12.95	L80	EUE	4200	5700
3.500	88.9	9.30	N80	EUE	3200	4330
3.500	88.9	12.95	N80	EUE	4290	5820
3.500	88.9	9.30	C90	EUE	3430	4650
3.500	88.9	12.95	C90	EUE	4610	6250
3.500	88.9	9.30	P105	EUE	4050	5490
3.500	88.9	12.95	P105	EUE	5430	7370
4.000	101.6	9.50	H40	NU	930	1260
4.000	101.6	9.50	J55	NU	1220	1660

2.4.4. Llaves de tubo que existen el mercado

En el proceso de diseño y construcción de una nueva herramienta de ajuste, es fundamental analizar las opciones disponibles en el mercado para identificar características clave, ventajas y limitaciones que puedan servir como referencia o punto de mejora. Las llaves de tubo existentes son herramientas ampliamente utilizadas en diversas industrias, y su estudio proporciona una base sólida para determinar aspectos como materiales, ergonomía, resistencia mecánica y funcionalidad.

La siguiente **Tabla 2** presenta una recopilación de las llaves de tubo más representativas disponibles en el mercado, detallando sus especificaciones técnicas. Este análisis comparativo permite establecer un marco de referencia para el diseño de la nueva herramienta, destacando los elementos que deben ser optimizados o adaptados para satisfacer los requerimientos específicos del proyecto.

Tabla 2. Dimensiones de llaves existente en el mercado [8]

Llaves de servicio pesado para tubos rectos	**Tamaño**		**Capacidad del tubo**		**Peso**	
	Pulg	**Mm**	**Pulg**	**Mm**	**Lb**	**Kg**
6 pulgadas	6	150	3/4	20	1/2	0,2
8 pulgadas	8	200	1	25	3/4	0,4
10 pulgadas	10	250	1 1/2	40	1 3/4	0,8
12 pulgadas	12	300	2	50	2 3/4	1,2
14 pulgadas	14	350	2	50	3 1/2	1,6
18 pulgadas	18	450	2 1/2	65	5 1/2	2,6
24 pulgadas	24	600	3	80	10	4,5
36 pulgadas	36	900	5	125	18 1/2	8,4
48 pulgadas	48	1.200	6	150	31	14,1
60 pulgadas	60	1.500	8	200	46 1/2	21,1

CAPITULO 3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La llave de ajuste debe soportar solicitaciones combinadas de flexión, corte y compresión localizada en las mordazas, manteniendo un peso manejable y asegurando un agarre firme sin dañar la tubería. En el diseño final, se reutilizó un mango comercial compatible con acero AISI 4140, mientras que las mordazas fueron fabricadas con acero de transmisión AISI 1018, seleccionado tras comparar alternativas como el ASTM A36, SAE 1045, propiedades presentes en la **Tabla 3**. Los criterios que respaldan la elección del AISI 1018 son:

- **Equilibrio entre resistencia y ductilidad:** con una resistencia a la tracción aproximada de 440 MPa y un límite elástico de 370 MPa, el AISI 1018 ofrece una combinación adecuada para componentes que requieren cierta resistencia mecánica sin sacrificar la capacidad de deformación, ideal para piezas como mordazas que enfrentan esfuerzos repetitivos [9].
- **Excelente soldabilidad y buena maquinabilidad:** su bajo contenido de carbono facilita procesos de soldadura sin riesgo de fragilización, y su maquinabilidad, aunque inferior a aceros de la serie 11 o 12, permite una fabricación eficiente de geometrías complejas, como dientes o superficies de sujeción [9].
- **Buena respuesta a tratamientos termoquímicos superficiales:** puede ser cementado o carbonitrurado para endurecer la superficie sin comprometer la tenacidad del núcleo, lo que mejora la resistencia al desgaste y prolonga la vida útil de los componentes sometidos a fricción o contacto constante [9].
- **Versatilidad técnica y económica:** su facilidad de conformado en frío y forjado en caliente, junto con su disponibilidad y costo accesible, lo convierten en una opción óptima para aplicaciones donde se requiere una combinación de resistencia moderada, buena maquinabilidad y posibilidad de endurecimiento superficial [9].

Tabla 3. Propiedades de los materiales [10] [11] [12] [13]

Propiedad / Criterio	ASTM A36 (Bajo carbono)	SAE 1045 (Medio carbono)	AISI 4140 (Aleado Cr-Mo)	Acero de transmisión AISI 1018 (seleccionado)
Resistencia a la tracción (Sut)	400 MPa	620 MPa	1020 MPa	**440 MPa**
Límite elástico (Sy)	250 MPa	340 MPa	655 MPa	**370 MPa**
Dureza (HRC)	15	22–28	302	**71**
Templabilidad	Baja	Moderada	Alta	**Alta**
Resistencia al desgaste	Baja	Media	Alta	**Alta**
Tenacidad (impacto)	Alta (ductilidad)	Media	Media–Alta	**Alta**
Mecanizabilidad	72 %	55 %	65 %	**60–70 %**
Soldabilidad	Excelente	Buena	Media	**Buena**
Costo relativo	1,0	1,3	1,6	**1,2**
Disponibilidad comercial	Alta	Media	Alta	**Alta**
Justificación técnica	Baja resistencia mecánica, descartado	Buena opción general, pero insuficiente para uso severo	Excelente para partes principales como el mango	**Mejor equilibrio entre resistencia, desgaste y tenacidad. Ideal para las mordazas por sus ciclos repetitivos de carga y agarre.**

A continuación, en la **Tabla 4**, se encuentran las propiedades mecánicas del acero AISI 1018.

Tabla 4. Propiedades mecánicas del AISI 1018 [13]

Propiedades mecánicas	**Métrico**	**Imperial**
Dureza, Brinell	126	126
Dureza Knoop (convertida de dureza Brinell)	145	145
Dureza Rockwell B (convertida de dureza Brinell)	71	71
Dureza Vickers (convertida de dureza Brinell)	131	131
Resistencia a la tracción, máxima	440 MPa	63800 psi
Resistencia a la tracción, límite elástico	370 MPa	53700 psi
Alargamiento de rotura (en 50 mm)	15,0 %	15,0 %

Tabla 5. Continuación Tabla 4.

Reducción de área	40,0 %	40,0 %
Módulo de elasticidad (típico del acero)	205 GPa	29700 ksi
Módulo volumétrico (típico del acero)	140 GPa	20300 ksi
Relación de Poisson (típica del acero)	0.290	0.290
Maquinabilidad (Basado en acero AISI 1212. Como 100% de maquinabilidad)	70 %	70 %
Módulo de corte (típico del acero)	80.0 GPa	11600 ksi

El pasador se estandariza con un perno SAE Grado 8 (acero al carbono medio, 150 ksi) para asegurar compatibilidad con repuestos comerciales y facilitar el mantenimiento en campo.

Los criterios que motivan la selección son:

- Resistencia elevada con tratamiento térmico moderado.

El perno Grado 8 (Sy = 120 ksi) evita el aplastamiento del orificio y el corte doble en la unión pasador–medias lunas.

- Mecanizabilidad y fabricación sin soldadura

4140 revenido puede roscarse, taladrarse y rolarse con herramientas estándar.

- Disponibilidad y costo

Pernos SAE Grado 8 están normalizados y disponibles en diámetros ≥ 5/8″. A continuación, se presentan las especificaciones para pernos de acero, **Tabla 5**.

Tabla 6. Especificaciones SAE para pernos de acero [14]

Acero al carbono medio, tratado térmicamente, templado y revenido				
Designación de grado	**Tamaño nominal** pulg	**Resistencia de prueba mínima psi**	**Resistencia mínima a la tensión psi**	**Resistencia mínima a la fluencia psi**
1	1/4 - 1 1/2"	33,000	60,000	36,000
2	1/4 - 3/4"	55,000	74,000	57,000
	3/4 - 1 1/2"	33,000	60,000	36,000
4	1/4 - 1- 1/2"	65,000	115,000	100,000
5	1/4 - 1"	85,000	120,000	92,000
	1 - 1 1/2"	74,000	81,000	105,000
5.2	1/4 - 1"	85,000	120,000	92,000
8	1/4 - 1 1/2"	120,000	150,000	130,000
8.1	1/4 - 1 1/2"	120,000	150,000	130,000
8.2	1/4 - 1"	120,000	150,000	130,000

En la siguiente **Figura 2**, se presenta el diseño final de la herramienta, tomando como base el mango de una llave de tubo convencional.

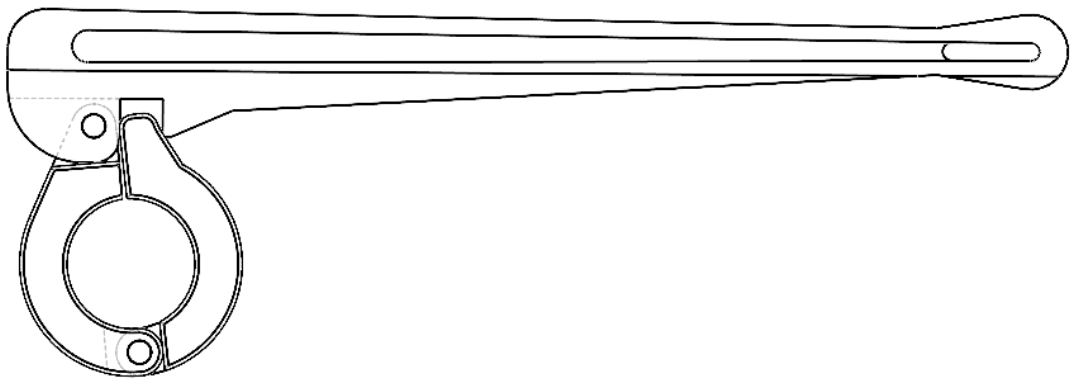


Figura 2. Diseño de la herramienta.

3.1. Datos de los materiales

Material de la herramienta

AISI 4140

$$S_y = 95\ Ksi = 655\ MPa$$

$$S_{ut} = 147\ Ksi = 1020 MPa$$

Material del Pin o Eje

SAE Grado 8

$$S_p = 120\ Ksi = 827.371\ MPa$$

$$S_{ut} = 150\ Ksi = 1034.214\ MPa$$

3.1.1. Aplastamiento del pasador

Antes de calcular

$$\sigma_{permisible} = \frac{F}{td} \tag{1}$$

Se analiza el aplastamiento porque la carga radial concentrada sobre la superficie de contacto entre el pasador (pin) y las orejas de la llave puede ovalizar el orificio y producir deformación plástica local aun cuando el pasador no llegue a cortarse.

- t: espesor de la palanca/oreja que envuelve al pasador (3.81cm=0.0381m).
- d: diámetro del pasador (5/8″= 1.588 cm= 0.01588m en el diseño).
- $\sigma_{perm} = S_p$: resistencia del SAE Grado 8 ($827.371\ MPa$, Tabla 4)
- n: factor de seguridad global (3, apropiado para herramientas que se utilizan en condiciones más exigentes o con materiales más críticos [15]).

Verificar este aplastamiento garantiza que ni el pasador ni las orejas pierdan ajuste tras repetidos ciclos de apriete.

$$\sigma_{permisible} = \frac{F}{td} = \frac{S_p}{n}$$

$$\frac{F}{td} = \frac{Sp}{n}$$

$$F = \frac{S_p td}{n}$$

$$F = \frac{(0.0381\text{m})(0.0158m)(827.371\ MPa)}{3}$$

$$F = 166.02\ kN$$

3.1.2. Aplastamiento palanca

La misma filosofía se aplica a las orejas de la llave

$$\sigma_{permisble} = \frac{F}{td}$$

donde Sy (95 ksi para AISI 4140) es la fluencia de la placa/oreja. Se comprueba que la placa no se arrugue ni se agriete por compresión localizada.

$$F = \frac{tdSy}{n}$$

$$F = \frac{(0.0381\text{m})(0.0158m)(655\ MPa)}{3}$$

$$F = 131.43\ kN$$

3.1.3. Cortante del pasador/pin

El pasador está apoyado por dos orejas; por tanto, actúa en doble corte.

$$\tau = \frac{F}{2A} \tag{2}$$

$$\tau = \frac{F}{2A} \Longrightarrow 0.577\frac{S_p}{n}$$

con $A = \pi d^2/4$ y $\tau_{perm} = 0{,}577Sp$ (criterio de Von Mises para acero dúctil). Este paso asegura que el pasador no se cizalle antes de alcanzar el par de diseño.

$$F = \frac{2A(0.577)S_p}{n} \tag{3}$$

$$F = \frac{2\left(\frac{\pi(0.0158m)^2}{4}\right)(0.577)(827.371\ MPa)}{3}$$

$$F = 62.40\ kN$$

3.1.4. Cortante en el interior

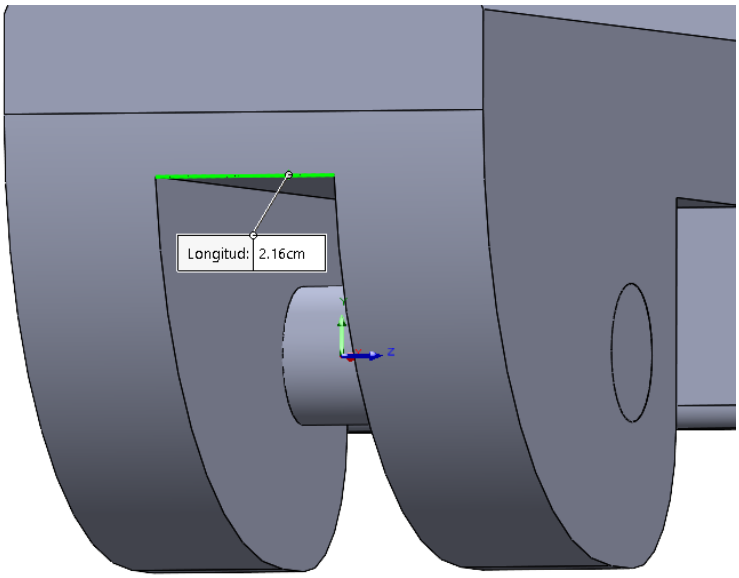


Figura 3. Cortante en el interior

Cuando la distancia libre $a = 2.16cm = 0.0216m$ entre el borde del orificio y el extremo de la placa es limitada, puede ocurrir un arrancamiento por cizalladura.

$$\tau = \frac{F}{2at} \tag{4}$$

$$\tau = \frac{F}{2at} = 0.577\frac{Sy}{n}$$

Despeje

$$F = \frac{2at(0.577)Sy}{n} \tag{5}$$

$$F = \frac{2(0.0216m)(0.0381\text{m})(0.577)(655\ MPa)}{3}$$

$$F = 207.35\ kN$$

3.1.5. Cálculo de la fuerza en base al toque optimo de conexión

El torque óptimo requerido para ajustar una conexión roscada en una tubería de 3 ½ pulgadas, según las especificaciones del estándar API 5C1, es de 4240 Nm (Ver Tabla 1). Tomando en cuenta que el diseño de la herramienta está basado en una llave de 36 pulgadas equivalente a 0.914 metros (Ver Tabla 2), se calcula la fuerza

aplicada al mango de la llave de ajuste mediante la expresión:

$$T = F * d \tag{6}$$

$$F = \frac{T}{d} = \frac{4240\ Nm}{0.914m}$$

$$F = 4.64\ kN$$

Esta fuerza se considera la carga funcional máxima esperada para la herramienta en condiciones reales de uso. A partir de este valor, se comparan los modos de falla estructurales calculados, con el fin de verificar si el diseño cumple con los requisitos de seguridad bajo carga de operación.

Por lo tanto, la fuerza máxima a la que se debe someter la llave de ajuste es de: $\mathbf{4.64\ kN}$

3.1.6 Cargas que puede soportar el perno

$Sy = S_p = 827.371\ MPa$

Diámetro del perno: $d = 1.588\,cm = 0.01588\,m$

$Espesor\ de\ oreja\ /palanca$: $t = 38.1\,mm = 0.0381\,m$

$Factor\ de\ Seguridad\ FS = 3$

3.1.6.1. Corte

Área de corte

$$A = \frac{\pi}{4}d^2 \tag{7}$$

$$A = \frac{\pi}{4}d^2 = \frac{\pi}{4}(0.01588)^2 = 1.98 \times 10^{-4}m^2$$

Esfuerzo de corte permisible

$$\tau adm = \frac{Sy}{\sqrt{3}FS} \tag{8}$$

$$\tau adm = \frac{S_p}{\sqrt{3} * FS} = \frac{827.371x10^6}{(1.732)(3)} = 159.23\ MPa$$

Fuerza máxima soportada por corte

$$Fmax = \tau adm(2A) \tag{9}$$

$$Fmax = (\tau adm)(2)(A) = (159.23x10^{6})(2)(1.98x10^{-4}) = 63.06\ kN$$

3.1.6.2. Aplastamiento

Área de contacto

$$A = dt \tag{10}$$

$$A = d * t = (0.01588)(0.0381) = 6.05 \times 10^{-4}\ m^2$$

Esfuerzo de corte permisible

$$\sigma adm = \frac{Sy}{FS} \tag{11}$$

$$\sigma adm = \frac{S_p}{FS} = \frac{827.371x10^{6}}{3} = 275.8\ MPa$$

Fuerza máxima por aplastamiento

$$Fmax = \sigma adm(A) \tag{12}$$
$$Fmax = \sigma adm(A) = (275.8x10^{6})(6.05x10^{-4}) = 166.86\ kN$$

El perno seleccionado cumple holgadamente con los requerimientos funcionales y estructurales, validando su uso en el diseño sin necesidad de sobredimensionar o cambiar el diámetro comercial.

3.1.7. Validación del espesor de las mordazas

Para la validación del espesor de las mordazas se usa el diámetro interno y externo para hacer el análisis.

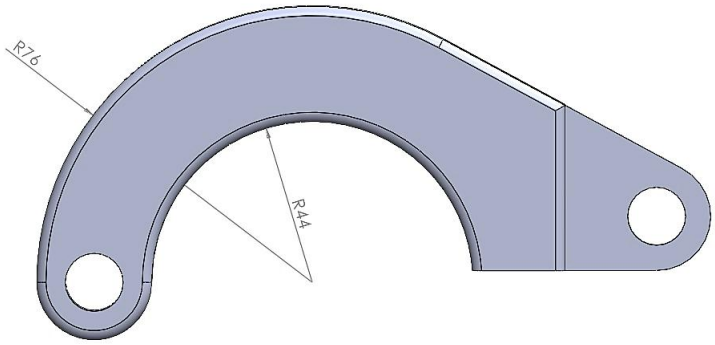


Figura 4. Radio interno y externo de la mordaza.

Datos para el análisis

$Radio\ interno = r = 44mm = 0.044m$

$Radio\ externo = R = 76mm = 0.076m$

$Espesor\ de\ la\ mordaza = e = R - r = 32mm = 0.032m$

$Momento\ flector\ aplicado = 4240\ Nm$

$Material = Acero\ de\ transmisión$

$Límite\ de\ elasticidad = Sy = 370\ MPa$

3.1.7.1. Momento de inercia de una sección circular hueca

$$I = \frac{\pi}{4}(R^4 - r^4) \tag{13}$$

$$I = \frac{\pi}{4}((0.076)^4 - (0.044)^4) = 2.33x10^{-5}m^4$$

3.1.7.2. Esfuerzo de flexión máximo

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \tag{14}$$

Donde:

$c = R = 0.076m$

$I = 2.33x10^{-7}m^4$

$$\sigma = \frac{(4240\ Nm)(0.076m)}{(2.33x10^{-5}m^4)} = 13.83\ MPa$$

Esfuerzo admisible del material

$$\sigma adm = \frac{Sy}{n} = \frac{370}{3} = 123.3\ MPa$$

Como el esfuerzo máximo en la mordaza es 13.83 MPa, el nuevo factor de seguridad real es:

$$FS_{real} = \frac{\sigma adm}{\sigma} = \frac{123.3MPa}{13.83\ MPa} = 8.91$$

3.1.8. Diagramas de fuerzas

En la **Figura 5**, se observa de manera más detallada, donde se va a aplicar la fuerza en la herramienta.

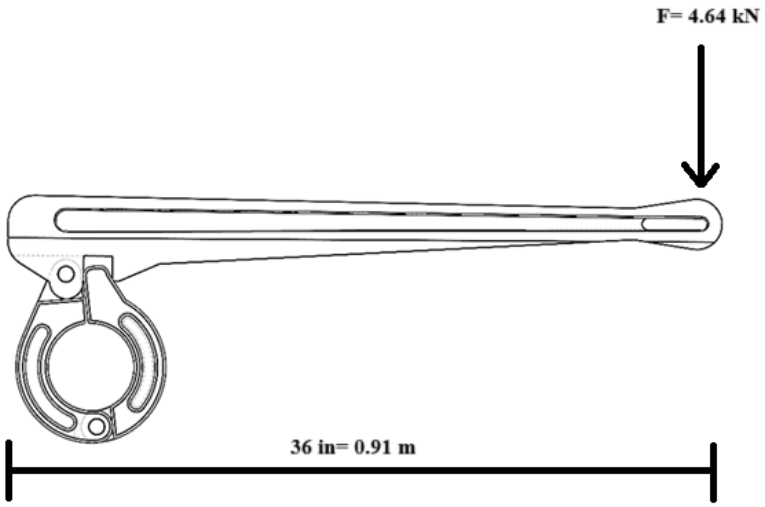


Figura 5. Diagrama de Fuerzas Aplicada a la herramienta

Reacciones

$$\sum Fy = 0 \tag{15}$$

$$F_A - F_B = 0 \tag{16}$$

$$F_A = F_B \tag{17}$$

$$F_A = -4.64\ kN$$

Momento en el punto A

$$M_A = F_A * d \tag{18}$$

$d = 0.91m$

$$M_A = -4.64\ kN(0.91m)$$

$$M_A = -4240\ kNm$$

Como método adicional al proceso analítico, se graficó los diagramas de momento

y cortante, que se encuentra en la **Figura 6**.

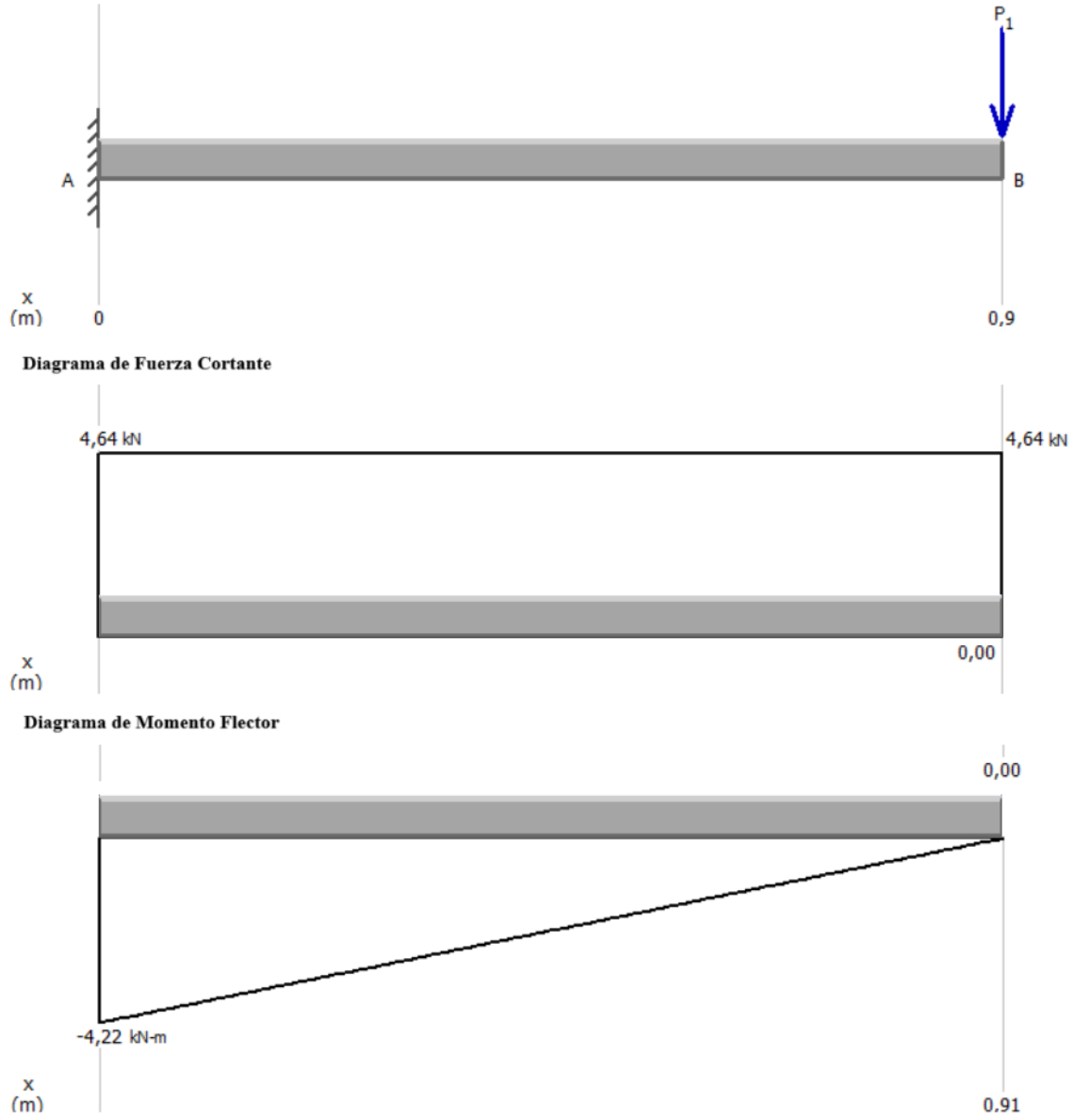


Figura 6. Diagrama de momento y cortante

3.1.9. Análisis de esfuerzos usando Von mises

La tensión de von Mises es un parámetro utilizado para evaluar si un material, especialmente dúctil como los metales, experimentará cedencia o fractura bajo una determinada carga. Según el criterio de von Mises, un material comenzará a fluir plásticamente si el valor calculado de esta tensión es igual o superior a su límite elástico en condiciones de tensión uniaxial [16].

Datos para el análisis

- $b = 2.75in = 0.07m$ ancho del mango
- $h = 4.50in = 0.114m$ alto (dirección de flexión)
- $L = 0.91m$ longitud de voladizo
- $F = 4.64\ kN$ fuerza aplicada
- $S_y = 655\ MPa$ fluencia del acero 4140
- $n = 3$ factor de seguridad

Propiedades de la sección rectangular

Momento de inercia

$$I = \frac{bh^3}{12} \tag{19}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(0.07m)(0.114cm)^3}{12} = 8.64x10^{-6}\ m^4$$

$$c = \frac{h}{2} \tag{20}$$

$$c = \frac{h}{2} = \frac{0.114\ m}{2} = 0.057\ m$$

Módulo de sección

$$S = \frac{I}{c} \tag{21}$$

$$S = \frac{I}{c} = \frac{8.64x10^{-6}\ m^4}{0.057\ m} = 1.51x10^{-4}\ m^3$$

Área

$$A = bh \tag{22}$$

$$A = bh = (0.07m)(0.114cm) = 0.008\ m^2$$

Momento máximo y tensiones

$$M_{max} = FL \tag{23}$$

$$M_{max} = (4.64\ kN)(0.91m)$$

$$M_{max} = 4222.4\ Nm$$

$$\sigma_{flex} = \frac{M_{max}}{S} \tag{24}$$

$$\sigma_{flex} = \frac{4222.4\ Nm}{1.51x10^{-4}\ m^3}$$

$$\sigma_{flex} = 28.09\ MPa$$

Cortante máximo en un rectángulo

$$\tau_{max} = \frac{1.5F}{A} \tag{25}$$

$$\tau_{max} = \frac{1.5(4.64\ kN)}{0.008\ m^2} = 1177.24\frac{kg}{cm\ s^2}$$

$$\tau_{max} = 0.87\ MPa$$

Von Mises y verificación

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_{flex}^2 + 3\tau_{max}^2} \tag{26}$$

$$\sigma_{VM} = \sqrt{(28.09\ MPa)^2 + 3(0.87\ MPa)^2}$$

$$\sigma_{VM} = 28.13\ MPa$$

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{n} \tag{27}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{655\ MPa}{3} = 218.33\ MPa$$

$$\sigma_{adm} > \sigma_{VM} \tag{28}$$

Si cumple

Factor de seguridad real

$$FS_{real} = \frac{S_y}{\sigma_{VM}} \tag{29}$$

$$FS_{real} = \frac{S_y}{\sigma_{VM}} = \frac{655\ \text{MPa}}{28.13\ MPa} = 23.28$$

3.1.10. Simulación en Software

Asignación de malla, fuerza y soporte para la simulación.

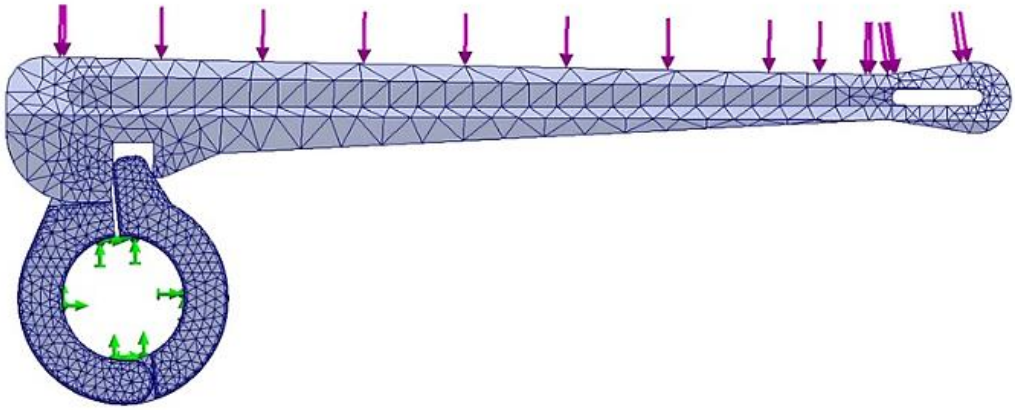


Figura 7. Asignación de fuerzas y creación de malla

Los valores más altos de esfuerzo en la **Figura 8**, cercanos a 634.9 MPa, se concentran en la zona de unión entre el mango y la mordaza, específicamente en la región donde se transfiere la carga hacia el sistema de apriete.

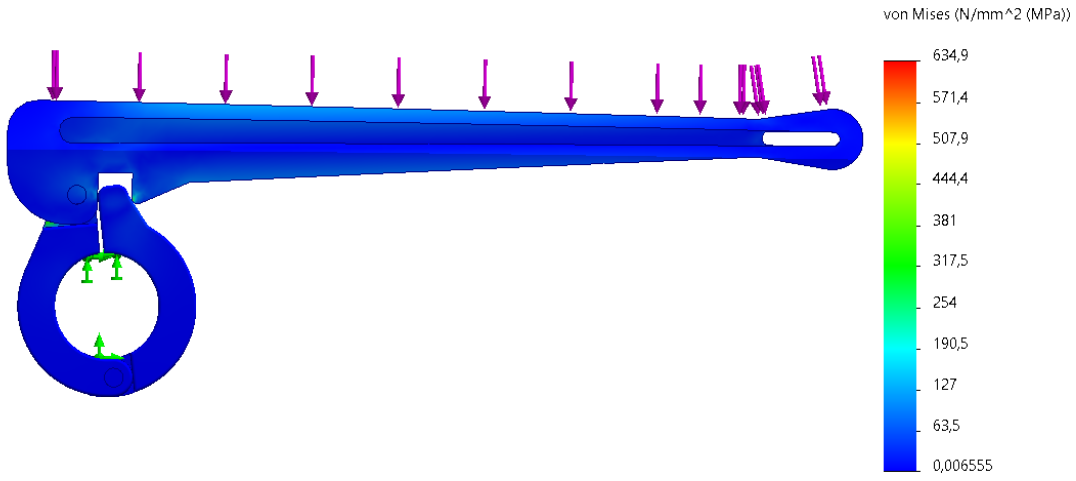


Figura 8. Tensiones Von mises

La **Figura 9** presentada ilustra el comportamiento destacando los desplazamientos generados en distintos puntos del componente. La escala de colores, que va del azul al rojo, permite identificar las zonas de menor y mayor desplazamiento, alcanzando un valor máximo de 3.95 mm.

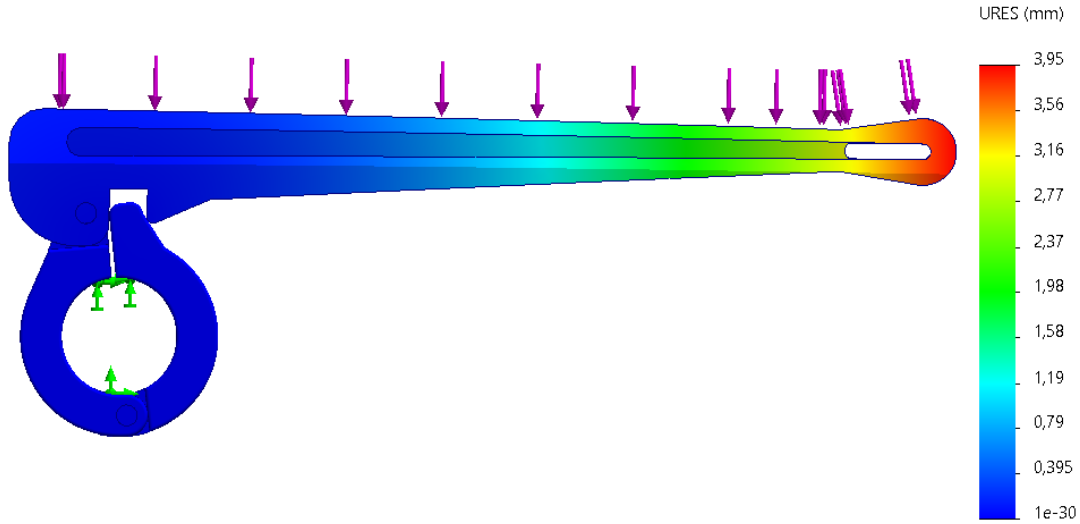


Figura 9. Desplazamientos

En la siguiente **Figura 10** representa un análisis de deformación unitaria equivalente en el diseño de la herramienta, evidenciando cómo responde el material ante la aplicación de cargas externas.

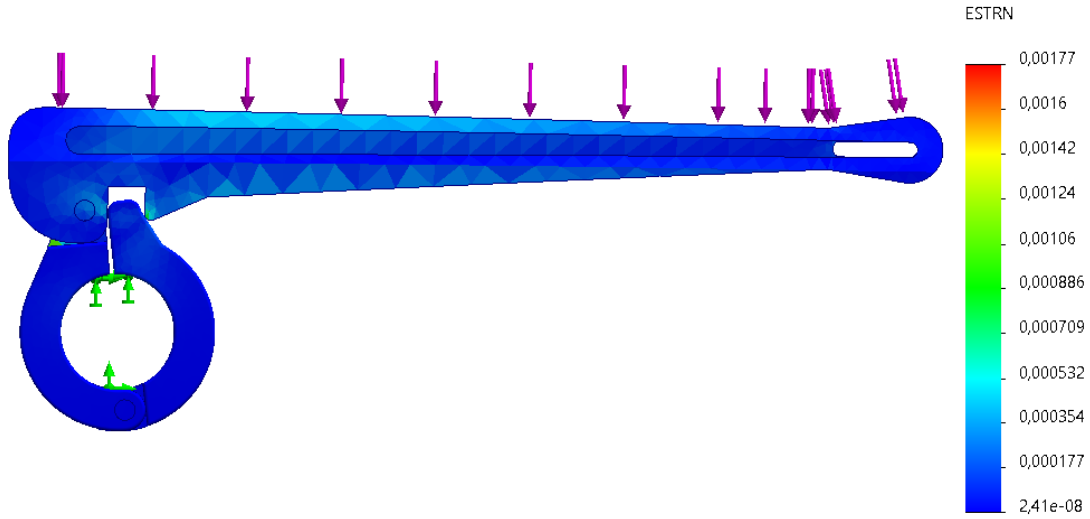


Figura 10. Deformación unitaria equivalente

El análisis del factor de seguridad (FDS) es fundamental para garantizar que el

diseño cumpla con los requisitos de resistencia y confiabilidad, asegurando un desempeño seguro bajo condiciones de carga previstas.

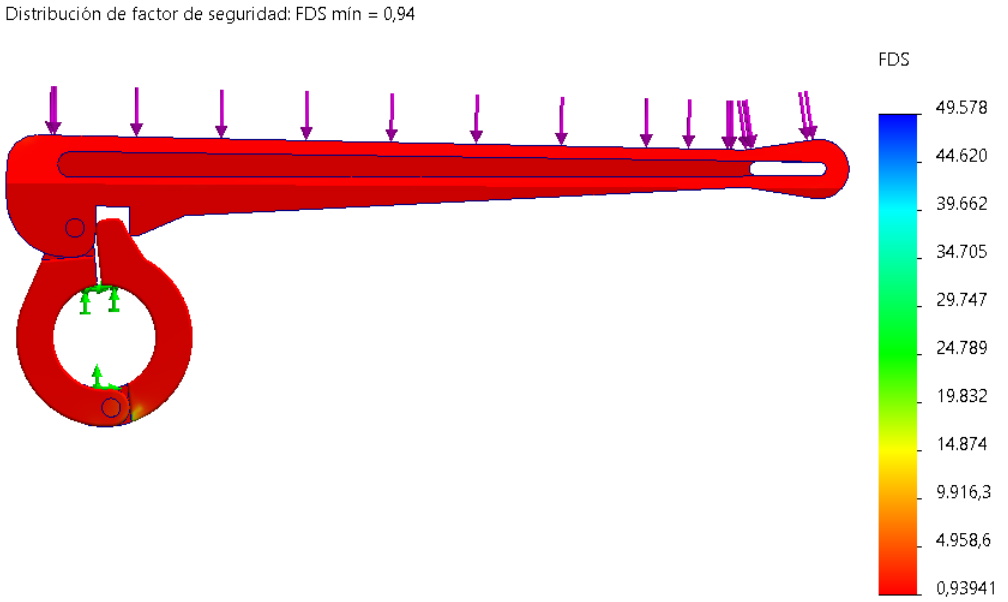


Figura 11. Factor de seguridad

3.2. Construcción de la llave de ajuste

La construcción de la llave de ajuste se llevó a cabo en función del diseño final validado por simulación, considerando la resistencia de materiales y las condiciones reales de operación. El proceso se desarrolló mediante el mecanizado de piezas individuales y el posterior ensamblaje, empleando herramientas y maquinaria convencional de taller.

Se seleccionaron los materiales previamente definidos: acero de transmisión AISI 1018 para las mordazas, acero AISI 4140 templado y revenido para el mango (reutilizado de una llave de tubo convencional), y un perno SAE Grado 8 para la articulación principal. Las fases de construcción se detallan a continuación:

3.2.1. Preparación de materiales

Para la construcción de la herramienta se utilizaron tanto materiales nuevos como componentes reutilizados:

Mordazas: Se utilizó acero de transmisión (AISI 1018), suministrado en forma de bloque macizo de 17 x 10 centímetros. Este material fue adquirido en una ferretería

industrial local, cumpliendo con las especificaciones de calidad necesarias para procesos de mecanizado y tratamiento térmico superficial.



Figura 12. Bloque de acero de transmisión

Mango: Se reutilizó el mango de una llave de tubo convencional en desuso, seleccionada por su geometría compatible con el diseño propuesto y por estar fabricada en acero AISI 4140 templado. El componente fue inspeccionado visualmente para asegurar que no presentara fisuras ni deformaciones y se mecanizó para adaptarlo al nuevo sistema de mordazas.



Figura 13. Llave de tubo reutilizada

Perno: El pasador de unión entre mango y mordazas corresponde a un perno SAE Grado 8, adquirido como repuesto comercial normalizado. Se seleccionó por su

alta resistencia mecánica y disponibilidad inmediata en el mercado.

El uso combinado de materiales nuevos y reutilizados permitió reducir los costos de fabricación y aprovechar componentes con propiedades mecánicas adecuadas ya disponibles en taller.

3.2.2 Fabricación de las mordazas

El proceso de fabricación de las mordazas se realizó de forma manual, siguiendo un procedimiento progresivo que garantizó el cumplimiento de las dimensiones definidas en los planos técnicos. A continuación, se detalla el proceso completo:

Corte inicial del material: Se partió de bloques de acero de transmisión AISI 1018, los cuales fueron cortados con una sierra de mesa para obtener piezas con dimensiones aproximadas a las requeridas. Este paso permitió trabajar con secciones más manejables durante las operaciones de mecanizado.



Figura 14. Corte de bloques en sierra de cinta

Desbaste y nivelación: Los bloques obtenidos fueron llevados a una fresadora manual, donde se desbastaron sus caras para obtener superficies planas y paralelas. Este proceso permitió igualar todos los lados de los bloques, facilitando su posterior manipulación y asegurando uniformidad dimensional.



Figura 15. Desbaste y nivelación

Trazado de la geometría: Una vez niveladas las caras, se aplicó pintura de trazado en las superficies visibles de cada bloque. Sobre esta base se dibujó la forma de las mordazas, tomando como referencia el prototipo en madera previamente fabricado. Este paso fue crucial para guiar el proceso de fresado con precisión.



Figura 16. Trazado de la geometría mordaza derecha



Figura 17. Trazado de la geometría mordaza derecha

Fresado de la forma final: Con las marcas trazadas, el equipo mecanizó la geometría de cada mordaza utilizando la fresadora. Se retiró material en varias pasadas controladas hasta alcanzar la forma externa y los contornos definidos por el diseño.



Figura 18. Fresado para dar forma



Figura 19. Forma de las mordazas

Lijado y control dimensional: Después de cada fase de fresado, se limaron cuidadosamente los bordes para eliminar rebabas y verificar el acabado superficial. Posteriormente, se compararon las dimensiones reales con las especificaciones del plano técnico, garantizando la precisión de las piezas.



Figura 20. Lijado de superficies

Desbaste de pestañas y preparación para unión: Con las mordazas ya formadas externamente, el equipo desbastó y dio forma a las pestañas de unión en los extremos de los bloques, asegurando un buen contacto entre ambas piezas. Este paso fue fundamental para garantizar la correcta alineación antes de soldar. Una vez obtenida la forma deseada, las piezas fueron unidas mediante soldadura en la zona preparada. Finalmente, el conjunto soldado se llevó al torno para mecanizar el agujero central de 3 ½ pulgadas, asegurando concentricidad y precisión en el diámetro de ajuste.



Figura 21. Desbaste de pestañas



Figura 22. Comparación con el prototipo



Figura 23. Preparación de la unión

Unión y mecanizado del agujero central: Una vez finalizada la forma externa de ambas mordazas, se unió los elementos mediante soldadura en su zona de contacto. Esta unión generó una única pieza sólida, que fue llevada al torno para mecanizar el agujero central de 3 ½ pulgadas, necesario para el alojamiento de la tubería. Este mecanizado interno se realizó respetando la tolerancia establecida para garantizar un ajuste firme, pero sin dañar la superficie del tubo.

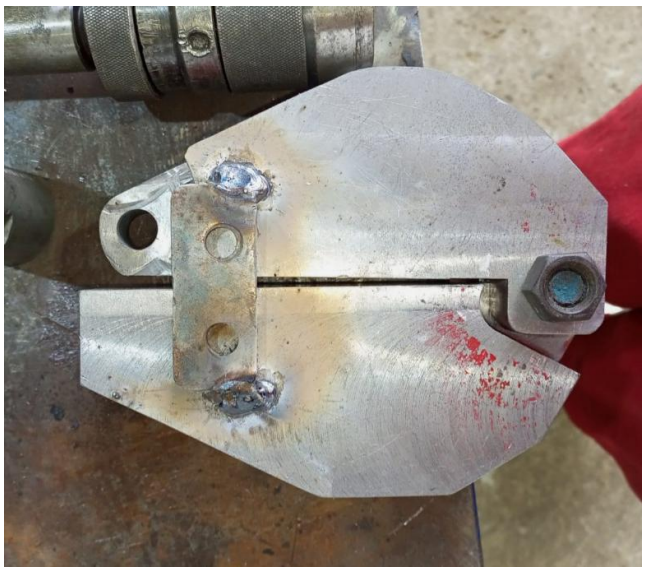


Figura 24. Unión y preparación para torneado



Figura 25. Torneado de agujero interior

Marcado y perforación de orificios para pasadores: Con el agujero interno terminado y las pestañas verificadas dimensionalmente, se marcó los puntos de perforación donde irán ubicados los pasadores que permiten la articulación con el mango. Esta operación se realizó con base en los planos técnicos y cuidando el alineamiento simétrico entre ambas mordazas. Posteriormente, los orificios fueron perforados con un taladro de banco, garantizando precisión en el diámetro y perpendicularidad respecto a las caras de contacto.



Figura 26. Perforación de agujero pasadores



Figura 27. Verificación de los agujeros

Adaptación del mango reutilizado

Se reutilizó el mango de una llave de tubo convencional, el cual fue sometido a un proceso de ajuste dimensional para cumplir con las especificaciones del diseño actual. Para ello, se cortaron las secciones excedentes que no coincidían con las nuevas dimensiones, y a rellenar mediante soldadura o elementos de unión mecánica las áreas faltantes o desgastadas. Estas modificaciones permitieron adaptar el mango tanto en su geometría como en su sistema de unión, asegurando su compatibilidad con el mecanismo de ajuste diseñado y manteniendo la integridad estructural del componente.



Figura 28. Modificación del mango de llave convencional

Fabricación del sistema de articulación

- Selección y preparación del perno SAE Grado 8.
- Ajuste de tolerancias entre orejas y pasador.
- Ensamble.



Figura 29. Verificación de agujero de unión mordazas-mango

Montaje final



Figura 30. Montaje de la herramienta

Tratamiento superficial

Como parte del proceso de mejora de resistencia al desgaste y protección contra la corrosión, las mordazas fabricadas en acero de transmisión AISI 1018 fueron sometidas a un tratamiento superficial mediante fosfatizado.

El fosfatado es un tratamiento superficial aplicado a metales, especialmente al acero, con el objetivo de aumentar su resistencia al desgaste, la corrosión y mejorar la adherencia de recubrimientos posteriores [17].

Este procedimiento implica la formación de una capa de fosfato metálico sobre la superficie del material, producto de una reacción química entre el metal y una solución compuesta por ácido fosfórico o sales fosfatadas. El recubrimiento resultante, que suele presentar tonalidades grises o verdosas, actúa como una barrera protectora que prolonga la vida útil de la pieza y sirve como base ideal para aplicar otros productos, como pinturas o lubricantes [17].

Además de ofrecer un acabado ligeramente rugoso que facilita la pintura, este recubrimiento puede tener una función antioxidante si, tras el fosfatado, se aplica una grasa protectora. Este tratamiento no solo refuerza la protección contra la humedad, disminuyendo el riesgo de oxidación, sino que también mejora la resistencia al desgaste y la fricción, algo especialmente útil en componentes sometidos a esfuerzo mecánico. La capa de fosfato, además, garantiza una excelente adherencia para distintos recubrimientos y lubricantes, facilitando su aplicación y aumentando la durabilidad del acabado final [17].

Materiales

- Solución de fosfato: Generalmente ácido fosfórico o fosfatos de zinc, manganeso o hierro.
- Agua: Para limpieza, enjuague y dilución de soluciones.
- Solución desengrasante: Para eliminar aceites y grasas de la superficie del metal.
- Solución de activación (opcional): Para mejorar la calidad del fosfatado.
- Solución neutralizante (opcional): Para eliminar residuos químicos y preparar la superficie para pasos posteriores.

- Recubrimientos adicionales (opcional): Cromatos, selladores, aceites, pinturas, etc.

Procedimiento

El procedimiento de fosfatizado se lleva a cabo bajo 5 pasos fundamentales para garantizar el correcto recubrimiento de los elementos.

Desengrase

Para obtener un buen depósito de fosfato y que este sea uniforme sobre el metal que se quiere recubrir, se deberá tener el metal 100% libre de polvo y grasa, se pueden usar soluciones desengrasantes o abrasivos para la limpieza [18].

Enjuague

Es fundamental utilizar agua limpia para enjuagar las partes antes de pasar al proceso de fosfatizado. Por medio de inmersión de 30 a 60 segundos es más que suficiente o también se puede usar proceso de aspersión, con una presión de 1 a 2 kg/cm2 [18].

Fosfato

Preparación de la solución

La preparación del baño de fosfatado implica el uso de una mezcla química específica compuesta por varios elementos. Los ingredientes fundamentales incluyen:

- **Fosfatos metálicos**: Según las propiedades que se deseen alcanzar, se pueden utilizar fosfato de manganeso o una combinación de fosfatos de manganeso y hierro.
- **Ácidos**: El ácido fosfórico es común en esta mezcla, ya que facilita la formación de la capa de fosfato sobre el metal.
- **Aditivos**: Se pueden añadir compuestos como el tartrato de antimonio para generar un acabado negro característico. Asimismo, se incorporan sales de calcio para estabilizar el pH y favorecer una cobertura homogénea [19].

Regulación de la temperatura

Durante el proceso, la temperatura del baño debe mantenerse dentro de un intervalo determinado, usualmente entre 60 °C y 88 °C (140 °F a 190 °F). Este control térmico es esencial para garantizar que la fosfatación se desarrolle de manera uniforme y eficiente [19].

Etapa de inmersión

Una vez que la pieza metálica ha sido limpiada y en algunos casos activada previamente, se sumerge completamente en la solución de fosfatado por un tiempo específico.

Durante este periodo, ocurre una reacción química entre la superficie del metal y los componentes del baño, lo que da lugar a la formación de una capa protectora de fosfato [19].

Segundo Enjuague

Se debe realizar con agua desionizada a una temperatura ambiente para remover toda la solución excedente ya que químicamente puede estar activo y ocasionar posibles áreas de corrosión [18].

Sellado

La última parte del proceso normalmente se hace a base de productos crómicos, los cuales nos ayudarán a neutralizar la reacción del fosfato, además de dar una base de anclaje para el recubrimiento en polvo [18].

Controles de calidad y verificación funcional

A continuación, se presenta una prueba funcional de le herramienta comprobando acabados y calidad del producto final.



Figura 31. Comprobación de funcionalidad



Figura 32. Herramienta con acabados finales

3.2.3 Mecanismo de ajuste

El mecanismo de ajuste de las llaves de tubo convencionales presenta una limitación significativa en términos de superficie de contacto efectiva con la tubería. Como se observa en la primera imagen, este tipo de herramienta apoya únicamente en dos puntos opuestos y de forma parcial, lo cual concentra las fuerzas de apriete en zonas muy reducidas. Esta condición genera marcas, estrías o deformaciones visibles sobre la superficie externa de la tubería, especialmente al aplicar altos niveles de torque. A largo plazo, estas marcas pueden afectar el rendimiento mecánico del tubo y encarecer su mantenimiento o reposición.

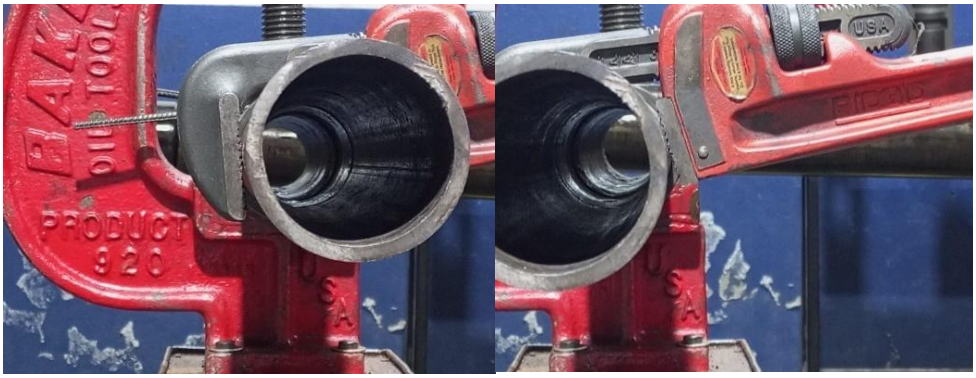


Figura 33. Ajuste llave de tubo convencional

En contraste, la herramienta de ajuste diseñada incorpora un sistema de cierre envolvente de 360°, como se evidencia en la segunda imagen. Este diseño permite que las mordazas abracen completamente el diámetro del tubo, generando una distribución uniforme de la presión sobre una mayor área de contacto. Esta mejora no solo reduce drásticamente el riesgo de daño superficial, sino que también proporciona un ajuste más firme y controlado, incluso en condiciones de trabajo en campo. Gracias a esta configuración, la herramienta puede ejercer esfuerzos de apriete sin comprometer la integridad física del tubo, lo que representa un avance considerable frente a las soluciones tradicionales.



Figura 34. Prueba de funcionamiento

3.3. Procedimiento de uso de la herramienta

Antes de utilizar la herramienta de ajuste, es indispensable portar los Equipos de Protección Personal (EPP) adecuados tanto en taller como en campo. El operario debe contar con:

- **Botas de seguridad** con punta de acero
- **Mandil de protección** contra partículas o rebabas
- **Casco de seguridad**
- **Guantes industriales** que aseguren buen agarre y protección frente a bordes metálicos

Posturas recomendadas para el uso de la herramienta

Se recomienda seguir las siguientes posturas para una correcta utilización de la herramienta tanto para la colocación como para la aplicación de fuerza (**Figura 34, Figura 35**)



Figura 35. Postura recomendaba para colocación de la herramienta

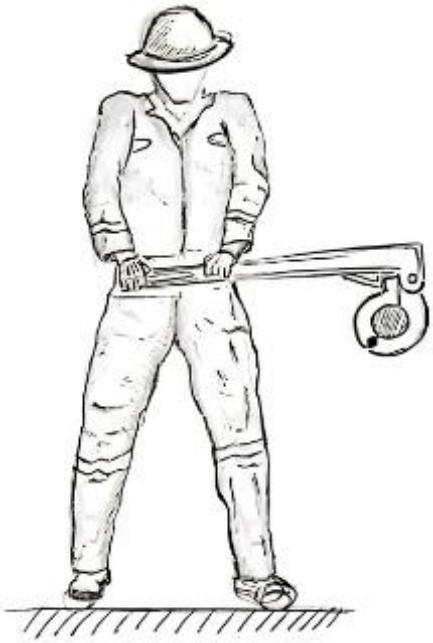
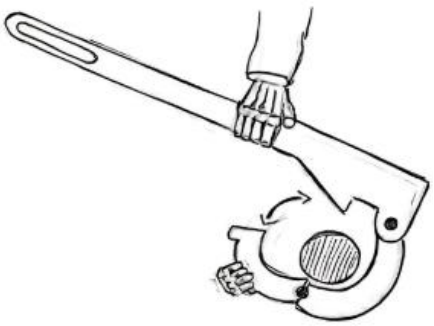


Figura 36. Postura recomendada para la aplicación de fuerza

Una vez verificado el correcto estado físico de la herramienta y portando el EPP correspondiente, se procede con el siguiente protocolo de uso:

Sujeción y apertura de la herramienta: Tomar la herramienta con ambas manos; una mano debe sostener firmemente el mango y la otra una de las mordazas. Con un movimiento controlado, separar ambas mordazas hasta abrir el mecanismo lo suficiente para rodear la tubería.

Colocación sobre la tubería: Con las mordazas abiertas, colocar la herramienta alrededor de la tubería, asegurando que ambas mordazas abracen completamente el diámetro externo del tubo. Es importante verificar que el mecanismo articulado quede alineado y que el mango repose correctamente, formando un ángulo funcional que facilite el apriete.



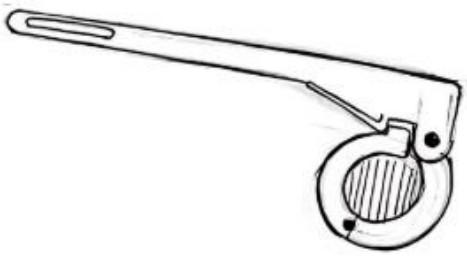


Figura 37. Apertura de la llave **Figura 38.** Colocación en la tubería

Aplicación de fuerza: Una vez asegurada la mordaza sobre el tubo, aplicar la fuerza giratoria con el mango en el sentido deseado (ajuste o aflojamiento). Al finalizar el giro, regresar el mango a la posición inicial, sujetando nuevamente con una mano las mordazas para mantener la posición, y repetir el movimiento de palanca. Este procedimiento se realiza de forma cíclica hasta alcanzar el apriete o liberación requeridos.

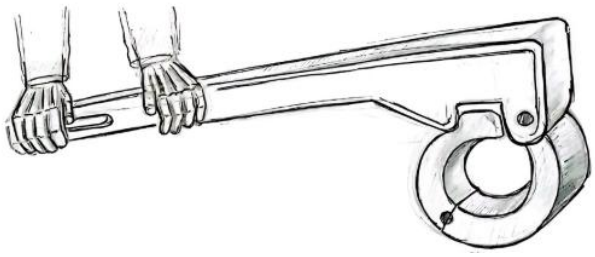


Figura 39. Aplicación de fuerza

Este método de operación permite que la herramienta funcione como una llave de fricción, transmitiendo el torque necesario sin dañar la superficie del tubo ni requerir sistemas de sujeción roscados adicionales.

3.4. Evaluación funcional

Una vez construida la herramienta, se realizó una evaluación funcional práctica para verificar su comportamiento en condiciones reales de uso. Para ello, se simuló un procedimiento de ensamblaje común en campo, utilizando una tubería de 3 ½ pulgadas.

El proceso comenzó con el armado de un tramo de tubería tipo *tubbing*, aplicando grasa industrial en las zonas roscadas para reducir la fricción durante el ajuste y evitar el daño por desgaste. A continuación, se iniciaron las operaciones de roscado

manual, posicionando los extremos de la tubería y girándolos hasta lograr una conexión preliminar.



Figura 40. Colocación de grasa



Figura 41. Armado de tubería



Figura 42. Colocación de grasa



Figura 43. Armado de la tubería para su ajuste

Una vez acopladas las roscas, se utilizó la herramienta de ajuste diseñada para finalizar el apriete. Durante esta operación, se pudo observar que la herramienta funcionó como una llave de fricción, generando un agarre firme y estable sobre la superficie exterior de la tubería, sin deslizamientos ni deformaciones visibles. El diseño de las mordazas permitió una distribución uniforme de la fuerza de apriete, evitando concentraciones de carga que pudieran dañar la tubería.



Figura 44. Colocación de la herramienta



Figura 45. Aplicación de fuerza para el ajuste

La ergonomía del mango reutilizado y el mecanismo de articulación permitieron un manejo cómodo, con buen control del torque aplicado. En general, la herramienta cumplió satisfactoriamente con su función, permitiendo el ajuste correcto y seguro de la tubería de 3 ½ pulgadas, lo cual valida la efectividad del diseño y fabricación implementados.

3.4.1 Evaluación de confiabilidad mediante análisis AMFE

El Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) es un método estructurado y preventivo que se emplea para detectar posibles fallos en productos, servicios o procesos, con el fin de evitarlos o minimizar sus consecuencias. En el ámbito del mantenimiento, esta técnica permite examinar detalladamente cada parte o etapa de un sistema, identificando los modos en que puede fallar, evaluando la severidad de sus efectos, la frecuencia con que podrían ocurrir y la probabilidad de detección, para luego calcular un número de prioridad de riesgo (RPN). Esta evaluación facilita la toma de decisiones sobre qué acciones correctivas implementar primero, optimizando así el uso de recursos y aumentando la fiabilidad de los equipos. El procedimiento se compone de siete etapas: definición del problema, conformación de un equipo multidisciplinario, mapeo del proceso, identificación de fallos, cálculo del RPN, implementación de soluciones y seguimiento de resultados. Aplicar esta metodología es fundamental para disminuir tiempos de parada, mejorar la seguridad operativa y elevar la calidad en contextos industriales [20].

Implementación del AMFE en áreas de trabajo

Se comienza por clasificar los equipos según su función en el proceso productivo (por ejemplo, motores eléctricos, bombas, compresores, turbinas). Esto permite enfocar el análisis en los activos que tienen mayor impacto en la operación [21].

Análisis de modo de falla: Para cada tipo de activo, se identifican los posibles modos de falla. Por ejemplo:

- Un motor eléctrico puede fallar por sobrecalentamiento o desgaste de rodamientos.
- Una bomba puede presentar fugas o pérdida de presión.
- Un compresor puede fallar por obstrucción o vibraciones excesivas.

Evaluación de efectos y causas: Se analizan las consecuencias de cada modo de falla sobre la operación, la seguridad y los costos. También se identifican las causas raíz, como mantenimiento deficiente, condiciones operativas extremas o errores humanos [21].

Cálculo del RPN (Número de Prioridad de Riesgo): Se asignan valores a la severidad, ocurrencia y detección de cada modo de falla, y se calcula el RPN para priorizar acciones correctivas [21].

Diseño de acciones preventivas

Con base en el RPN, se definen acciones como:

- Aumentar la frecuencia de inspecciones.
- Mejorar el diseño del equipo.
- Implementar sensores o sistemas de monitoreo.

Documentación y seguimiento Se construye un historial de fallas y se documentan las acciones tomadas, lo que permite mejorar continuamente el plan de mantenimiento [21].

Para asegurar la confiabilidad y funcionalidad de la herramienta propuesta, se realizó un análisis de modos y efectos de falla (AMFE) sobre los componentes principales. Este análisis permite identificar fallas potenciales, sus efectos, causas y acciones de mitigación (ver Anexo 2).

3.4.2 Comparación de ajuste

Durante la etapa de pruebas funcionales, se realizó una comparación directa entre la herramienta diseñada y una llave de tubo convencional, con el fin de evidenciar las mejoras logradas en el proceso de ajuste de tuberías. Las herramientas convencionales tienden a generar un ajuste deficiente o irregular, lo que provoca que, al aplicar fuerza para apretar la unión, se generen marcas, hendiduras o rasguños significativos sobre la superficie del tubo. Estas marcas no solo afectan la apariencia externa, sino que pueden comprometer la integridad estructural del material, especialmente si se trata de conexiones roscadas o superficies de sellado. Además, los daños ocasionados sobre las herramientas o piezas de conexión implican costos elevados de reparación o reemplazo.



Figura 46. Ajuste de una llave de tubo convencional de 36”



Figura 47. Daños en la tubería debido a la llave convencional

En contraste, al utilizar la herramienta de ajuste diseñada en este proyecto, se logró una mejoría notable. Esto se evidenció durante la prueba práctica, en la que no se observaron daños visibles, marcas ni deformaciones en la superficie de la tubería tras aplicar fuerza de apriete. El diseño de las mordazas, junto con su ajuste preciso, permitió distribuir uniformemente la presión de contacto, minimizando el riesgo de deslizamiento o desgaste localizado. Estos resultados visuales validan la efectividad del diseño en términos de protección del material y durabilidad del sistema.



Figura 48. Ajuste de la llave diseñada



Figura 49. No hay presencia de daños en la tubería.

3.5. Estudio ergonómico de postura

La ergonomía aplicada al diseño de herramientas manuales busca prevenir lesiones y reducir la fatiga del usuario, adaptando la herramienta a las características físicas del operario. Para lograrlo, se recomienda que los mangos sean adecuados al tipo de tarea: delgados y cortos para trabajos de precisión, y más gruesos y largos, con

materiales antideslizantes, para tareas que requieren mayor esfuerzo. Además, es fundamental que el agarre se adapte al tamaño de la mano del usuario, permitiendo un control firme sin necesidad de aplicar fuerza excesiva [22].

El diseño y uso de herramientas manuales, como la llave de ajuste para tubería, requieren una evaluación ergonómica que garantice el confort del operario y reduzca el riesgo de lesiones musculoesqueléticas. La ergonomía en herramientas de fuerza se enfoca especialmente en la postura del cuerpo, el esfuerzo repetitivo y el ángulo de aplicación de la fuerza, factores determinantes para asegurar un trabajo seguro y eficiente.

En este contexto, se realizó un estudio ergonómico centrado en la postura adoptada por el usuario durante el proceso de ajuste de tuberías. Este análisis consideró las posiciones de la muñeca, el antebrazo, los hombros y la espalda, evaluando el grado de esfuerzo requerido y la naturalidad del movimiento durante la operación.

El objetivo del estudio fue identificar si el diseño actual de la herramienta promueve una postura neutral y biomecánicamente eficiente, y si permite al operario ejercer la fuerza necesaria sin generar tensiones excesivas en las articulaciones. Para ello, se tomaron registros fotográficos y se compararon con los criterios establecidos.

Los resultados de este análisis permiten establecer recomendaciones para futuras mejoras en el diseño, orientadas a maximizar la usabilidad de la herramienta, prolongar su tiempo de uso sin fatiga y garantizar la seguridad del operario en entornos reales de trabajo.

3.5.1. Análisis postural mediante el método REBA

El método REBA (Rapid Entire Body Assessment) es una herramienta diseñada para evaluar el riesgo de lesiones musculoesqueléticas derivadas de posturas forzadas o inestables durante la ejecución de tareas. Este método analiza de forma integral el cuerpo, considerando tanto posturas estáticas como dinámicas, y evalúa segmentos como el tronco, cuello, piernas y extremidades superiores. Además, incorpora factores como la carga manipulada, el tipo de agarre y la actividad muscular [23].

Para evaluar el impacto del uso de la herramienta sobre el cuerpo del operario, se

aplicó el método REBA (Rapid Entire Body Assessment). Este método permite analizar el riesgo ergonómico asociado a posturas que implican uso de fuerza, torsión del tronco, inclinación, flexión de extremidades y carga sostenida.

Es un método observacional que permite evaluar posturas forzadas del cuerpo entero durante la realización de tareas laborales. Fue desarrollado para identificar riesgos de trastornos musculoesqueléticos derivados de posturas inadecuadas, especialmente en trabajos que implican movimientos inesperados o manipulación de cargas inestables [24].

Características principales:

- **Evalúa todo el cuerpo**: Incluye extremidades superiores (brazo, antebrazo, muñeca), tronco, cuello y piernas.
- **Basado en RULA**: Se inspira en el método RULA, pero lo amplía al considerar también las extremidades inferiores.
- **Factores considerados**:
    - Postura corporal.
    - Carga o fuerza manejada.
    - Tipo de agarre.
    - Actividad muscular (estática o dinámica).
    - Cambios bruscos de postura o posturas inestables.
    - Si los brazos trabajan a favor de la gravedad.

Aplicación:

- Se utiliza para evaluar tareas individuales mediante la observación directa o el análisis de imágenes.
- Se asignan puntuaciones a diferentes segmentos del cuerpo y factores de carga, que luego se combinan para obtener un índice de riesgo.
- Este índice indica el nivel de intervención necesario, desde sin acción hasta intervención inmediata.

3.5.2. Análisis postural colocación de herramienta

A continuación, se presentan cada una de las vistas necesarias para el análisis REBA, en la postura de colocación de herramienta.



Figura 50. Vista frontal



Figura 51. Vista Posterior



Figura 52. Vista lateral izquierda



Figura 53. Vista lateral derecha



Figura 54. Vista Superior

Con el objetivo de evaluar el riesgo ergonómico asociado a la postura adoptada durante el proceso de colocación de la herramienta de ajuste, se aplicó la metodología REBA (Rapid Entire Body Assessment). Esta herramienta de análisis permite valorar de manera sistemática las posiciones del tronco, cuello, piernas, así como las cargas manipuladas y el tipo de actividad realizada, asignando un puntaje de riesgo que facilita la identificación de lesiones musculoesqueléticas (**Tabla 6**).

Tabla 7. Análisis método REBA, colocación de herramienta

Segmento corporal	**Observación**	**Puntaje REBA**
Tronco	Inclinación hacia adelante moderada (~20°–30°)	2
Cuello	Flexionado hacia abajo levemente	1
Piernas	Estables, una pierna ligeramente flexionada	1
Brazos	Elevación de ambos brazos anterior al tronco (uno >60°, otro 20°–45°)	3
Antebrazos	Flexión adecuada (60°–100°)	1
Muñecas	Postura neutra con leve desviación radial	1
Tipo de agarre	Firme y con control	1
Carga/fuerza aplicada	Aproximadamente 5–10 kg, requiere fuerza de torsión manual	2

Cálculo REBA simplificado

- **Grupo A (Tronco + Cuello + Piernas):** Puntaje combinado = 4
- **Grupo B (Brazos + Antebrazos + Muñeca):** Puntaje combinado = 4
- **Actividad + Carga:** +2 puntos
- **Puntaje REBA final estimado:** 6

En la **Tabla 7**, se encuentra el puntaje del análisis REBA, junto a su nivel de riesgo y acción recomendada.

Tabla 8. Nivel de riesgo y acción recomendada

Puntaje REBA	**Nivel de Riesgo**	**Acción Recomendada**
6	**Riesgo medio**	Se requiere **intervención pronto**

Durante el análisis postural aplicado a la operación de ajuste con la herramienta, se utilizó el método REBA (Rapid Entire Body Assessment). Este permitió evaluar los segmentos corporales comprometidos en la postura adoptada por el operario al manipular la tubería de 3 ½ pulgadas. El resultado del análisis arrojó un puntaje REBA de 6, correspondiente a un nivel de riesgo medio, lo cual sugiere que se requiere una intervención pronta para prevenir la aparición de lesiones musculoesqueléticas.

Las principales causas del puntaje obtenido fueron la inclinación del tronco hacia adelante, la elevación de los brazos por encima del nivel del pecho. No se detectaron posturas críticas en cuello o muñecas, y la estabilidad de las piernas fue adecuada.

3.5.3. Análisis postural aplicación de fuerza

A continuación, se presentan cada una de las vistas necesarias para el análisis REBA, en la postura de colocación de herramienta.



Figura 55. Vista Frontal



Figura 56. Vista Posterior



Figura 57. Vista lateral izquierda

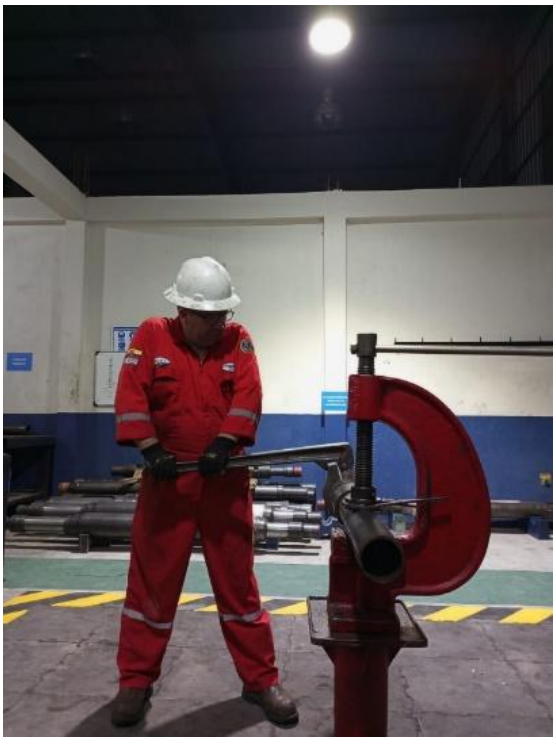


Figura 58. Vista lateral derecha



Figura 59. Vista Superior

A continuación, se presenta la **Tabla 8** correspondiente, en la cual se desglosan los componentes corporales evaluados y el puntaje resultante, con el fin de determinar el nivel de acción requerido y proponer mejoras ergonómicas en el diseño o el procedimiento.

Tabla 9. Análisis método REBA, aplicación de fuerza

Segmento corporal	**Observación**	**Puntaje REBA**
Tronco	Inclinación hacia adelante moderada (~20°–30°), sin rotación excesiva	2
Cuello	Flexionado hacia abajo levemente	1
Piernas	Estables, con ligera flexión de rodillas	1
Brazos	Elevación anterior moderada (aprox. 20°–60°), sin abducción excesiva	2
Antebrazos	Flexión funcional (60°–100°)	1
Muñecas	Postura neutra con leve desviación (posible extensión leve)	2
Tipo de agarre	Firme y con control, uso adecuado de la herramienta	1
Carga/fuerza aplicada	Aproximadamente 10–15 kg, requiere torsión manual moderada a alta	2

Cálculo REBA simplificado

- **Grupo A (Tronco + Cuello + Piernas):** Puntaje combinado = 5
- **Grupo B (Brazos + Antebrazos + Muñeca):** Puntaje combinado = 5
- **Actividad + Carga:** +3 puntos

En la **Tabla 9**, se encuentra el puntaje del análisis REBA, junto a su nivel de riesgo y acción recomendada.

Tabla 10. Nivel de riesgo y acción recomendada

Puntaje REBA	**Nivel de Riesgo**	**Acción Recomendada**
8	**Riesgo alto**	**Se requiere acción pronto**

Durante la evaluación postural en la etapa de aplicación de fuerza con la herramienta de ajuste, se aplicó el método REBA, que considera la posición del tronco, brazos, muñecas, cuello y piernas, además del tipo de agarre y la carga manipulada. La postura analizada presenta una inclinación del tronco (~35°), elevación del brazo principal (~60°) y aplicación de una fuerza manual de aproximadamente 10 a 15 kg, lo que resultó en un puntaje REBA total de 8, categorizado como riesgo alto.

Este resultado indica que la postura requiere intervención inmediata para prevenir trastornos musculoesqueléticos. Se sugiere considerar ajustes en la altura de trabajo, rediseño de la herramienta o pausas activas para reducir el esfuerzo acumulativo en hombros y zona lumbar.

3.6. Costos

Para el cálculo del consumo energético se toma en cuenta el tiempo de cada mecanizado, la potencia de las máquinas y el precio del kW/h a nivel industrial en el Ecuador.

Máquina Fresadora

Potencia: 4.1 kW

$$Precio\,\frac{kW}{h} = \$0.09$$

$$Tiempo\ de\ uso\ de\ la\ máquina = \ 56\ horas$$

$$Consumo\ de\ la\ máquina = (4.1kW)(0.09)(56) \tag{30}$$

$$Consumo\ de\ la\ máquina = \$20.66$$

Máquina Torno

Potencia: 4.47 kW

$$Precio\,\frac{kW}{h} = \$0.09$$

$$Tiempo\ de\ uso\ de\ la\ máquina = \ 4\ horas$$

$$Consumo\ de\ la\ máquina = (4.47kW)(0.09)(4)$$

$$Consumo\ de\ la\ máquina = \$1.61$$

Mano de obra

Para el cálculo se usa el sueldo básico de un trabajador, los días laborables (14 días) y el tiempo que se pasó fabricando la herramienta

$$Mano\ de\ obra = \frac{\$470}{112\ horas}\,x\ horas \tag{31}$$

$$Mano\ de\ obra = \frac{\$470}{112\ horas}\,x\ 8\ horas$$

$$Mano\ de\ obra = \$33.57$$

Uso de las máquinas

Fresadora

$Tiempo\ de\ uso\ de\ la\ máquina = \ 56\ horas$

$1\ hora\ y\ media = \$45$

$$Costo\ de\ uso = 56(45) = \$2520 \quad (32)$$

Torno

$Tiempo\ de\ uso\ de\ la\ máquina = \ 4\ horas$

$1\ hora = \$32$

$$Costo\ de\ uso = 4(32) = \$128$$

$$Total = 2520 + 128 = \$2648 \quad (33)$$

Materiales y herramientas

Tabla 11. Costo materiales y herramientas

Descripción	**Cantidad**	**Valor Unitario**	**Costo**
Bloque de acero	2	10	20
Perno y rosca 5/8”	2	8.58	17.16
Pasador	1	0.03	0.03
Inserto APMT-160408PDER (grado YBG302)	6	2.08	12.5
Valor total			**$49.69**

Costo total

Tabla 12. Costo total de fabricación

Descripción	**Valor**
Gastos energéticos	22.27
Mano de obra	33.57
Uso de máquinas	2648
Materiales y herramientas	49.69
Total	**$2753.53**

3.7 Posibles Mejoras

Si bien la herramienta de ajuste desarrollada cumplió satisfactoriamente con los objetivos planteados, se identificaron algunas oportunidades de mejora que

podrían optimizar aún más su desempeño en futuras versiones.

Una de las mejoras propuestas consiste en la incorporación de insertos en el diámetro interno de las mordazas, los cuales permitirían incrementar la precisión del ajuste y proporcionar una mejor distribución del contacto con la superficie de la tubería. Estos insertos, fabricados en un material de mayor dureza o con acabado texturizado, podrían también contribuir a reducir el deslizamiento y el desgaste sin comprometer la integridad del tubo.

Otra posible mejora se refiere al espesor de las mordazas, el cual podría ser reducido para que coincida con el espesor del mango. Esta modificación permitiría no solo disminuir el peso total de la herramienta, sino también mejorar su maniobrabilidad y facilitar su uso en espacios más reducidos. Sin embargo, esta reducción de espesor debería ir acompañada de un análisis estructural que asegure la resistencia mecánica bajo las condiciones de carga esperadas.

La implementación de estas mejoras contribuiría a perfeccionar el diseño, aumentar la vida útil de la herramienta y adaptarla mejor a distintos entornos operativos, manteniendo siempre los criterios de seguridad, eficiencia y facilidad de uso.

CAPÍTULO 4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- La herramienta diseñada y construida cumple con los requisitos estructurales y funcionales propuestos, ya que resistió esfuerzos de flexión, compresión y corte durante la prueba en una tubería de 3 ½ pulgadas. Los análisis de esfuerzo mediante el método de Von Mises y las simulaciones por elementos finitos confirmaron un desempeño seguro bajo condiciones reales de trabajo.
- La selección de materiales fue adecuada para cada componente. El uso de acero de transmisión AISI 1018 en las mordazas ofreció un buen equilibrio entre resistencia al desgaste y maquinabilidad, mientras que el acero AISI 4140 templado-revenido reutilizado en el mango proporcionó la resistencia y tenacidad necesarias para soportar las cargas aplicadas, cumpliendo así con los objetivos de durabilidad y aprovechamiento de recursos disponibles.
- El diseño tuvo en cuenta la ergonomía operativa, como lo demuestra el estudio postural realizado mediante el método REBA. Si bien se identificaron posturas de riesgo medio y alto, estas no comprometieron la funcionalidad de la llave, aunque sí resaltan áreas de mejora para futuros rediseños orientados a la reducción de esfuerzo físico y riesgo de lesiones musculoesqueléticas.
- La herramienta de ajuste diseñada demostró una reducción significativa del desgaste superficial tanto en las mordazas como en la superficie de la tubería, gracias a su sistema de contacto envolvente y al tratamiento superficial de fosfatado aplicado al acero AISI 1018. Esta característica representa una mejora clave frente a las llaves de tubo convencionales, donde el desgaste prematuro es común.
- El funcionamiento de la herramienta fue estable y ergonómico, permitiendo realizar ajustes con menor esfuerzo físico y sin generar daño visible en las tuberías. La validación práctica demostró que el diseño cumple con los requisitos de control de torque, seguridad de agarre y facilidad de uso en entornos reales.

- Aunque el diseño estructural de la herramienta mostró un comportamiento funcional aceptable durante las pruebas prácticas, el análisis por el criterio de Von Mises evidenció un factor de seguridad real de 23.28, valor superior al requerido de 3 establecido para uniones críticas en aplicaciones manuales. Esta discrepancia señala que, el diseño actual cumple plenamente con los márgenes de seguridad propuestos, lo que representa un sobredimensionamiento estructural importante a considerar para futuras optimizaciones.

4.2 Recomendaciones

- Optimizar el diseño ergonómico de la herramienta mediante ajustes en la altura del punto de aplicación de fuerza o mejoras en el ángulo del mango, con el fin de reducir la flexión del tronco y la elevación excesiva de los brazos, disminuyendo así el puntaje REBA y mejorando la seguridad del operario.
- Aplicar tratamiento térmico superficial a las mordazas (como nitruración o carburizado), para incrementar su resistencia al desgaste sin afectar la tenacidad del núcleo. Esto prolongará la vida útil de la herramienta en condiciones de uso industrial continuo.
- Implementación de insertos en la superficie interna de las mordazas, para garantizar un mayor ajuste con respecto a tener una superficie lista, garantizando la intercambiabilidad de los componentes para un fácil reemplazo y adquisición de los componentes.
- Estandarizar los procesos de fabricación y documentar tolerancias críticas, especialmente en el ajuste del pasador y la rosca del perno, para facilitar una producción repetible en caso de replicar la herramienta en serie o mejorar su mantenimiento en campo.
- Se recomienda corregir la geometría de la herramienta reduciendo el espesor mínimo de las mordazas a 0.00576m, manteniendo el radio interno de 44mm, asegurando así un diseño seguro y eficiente; de igual manera con respecto a las medidas de la sección transversal, se optaría por mantener el ancho de 0.07 m y la altura cambiaría a 0.041m

REFERENCIAS

[1] S. M. L. Gualdron, Diseño de una Herramienta Balanced Scorecard para la Disminución de las Devoluciones de Aceites Lubricantes en una Empresa Petrolera, Bogotá, 2012.

[2] E. C. Willmer La Cruz, Las herramientas tecnológicas en la enseñanza del diseño industrial, 2007: Revista Electrónica de Estudios Telemáticos, vol. 6,, no. 2.

[3] R. R. Rivas, Ergonomía en el Diseño y la Producción Industrial, Buenos Aires: nobuko, 2007.

[4] [En línea]. Available: https://www.eii.uva.es/reic/RMgrado/docs_varios/apuntes_RMgrado.pdf.

[5] C. S. V. A. M. S. Teresa Álvarez Bayona, Herramientas manuales: criterios ergonómicos y de seguridad para su selección, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Madrid: datos abiertos, 2016.

[6] «Api Steel,» [En línea]. Available: https://www.drinol.com/es/technology/api-steel-grade.html#:~:text=El%20grado%20de%20acero%20se,refiere%20al%20límite%20elástico%20mínimo..

[7] «saigaogroup,» [En línea]. Available: https://www.saigaogroup.com/uploads/file/api-05c1-standard.pdf.

[8] «Ridgid,» [En línea]. Available: https://www.ridgid.com/ec/es/llave-recta-para-tubos. [Último acceso: 28 11 2024].

[9] «Serviacero,» [En línea]. Available: https://serviacero.com/wp-content/uploads/2024/03/AISI-1018.pdf. [Último acceso: 13 Junio 2025].

[10] «Panel y Acabados,» [En línea]. Available: https://panelyacanalados.com/blog/acero-a-36-propiedades-y-usos/.

[Último acceso: 13 Junio 2025].

[11] «Europer,» [En línea]. Available: https://europer.cl/wp-content/uploads/2021/10/INFORMACION-TECNICA-SAE-1045.pdf. [Último acceso: 13 Junio 2025].

[12] «matweb,» [En línea]. Available: https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=9f4b2e94285d46ecb679151a4aeb91d2. [Último acceso: 13 Junio 2025].

[13] «matweb,» [En línea]. Available: https://www.solitaire-overseas.com/blog/sae-1018-steel-composition-properties/.

[14] «stsindustria,» [En línea]. Available: https://www.stsindustrial.com/services-resources/fastener-specifications/sae-j429-technical-data?srsltid=AfmBOoqc6LkSNGvrWWwRaQR_vGu62nOtQjQ4jeGSY3X1gUh7rG1Ou3y3.

[15] «safety culture,» [En línea]. Available: https://safetyculture.com/es/temas/factor-de-seguridad/. [Último acceso: 2 Junio 2025].

[16] «Sismscale,» [En línea]. Available: https://www-simscale-com.translate.goog/docs/simwiki/fea-finite-element-analysis/what-is-von-mises-stress/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc. [Último acceso: 13 Junio 2025].

[17] «Temples Industriales alcala,» [En línea]. Available: https://www.templesindustrialesalcala.es/fosfatado/. [Último acceso: 12 Junio 2025].

[18] «DQ powder coatings,» [En línea]. Available: https://www.dqpolvo.com/en-que-consiste-el-proceso-de-fosfatizado/. [Último acceso: 12 Junio 2025].

[19] «union fab,» [En línea]. Available: https://www-unionfab-

com.translate.goog/blog/2024/09/black-phosphate-coating?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge&_x_tr_hist=true. [Último acceso: 13 Junio 2025].

[20] «Safety Culture,» [En línea]. Available: https://safetyculture.com/es/temas/amfe/. [Último acceso: 13 Junio 2025].

[21] «Fracttal,» [En línea]. Available: https://www.fracttal.com/es/guias-mantenimiento/para-que-sirve-el-amfe. [Último acceso: 13 Junio 2025].

[22] «Arsam,» [En línea]. Available: https://www.arsam.es/la-ergonomia-en-herramientas-manuales-y-maquinas/#:~:text=La%20ergonomía%20en%20herramientas%20manuales%20y%20máquinas%20previene%20los%20posibles,condiciones%20del%20lugar%20donde%20trabajas.. [Último acceso: 13 Junio 2025].

[23] «nextprevencion,» [En línea]. Available: https://nextprevencion.com/metodos/ergonomia/metodo-reba/. [Último acceso: 13 Junio 2025].

[24] «Ergonautas,» [En línea]. Available: https://www.ergonautas.upv.es/metodos/reba/reba-ayuda.php. [Último acceso: 11 Junio 2025].

ANEXOS

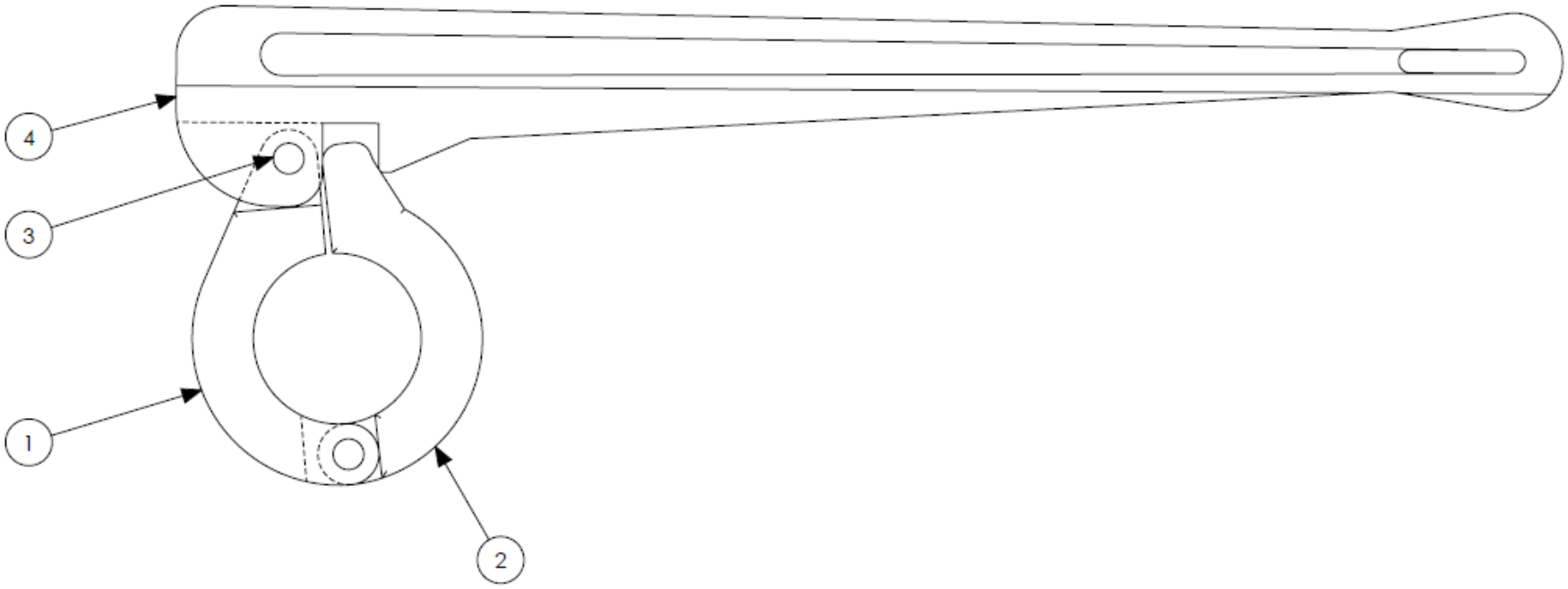
Anexo 1

Tabla 13. Matriz AMFE de la herramienta

Componente	Función	Fallo	Modo de fallo	Efectos	Causa raíz	F	G	D	NPR	Acción
Mango	Transmitir la fuerza de ajuste manual	Pérdida de rigidez	Deformación	Pérdida de transmisión de fuerza, falla estructural	Sobrecarga, reutilización de componente	8	3	4	96	Inspeccionar visualmente el mango y reemplazar si hay fisuras
Mordaza fija	Sostener firmemente el tubo sin dañarlo	Deslizamiento de mordaza	Desgaste por fricción	Pérdida de agarre, riesgo de accidente	Falta de tratamiento superficial, uso intensivo	7	5	4	140	Aplicar fosfatado o tratamiento superficial y lubricar
Mordaza móvil	Ajustarse al diámetro del tubo y permitir el cierre	Desalineación	Juego excesivo	Falla en el ajuste, pérdida de funcionalidad	Desgaste del perno o pivote	7	4	3	84	Ajustar tolerancias, verificar juego axial y lubricar
Perno con tuerca	Sujetar la mordaza móvil al mango	Aflojamiento	Pérdida de torque	Separación parcial o total de la mordaza	Vibración prolongada, apriete insuficiente	6	6	4	144	Reapretar la tuerca con torque adecuado y asegurar con arandela
Perno con pasador	Permitir la unión giratoria entre mango y mordaza	Cizallamiento del pasador	Fractura por carga excesiva	Falla completa del mecanismo de giro	Fuerza excesiva o pasador débil	9	2	3	54	Revisar el pasador regularmente y reemplazar si está dañado

Anexo 3

Planos finales de la herramienta



N.° de pieza	Denominación	N.° de Norma/Dibujo	Material	N°. de orden	N.° de modelo/ semmiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones
1	Mango llave	2	Acero	4	AISI 4140	1kg	
2	Pasador		Acero	3	SAE Grado 8		Perno 5/8
1	Mordaza Izquierda	3	Acero	1	AISI 1018	0.5kg	
1	Mordaza Derecha	4	Acero	2	AISI 1018	0.5kg	

Edic.	Modifi.	Fecha	Nom.

Tolerancia: N.A.

Peso: 2.5 kg

Materiales: Varios

	Fecha	Nombre
Dib.	17/06/25	Tobar A.
Rev	18/06/25	Ing. Castro C.
Apro.	18/06/25	Ing. Castro C.

UTA

Organización

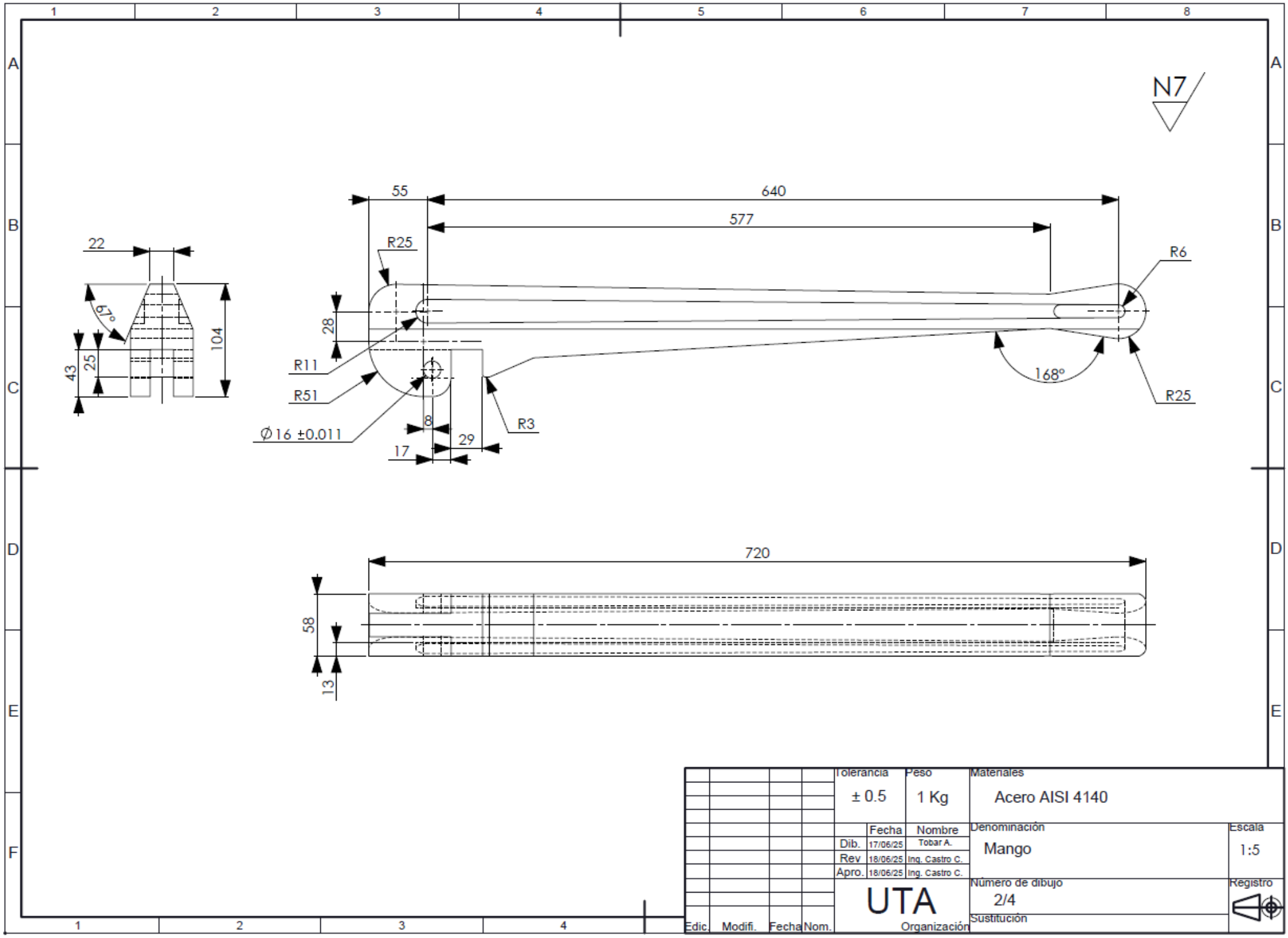
Denominación: Lámina General

Escala: 1:3

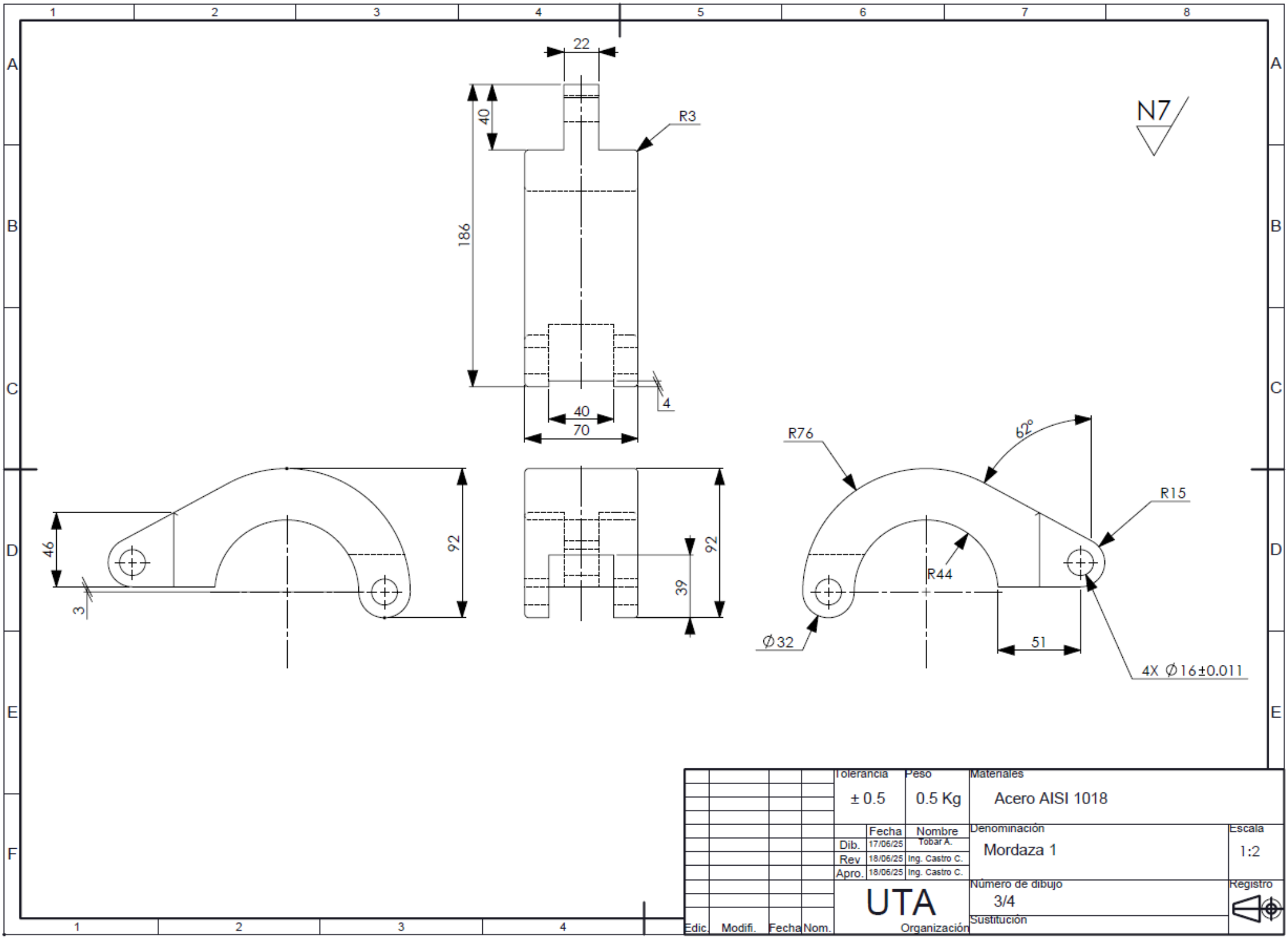
Número de dibujo: 1/4

Sustitución

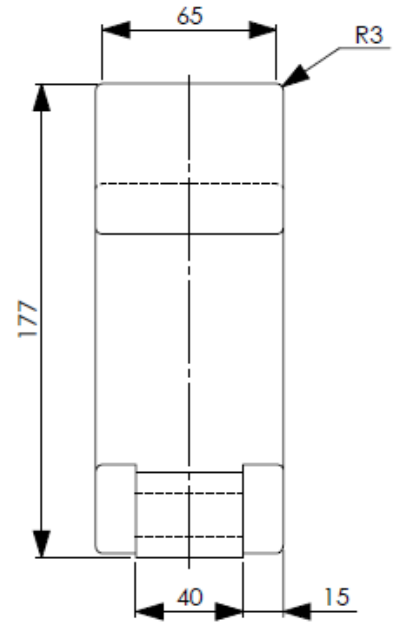
Registro

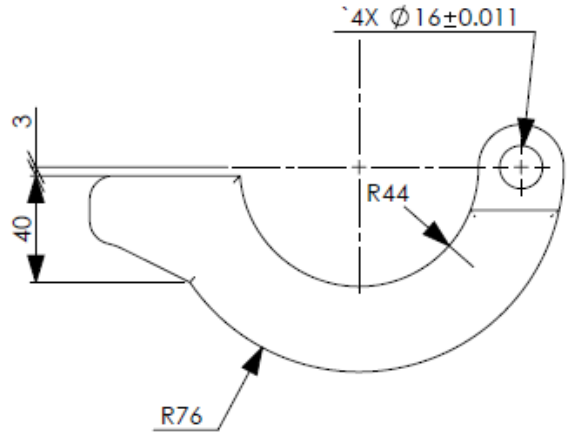


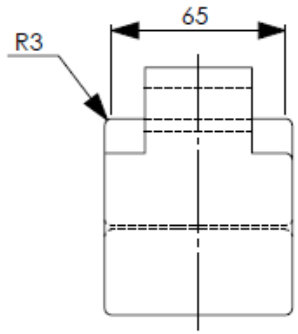
				Tolerancia	Peso	Materiales	
				± 0.5	1 Kg	Acero AISI 4140	
					Fecha	Nombre	Denominación: Mango
				Dib.	17/06/25	Tobar A.	Escala: 1:5
				Rev	18/06/25	Ing. Castro C.	
				Apro.	18/06/25	Ing. Castro C.	
				UTA			Número de dibujo: 2/4
Edic.	Modifi.	Fecha	Nom.	Organización			Sustitución / Registro

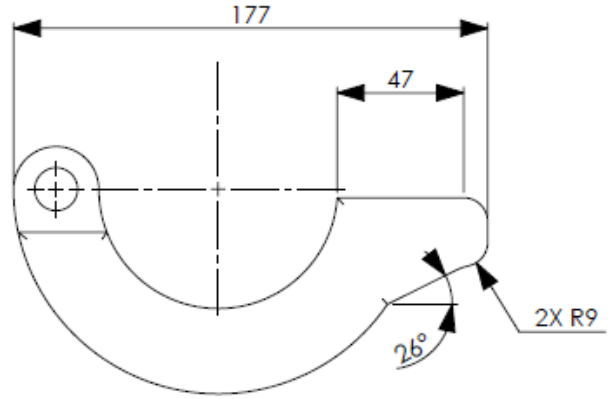


				Tolerancia	Peso	Materiales	
				± 0.5	0.5 Kg	Acero AISI 1018	
					Fecha	Nombre	Denominación / Escala
				Dib.	17/06/25	Tobar A.	Mordaza 1 / 1:2
				Rev	18/06/25	Ing. Castro C.	
				Apro.	18/06/25	Ing. Castro C.	
				UTA			Número de dibujo: 3/4 / Registro
Edic.	Modifi.	Fecha	Nom.	Organización			Sustitución









N7

				Tolerancia	Peso	Materiales	
				± 0.5	0.5 Kg	Acero AISI 1018	
					Fecha	Nombre	Denominación / Escala
				Dib.	17/06/25	Tobar A.	Mordaza 2 / 1:2
				Rev	18/06/25	Ing. Castro C.	
				Apro.	18/06/25	Ing. Castro C.	
				UTA			Número de dibujo: 4/4 / Registro
Edic.	Modifi.	Fecha	Nom.	Organización			Sustitución