

Diseño y construcción de dos tipos de sujetadores de bajo perfil “Toe Clamps” para uso en máquina CNC Leadwell V-20.

Darwin Stiven Bermúdez Suárez

José Luis González Osorio

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Fisicomécanicas

Escuela Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2025

Diseño y construcción de dos tipos de sujetadores de bajo perfil “Toe Clamps” para uso en máquina CNC Leadwell V-20.

Darwin Stiven Bermúdez Suárez

José Luis González Osorio

Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico.

Director

Ing. Jorge Enrique Meneses Flórez

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Fisicomécanicas

Escuela Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2025

Tabla de contenido

Introducción.....	14
1. Objetivos.....	16
1.1. Objetivo general.....	16
1.2. Objetivos específicos.....	16
2. Descripción de proyecto realizado.....	17
2.1. Descripción del sujetador de bajo perfil de apriete lateral con desplazamiento horizontal.....	17
2.2. Descripción del sujetador de bajo perfil con apriete tipo cuña y módulos intercambiables.....	19
3. Preliminares	21
3.1. Recolección de requerimientos técnicos del sistema de sujeción	21
3.1.1 Características operativas de la máquina CNC Leadwell V-20	22
3.1.2. Condiciones de trabajo y parámetros de mecanizado.....	22
3.1.3. Restricciones dimensionales y de fijación en la mesa de trabajo	23
3.1.4. Criterios operativos definidos por el personal de planta	25
3.2. Análisis de alternativas de sujetadores.....	26
3.2.1. Identificación de configuraciones existentes en el mercado	26
3.2.2. Criterios de evaluación técnica y funcional.....	28
3.2.3. Matriz de decisión y selección de soluciones viables.....	29

3.3. Desarrollo del diseño de los sujetadores propuestos	30
3.3.1. Modelado 3D mediante software CAD (SolidWorks)	31
3.3.2. Elaboración de planos técnicos de las piezas	32
3.3.3. Selección de materiales para las piezas estructurales	33
4. Cálculos de diseño	35
4.1. Calculo fuerza de corte.....	35
4.2. Transmisión de fuerzas desde el husillo a la pieza de trabajo.....	36
4.3. Sujetador de bajo perfil de apriete lateral con desplazamiento horizontal.....	38
4.3.1. Diagrama de cuerpo libre módulo de contacto	40
4.3.2. Diagrama de cuerpo libre barras de apriete	41
4.3.3. Diagrama de cuerpo libre módulo de avance	45
4.3.4. Calculo diámetro tornillo de ajuste.....	45
4.3.5. Diagrama de cuerpo libre modulo base	47
4.3.6. Cálculo para selección de tornillos de ajuste a mesa.....	48
4.4. Sujetador de bajo perfil con apriete tipo cuña y módulos intercambiables.....	49
4.4.1. Diagrama de cuerpo libre modulo base	51
4.4.2. Cálculo para selección de tornillos de ajuste a mesa.....	52
4.4.3. Diagrama de cuerpo libre cuña ajustable triangular y cuña ajustable circular	53
4.4.4. Cálculo para selección de tornillos de ajuste a mesa.....	55

5. Análisis estático por elementos finitos mediante SolidWorks Simulation	56
5.1. Análisis estático sujetador de bajo perfil de apriete lateral con desplazamiento horizontal.....	56
5.1.1. Resultados de Tensión (Von Mises).....	59
5.1.2. Resultados de Desplazamiento	59
5.1.3. Factor de Seguridad	60
5.2. Análisis estático sujetador de bajo perfil con apriete tipo cuña y módulos intercambiables.....	61
5.2.1. Resultados de Tensión (Von Mises).....	63
5.2.2. Resultados de Desplazamiento	63
5.2.3. Factor de Seguridad	64
6. Fabricación y Ensamble de Prototipos Funcionales	65
6.1. Proceso de manufactura de componentes.....	65
6.1.1. Corte	65
6.1.3. Fresado.....	66
6.1.4. Roscado	67
6.1.4. Pintura.....	68
6.2. Ensamble de los componentes.....	69
6.3. Evaluación del cumplimiento de requerimientos	72
7. Validación Funcional en Máquina CNC.....	73

7.1. Integración de los sujetadores en la CNC Leadwell V-20	73
8. Conclusiones y Recomendaciones	79
8.1. Conclusiones	79
8.2. Recomendaciones técnicas y académicas	80
9. Presupuesto del Proyecto	82
Referencias Bibliográficas	83
Apéndices	85

Lista de Figuras

Figura 1. Catalogo comercial sujetadores mecánicos.....	15
Figura 2. Sujetadores fabricados.....	17
Figura 3. Sujetador de bajo perfil de apriete lateral con desplazamiento horizontal.....	19
Figura 4. Primer modelo modulo intercambiable	20
Figura 5. Segundo modelo modulo intercambiable.....	21
Figura 6. Maquina Leadwell V-20 ubicada en el laboratorio de la Universidad Industrial de Santander	22
Figura 7. Especificaciones máquina Leadwell V-20	23
Figura 8. Mesa de trabajo maquina.....	24
Figura 9. Dimensiones vista superior mesa Leadwell V-20	24
Figura 10. Vista lateral mesa Leadwell V-20	25
Figura 11. Alternativa 1 sujetador de bajo perfil.....	27
Figura 12. Alternativa 2 sujetador de bajo perfil.....	27
Figura 13. Alternativa 3 sujetador de bajo perfil.....	27
Figura 14. Alternativa 4 sujetador de bajo perfil.....	27
Figura 15. Bocetos sujetadores	31
Figura 16. Vista isométrica de los sujetadores.	32
Figura 17. Plano técnico pieza.....	33
Figura 18. Distribución de fuerza sobre mesa de trabajo	37
Figura 19. Caso 1: Fuerza perpendicular y Caso 2:Fuerza paralela	38
Figura 20. Explosionado de Sujetador de bajo perfil de apriete lateral con desplazamiento	

horizontal.	39
Figura 21. Diagrama de cuerpo libre	39
Figura 22. DCL, módulo de contacto	40
Figura 23. Valores coeficientes de fricción	41
Figura 24. DCL barras de apriete	42
Figura 25. Esfuerzos de barras de apriete	43
Figura 26. Constantes según condición de empotramiento	44
Figura 27. DCL, módulo de avance.....	45
Figura 28. DCL módulo base.....	47
Figura 29. Valores fricción según superficie.....	48
Figura 30. Explosionado de Sujetador de bajo perfil con apriete tipo cuña y módulos intercambiables.	50
Figura 31. Diagrama de cuerpo libre de Sujetador de bajo perfil con apriete tipo cuña y módulos intercambiables	50
Figura 32. Diagrama de cuerpo libre modulo base.....	51
Figura 33. DCL cuña ajustable.	54
Figura 34. Conexiones del ensamble.	57
Figura 35. Condición de fijación	58
Figura 36. Fuerzas aplicadas sobre el sujetador	58
Figura 37. Tensiones generadas sobre el ensamble	59
Figura 38. Desplazamientos sobre el ensamble	60
Figura 39. Factor de seguridad sobre el ensamble.....	60
Figura 40. Interacciones del sistema.....	61

Figura 41. Fijación de sistema.....	62
Figura 42. Fuerzas aplicadas al ensamble.....	62
Figura 43. Tensiones sobre el ensamble	63
Figura 44. Desplazamiento del ensamble	64
Figura 45. Factor de seguridad del ensamble	64
Figura 46. Herramienta de corte	66
Figura 47. Taladro de banco	66
Figura 48. Fresadora	67
Figura 49. Machuelo.....	67
Figura 50. Anticorrosivo wash primer aplicado a los sujetadores.....	68
Figura 51. Explosionado de sujetador de bajo perfil de apriete lateral con desplazamiento horizontal.....	70
Figura 52. Explosionado de Prensa de Bajo Perfil con Módulos Intercambiables.....	71
Figura 53. Imagen módulo de contacto con plano de soldadura	72
Figura 54. Sujetadores en proceso de manufactura	74
Figura 55. Ensamblaje completo del sujetador de bajo perfil con desplazamiento horizontal....	75
Figura 56. Ensamble del sujetador de módulos intercambiables.....	76
Figura 57. Sujetador de desplazamiento horizontal instalado sobre la mesa de trabajo.....	77
Figura 58. Sujetador modular con bloques intercambiables instalado.	78

Lista de Tablas

Tabla 1. Cuadro comparativo de alternativas.....	28
Tabla 2. Matriz de decisión.....	29
Tabla 3. Comparación materiales para la fabricación de los elementos.	34
Tabla 4. Presupuesto del proyecto	82

Lista de Apéndices

Apéndice A. Plano Isométrico primer sujetador	85
Apéndice B. Plano explosionado primer sujetador	86
Apéndice C. Plano modulo fijo.....	87
Apéndice D. Plano modulo intercambiable 1.....	88
Apéndice E. Plano isométrico primer sujetador modulo 2	89
Apéndice F. Vista explosionada primer sujetador modulo 2	90
Apéndice G. Plano pieza móvil 2.....	91
Apéndice H. Plano dado de sujeción	92
Apéndice I. Plano sujetador tipo 2	93
Apéndice J. Plano explosionado sujetador tipo 2	94
Apéndice K. Plano módulo de contacto.....	95
Apéndice L. Plano barra de apriete	96
Apéndice M. Plano módulo de avance.....	97
Apéndice N. Plano modulo base	98
Apéndice O. Plano de soldadura.....	99

Resumen

Título: Diseño y construcción de dos tipos de sujetadores de bajo perfil “Toe Clamps” para uso en máquina CNC Leadwell V-20.

Autor: Darwin Stiven Bermúdez Suárez, José Luis González Osorio.

Palabras Clave: Máquina CNC, Sujetadores, Toe clamps, Mecanizado, sujeción, fabricación.

Se diseñaron y fabricaron dos modelos de sujetadores mecánicos tipo Toe Clamps de bajo perfil, con el propósito de mejorar la fijación de piezas durante operaciones de mecanizado en la máquina CNC Leadwell V-20 de la Universidad Industrial de Santander. Los Toe Clamps de bajo perfil destacan por ofrecer una sujeción firme sin interferir con el recorrido de la herramienta, optimizando así el aprovechamiento del área de trabajo.

Para el desarrollo del proyecto se estudiaron distintas configuraciones de Toe Clamps disponibles en el mercado nacional e internacional, seleccionando dos diseños con buenas prestaciones mecánicas y viabilidad de fabricación local. Estos fueron modelados en 3D mediante el software SolidWorks, donde además se realizaron análisis estructurales y simulaciones por elementos finitos para verificar su resistencia frente a cargas de corte en múltiples direcciones.

Una vez validadas sus características de diseño, los prototipos fueron construidos utilizando materiales disponibles y adecuados para su función. Finalmente, los sujetadores fueron evaluados directamente en la máquina CNC, comprobando su correcto desempeño, rigidez estructural y facilidad de uso, lo que demuestra su aplicabilidad tanto en contextos académicos como industriales

*Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería mecánica. Director: M. Sc. Jorge Enrique Meneses Flórez.

Abstract

Title: Design and construction of two types of low-profile toe clamps for use on a Leadwell V-20 CNC machine.

Author: Darwin Stiven Bermúdez Suárez, José Luis González Osorio.

Keywords: CNC machine, clamps, toe clamps, machining, fastening, manufacturing.

Two models of low-profile mechanical clamps, known as toe clamps, were designed and manufactured with the aim of improving the fixation of parts during machining operations on the Leadwell V-20 CNC machine at the Industrial University of Santander. Low-profile toe clamps stand out for providing a firm grip without interfering with the tool's travel, thus optimizing the use of the work area.

For the development of the project, different configurations of toe clamps available on the national and international market were studied, selecting two designs with good mechanical performance and local manufacturing feasibility. These were modeled in 3D using SolidWorks software, where structural analyses and finite element simulations were also performed to verify their resistance to shear loads in multiple directions.

Once their design characteristics were validated, the prototypes were built using available materials suitable for their function. Finally, the fasteners were evaluated directly on the CNC machine, verifying their correct performance, structural rigidity, and ease of use, demonstrating their applicability in both academic and industrial contexts.

* Degree work

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: M. Sc. Jorge Enrique Meneses Flórez.

Introducción

Las máquinas de Control Numérico por Computadora (CNC) han transformado de manera significativa el sector metalmecánico, al proporcionar un alto nivel de precisión, versatilidad y eficiencia en la fabricación de componentes. Para garantizar su funcionamiento óptimo, resulta indispensable disponer de sistemas de sujeción adecuados, capaces de mantener las piezas firmemente aseguradas durante las operaciones de mecanizado. En este sentido, los sujetadores de bajo perfil tipo *toe clamps* —dispositivos de fijación diseñados para aplicar presión lateral sobre la pieza de trabajo, dejando libre la superficie superior y evitando interferencias con la herramienta de corte (Reid Supply, 2023)— han demostrado ser altamente eficientes, ya que contribuyen a la reducción de vibraciones y desplazamientos. Estudios técnicos reportan que el uso de este tipo de sujetadores puede mejorar hasta en un 25 % la calidad del acabado superficial y la precisión dimensional (Kalpakjian & Schmid, 2014), al asegurar que la pieza permanezca estable durante todo el proceso de mecanizado.

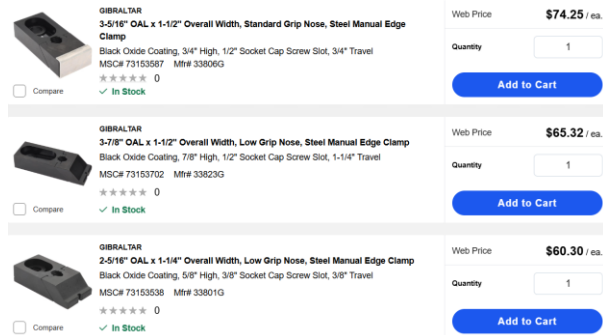
En la Universidad Industrial de Santander (UIS) se emplean actualmente algunos dispositivos de fijación de diseño y fabricación local, que pueden catalogarse como artesanales, ya que son hechos con piezas adaptadas a la necesidad. Sin embargo, no se dispone de sujetadores tipo *toe clamps*, ampliamente utilizados en la industria debido a sus ventajas en términos de rigidez y eficiencia.

A lo anterior se suma que la adquisición de estos sujetadores en el mercado internacional representa una inversión considerable. Como se observa en la Figura 1, los precios unitarios de los *toe clamps* comerciales rondan los 70 dólares por unidad, sin incluir costos adicionales de importación, impuestos y transporte. Esto dificulta su acceso a nivel académico, por lo que se plantea su diseño y fabricación local como una alternativa más económica y sostenible, ajustada

a las necesidades de los laboratorios universitarios.

Figura 1.

Catalogo comercial sujetadores mecánicos



Nota: Tomado de Catalogo MSC.

La presente investigación plantea el diseño y la fabricación de dos modelos de sujetadores mecánicos tipo *toe clamps* dentro de la universidad, con el propósito de demostrar la viabilidad de llevar a cabo un proceso completo de conceptualización, diseño, simulación y manufactura en el entorno académico. Este desarrollo no solo fortalecerá la experiencia formativa de los estudiantes al permitirles interactuar con piezas de aplicación real en la industria, sino que también sentará las bases para futuras líneas de investigación en el área de dispositivos de fijación para mecanizado.

Finalmente, en un contexto donde los profesionales recién egresados enfrentan crecientes dificultades para acceder al mercado laboral, la ejecución de este proyecto abre la posibilidad de explorar el emprendimiento como alternativa viable. El diseño y la producción en serie de sujetadores tipo *toe clamps* representan una oportunidad para responder a las necesidades internas de la universidad y, a su vez, para incursionar en un nicho de mercado en expansión dentro del sector metalmecánico, generando valor agregado tanto en el ámbito académico como en el productivo.

1. Objetivos

1.1. Objetivo general.

Diseñar y fabricar dos tipos de sujetadores personalizados tipo Toe Clamps para la máquina de control numérico computarizado (CNC) Leadwell, modelo V-20, asegurando el cumplimiento de los estándares de fijación y seguridad requeridos en los procesos de mecanizado.

1.2. Objetivos específicos.

Diseñar y construir un sujetador de bajo perfil de apriete lateral con desplazamiento horizontal que cumpla con las siguientes características:

- ✓ Altura máxima de 35 mm, ancho de 120 mm y profundidad de 300 mm.
- ✓ Capacidad para resistir fuerzas de corte entre 1000 y 2000 Newton, garantizando una sujeción firme y estable durante el mecanizado.
- ✓ Asegurar un desplazamiento suave y controlado para un apriete constante, sin riesgo de retroceso.

Diseñar y construir un sujetador de bajo perfil con apriete tipo cuña y módulos intercambiables que cumpla con las siguientes características:

- ✓ Altura máxima de 90 mm, ancho de 120 mm y profundidad de 300 mm.
- ✓ Capacidad para resistir fuerzas de corte entre 1000 y 2000 Newton, garantizando una sujeción firme y estable durante el mecanizado.
- ✓ Sistema de ajuste con un ángulo de inclinación de la cuña de 45°, asegurando un apriete eficiente y preciso.

2. Descripción de proyecto realizado

Como resultado del desarrollo del proyecto, se diseñaron y fabricaron dos modelos de sujetadores mecánicos de bajo perfil tipo Toe Clamps, tal como se observa en la figura 2. Estos sujetadores fueron concebidos como alternativas funcionales frente a los sistemas comerciales disponibles, adoptando el nombre sujetador de bajo perfil de apriete lateral con desplazamiento horizontal y sujetador de bajo perfil con apriete tipo cuña y módulos intercambiables, respectivamente.

Figura 2.

Sujetadores fabricados



2.1. Descripción del sujetador de bajo perfil de apriete lateral con desplazamiento horizontal

Este sujetador de bajo perfil, además de garantizar que la pieza a mecanizar quede libre en su parte superior, proporciona un apriete más constante y uniforme. Gracias a la incorporación de dos pasadores, la fuerza de sujeción se distribuye de manera uniforme, lo que mejora

significativamente la estabilidad de la pieza durante el proceso de mecanizado. Esta distribución eficiente de la fuerza no solo aumenta la resistencia del sujetador frente a las fuerzas de corte generadas por el husillo, sino que también minimiza el riesgo de deformaciones o desplazamientos indeseados en la pieza.

El sistema de sujeción de bajo perfil está compuesto por dos elementos principales: una pieza fija y una pieza móvil. La pieza fija se adhiere directamente a la mesa de trabajo de la máquina CNC, proporcionando una base sólida y estable. La pieza móvil cuenta con dos componentes paralelos unidos por un par de tubos que atraviesan simétricamente la pieza fija. Gracias a estos tubos, la fuerza generada se divide en dos, lo que permite un apriete más eficiente y uniforme, mejorando la estabilidad de la sujeción y distribuyendo mejor la carga.

El mecanismo de sujeción se activa mediante un tornillo de potencia ubicado en la parte trasera del sujetador. Al girar el tornillo en sentido horario, este desplaza toda la pieza móvil hacia adelante, generando una presión constante sobre la pieza de trabajo. El diseño del tornillo asegura que, una vez ajustado, la pieza móvil no retroceda, manteniendo una sujeción firme durante todo el proceso de mecanizado. Este sistema no solo garantiza una fuerza de apriete uniforme, sino que también permite liberar la parte superior de la pieza, proporcionando acceso total y mejorando tanto la eficiencia como la precisión del trabajo.

Figura 3.

Sujetador de bajo perfil de apriete lateral con desplazamiento horizontal.



2.2. Descripción del sujetador de bajo perfil con apriete tipo cuña y módulos intercambiables

La Prensa de Bajo Perfil con Módulos Intercambiables se compone de dos piezas principales: una pieza móvil universal y una pieza fija, diseñada para adaptarse a diversas aplicaciones de sujeción. La característica de este sistema es que la pieza móvil puede intercambiarse con diferentes tipos de módulos, permitiendo una gran flexibilidad en la sujeción de diferentes formas y tamaños de piezas.

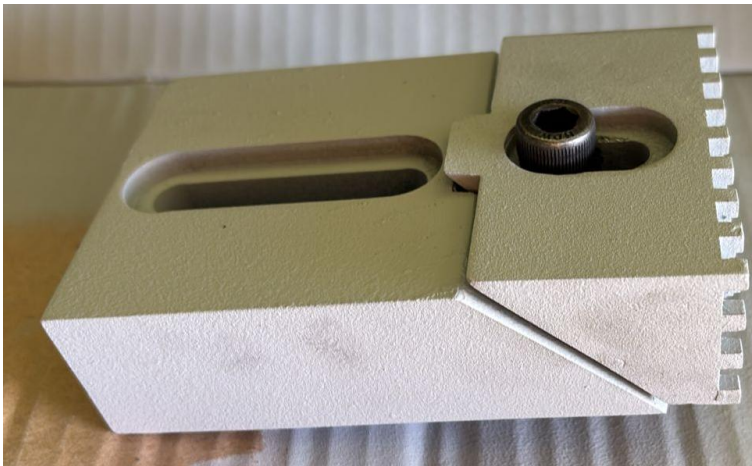
El apriete se logra mediante un mecanismo de cuña, en el cual un tornillo genera el desplazamiento del módulo hacia la pieza de trabajo. Al aflojar el tornillo, la pieza móvil puede deslizarse libremente a lo largo de la ranura. Una vez alcanzada la posición deseada, el tornillo se ajusta nuevamente para inmovilizar el conjunto y asegurar el contacto firme con la pieza. Este sistema asegura un apriete seguro y eficaz, manteniendo la pieza en su lugar durante el mecanizado. Además, el diseño modular facilita la adaptación del sistema a diferentes necesidades de trabajo, lo que maximiza la versatilidad y eficiencia del proceso de sujeción.

En la Figura 4 se presenta el primer módulo intercambiable, diseñado con una altura

reducida ideal para piezas de baja altura. Esta configuración permite un ajuste más preciso y cumple con la funcionalidad de dejar libre la parte superior de la pieza, facilitando así el acceso de las herramientas de corte durante el mecanizado

Figura 4.

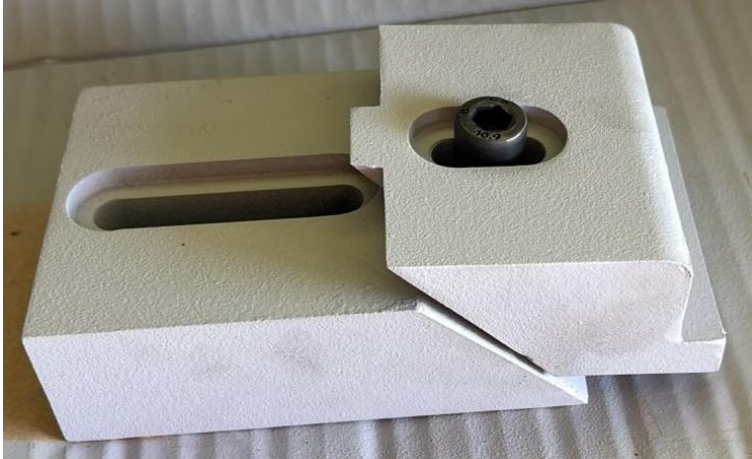
Primer modelo modulo intercambiable



En la Figura 18 se presenta el segundo módulo intercambiable, el cual cuenta con una geometría de mayor altura. Este diseño incorpora un acabado específico que reduce el área de contacto con la pieza, lo que permite concentrar la fuerza aplicada y ejercer una mayor presión de sujeción.

Figura 5.

Segundo modelo modulo intercambiable



3. Preliminares

El proceso metodológico parte de la identificación de los requerimientos funcionales y las limitaciones técnicas del diseño, con el fin de establecer criterios claros para el desarrollo de las propuestas. A partir de este análisis, se generan múltiples alternativas de solución, las cuales son evaluadas comparativamente mediante una matriz de decisión que permite seleccionar las opciones más viables desde el punto de vista técnico y funcional.

3.1. Recolección de requerimientos técnicos del sistema de sujeción

Para garantizar un diseño funcional y compatible con el entorno de trabajo, en esta etapa se identifican y documentan los requerimientos técnicos necesarios que debe cumplir el sistema de sujeción propuesto. Este proceso comienza con el análisis detallado de la máquina CNC Leadwell V-20, considerando sus dimensiones útiles, configuración de la mesa de trabajo, ranuras en T disponibles, capacidad de carga, y tipo de operaciones de mecanizado que se realizan con mayor frecuencia.

3.1.1 Características operativas de la máquina CNC Leadwell V-20

Para realizar un análisis adecuado de los requerimientos del proyecto, es indispensable conocer previamente la máquina sobre la cual se implementarán los sujetadores diseñados. En este caso, se trata de la máquina CNC Leadwell V-20, ubicada en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander que podemos observar en la figura 6.

Figura 6.

Maquina Leadwell V-20 ubicada en el laboratorio de la Universidad Industrial de Santander



3.1.2. Condiciones de trabajo y parámetros de mecanizado

Para conocer las capacidades y limitaciones de la máquina CNC utilizada, se analiza su ficha técnica, donde se identifican parámetros fundamentales para el diseño del sistema de sujeción. Entre estos se encuentran las dimensiones de la mesa de trabajo, los recorridos máximos en los ejes X, Y y Z, y los rangos de velocidad de corte, así como otras características técnicas relevantes. Esta información permite establecer las restricciones operativas bajo las cuales deben funcionar los sujetadores. Las especificaciones detalladas pueden consultarse en la figura 7.

Figura 7.*Especificaciones máquina Leadwell V-20*

Especificaciones		Sobre la Compañía	
Convertir Especificaciones al Sistema Inglés			
X:	508 mm	Mesa-A:	599.44 mm
Y:	406.4 mm	Mesa-L:	350.52 mm
Z:	508 mm	Control:	CNC (Fanuc 0iMB)
Potencia:	11.2 kW	Dimensiones:	67" x 112" x 94"
RPM:	12,000 RPM	Peso:	7,000 Lbs

Nota: Figura adaptada de Machine Web Inc. LEADWELL V-20 Centros de Maquinado Verticales

3.1.3. Restricciones dimensionales y de fijación en la mesa de trabajo

En la figura 8 se presenta la mesa de trabajo de la máquina CNC Leadwell V-20, la cual constituye la superficie principal sobre la que se montan tanto las piezas de trabajo como los elementos de sujeción. Esta vista permite identificar las características generales de las ranuras en T, que son el mecanismo de fijación utilizado en este tipo de maquinaria.

Figura 8.

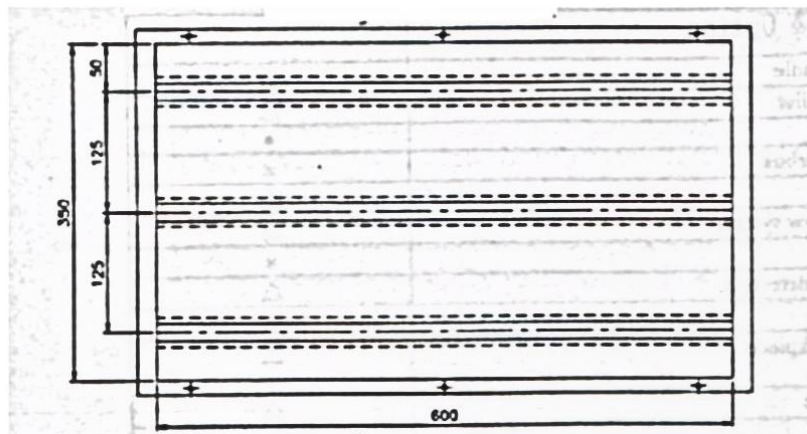
Mesa de trabajo maquina



Posteriormente, en la figura 9, se ilustran las dimensiones relevantes tomadas a partir del trabajo de Benavides (2008) donde se aprecian las cotas principales

Figura 9.

Dimensiones vista superior mesa Leadwell V-20

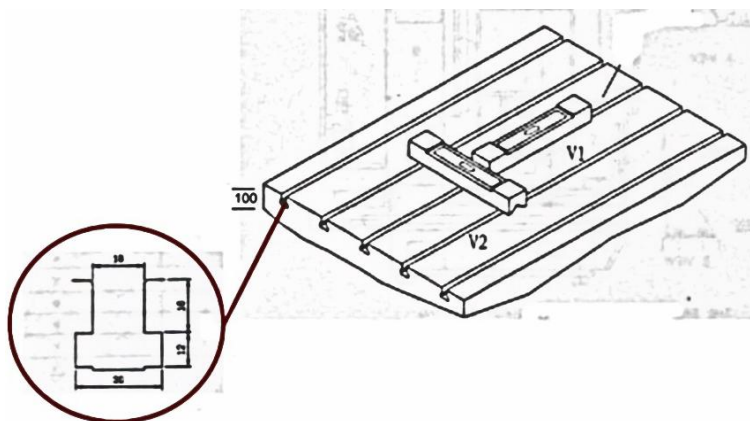


Nota: Tomada de Benavides (2008)

Por otro lado, el dado de sujeción es la pieza clave que permite anclar firmemente el sujetador a la mesa de trabajo a través de las ranuras en T. En la figura 10, se muestran las dimensiones específicas del perfil en forma de “T” de la ranura, las cuales son fundamentales para el diseño del módulo de fijación del sujetador. Estos datos son esenciales y serán utilizados más adelante durante el dimensionamiento estructural de la base del sujetador, con el fin de asegurar su compatibilidad geométrica, estabilidad y capacidad de carga.

Figura 10.

Vista lateral mesa Leadwell V-20



Nota: Tomada de Benavidez (2008)

3.1.4. Criterios operativos definidos por el personal de planta

Como complemento al análisis técnico, se realizó una consulta directa con los operarios encargados de la máquina CNC Leadwell V-20, con el fin de identificar criterios prácticos relevantes para el diseño del sistema de sujeción. A partir de esta interacción se establecieron lineamientos orientados a mejorar la eficiencia, seguridad y usabilidad del sujetador. Entre los aspectos más destacados se incluyen:

Seguridad operativa: El diseño debe minimizar riesgos para el operador durante su uso.

Facilidad de uso y montaje: Se requiere un sistema fácil de instalar y operar, que no demande esfuerzo excesivo.

Flexibilidad de posicionamiento: Debe permitir ajustar su ubicación de acuerdo con la geometría de la pieza.

Durabilidad: El sujetador debe mantener su funcionalidad ante el desgaste por uso frecuente.

Viabilidad económica: El diseño debe ser rentable sin comprometer calidad ni desempeño.

3.2. Análisis de alternativas de sujetadores

Los sujetadores de bajo perfil no son una innovación completamente nueva; de hecho, existen diversos prototipos disponibles en el mercado. Con esto en mente, se llevó a cabo una revisión de diferentes alternativas, tomando en cuenta tanto su desempeño como su compatibilidad con la máquina CNC Leadwell V-20.

3.2.1. Identificación de configuraciones existentes en el mercado

Se realizó una revisión de catálogos industriales especializados, tales como el catálogo de Jergens Inc. y el catálogo de Carr Lane Manufacturing, en los cuales se identificaron múltiples configuraciones de sujetadores tipo Toe Clamp. De entre las opciones disponibles, se seleccionaron aquellas que cumplían con las características de bajo perfil y que, además, presentaban una mayor compatibilidad con la mesa de trabajo de la máquina CNC Leadwell V-20.

Las configuraciones que resultaron más favorables fueron cuatro modelos específicos, los cuales se presentan en las figuras 11,12,13,14, respectivamente (Jergens Inc., 2023; Carr Lane Manufacturing, 2023).

Figura 11.*Alternativa 1 sujetador de bajo perfil*

Nota: Figura adaptada de Edge & Toe Clamps - MB-24148 (2022)

Figura 13.*Alternativa 3 sujetador de bajo perfil*

Nota: Figura tomada de Toe Clamps / OneMonroe. (2015)

Figura 12.*Alternativa 2 sujetador de bajo perfil*

Nota: Figura adaptada de Sujeción de abrazadera de puntera CNC (2018)

Figura 14.*Alternativa 4 sujetador de bajo perfil*

Nota: Figura tomada de Mini Vise Clamps for CNC Routers (2020)

3.2.2. Criterios de evaluación técnica y funcional

En la Tabla 1 se presenta un cuadro comparativo donde cada modelo de sujetador es evaluado frente a once criterios técnicos y funcionales previamente definidos. Esta evaluación permite identificar de forma estructurada las ventajas, limitaciones y el grado de cumplimiento de cada alternativa con respecto a los requerimientos establecidos. Los resultados obtenidos facilitarán el análisis comparativo y servirán como base para la elaboración de la matriz de decisión, que permitirá seleccionar las propuestas más adecuadas para su desarrollo.

Tabla 1.

Cuadro comparativo de alternativas

	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4
EFICIENCIA DEL DISEÑO	Aunque presenta un diseño funcional, la alternativa 1 es menos eficiente en términos de su capacidad para adaptarse a múltiples piezas debido a su estructura más rígida.	Diseño compacto y optimizado para diversas aplicaciones, maximizando la eficiencia en múltiples usos.	Aunque cumple su función, no es tan optimizado como otras opciones.	Excelente diseño de bajo perfil, optimizado para máxima eficiencia en sujeción.
CALIDAD DE SUJECIÓN	Ofrece buena sujeción, pero su capacidad es limitada en comparación con otras alternativas más flexibles.	Excelente sujeción, manteniendo la pieza firmemente en su lugar durante el trabajo CNC.	Proporciona buena sujeción, pero puede ser menos eficaz con piezas más grandes o complejas.	Sujeta firmemente la pieza sin comprometer la precisión de las operaciones CNC.
VERSATILIDAD	La estructura de esta alternativa la hace poco versátil para su uso en diferentes configuraciones.	Altamente versátil, se adapta a distintas configuraciones de trabajo sin dificultad.	Ofrece un nivel aceptable de versatilidad, adecuado para la mayoría de las aplicaciones comunes.	Altamente adaptable a diferentes configuraciones y piezas.
DURABILIDAD	Resiste adecuadamente el desgaste durante el uso prolongado, aunque su diseño podría beneficiarse de mejoras para manejar mejor la fatiga mecánica en condiciones de alta carga.	Su diseño robusto garantiza una excelente durabilidad bajo cargas exigentes, mostrando un buen rendimiento en aplicaciones de uso intensivo.	Presenta una durabilidad aceptable, pero en aplicaciones más exigentes podría requerir ajustes para mantener su vida útil sin necesidad de mantenimiento frecuente.	Ofrece una durabilidad sobresaliente, capaz de mantener su rendimiento durante largos periodos de uso, incluso bajo condiciones de alta carga y exigencia.
FACILIDAD DE FABRICACIÓN	El diseño es algo complejo, lo que podría incrementar los costos de fabricación.	Su diseño es relativamente simple de fabricar, lo que reduce los costos de producción.	Fabricación simple, aunque algo más costosa debido al diseño particular.	Fabricación relativamente simple, lo que reduce costos y tiempos de producción.
ACEPTACIÓN EN EL MERCADO	Producto funcional, pero limitado en aplicaciones, lo que puede reducir su aceptación.	Muy aceptado debido a su funcionalidad y relación calidad-precio.	Aceptación moderada, sin destacar frente a alternativas más competitivas.	Muy aceptado por su rendimiento confiable y relación calidad-precio.
COMPLEJIDAD DEL DISEÑO	El diseño es más complicado en comparación con otras alternativas.	Diseño equilibrado, lo suficientemente simple como para ser eficiente, pero no básico.	Diseño relativamente sencillo, aunque menos eficiente que otros.	Diseño equilibrado, lo que lo hace eficiente pero no demasiado complejo.
COSTOS	La fabricación de esta alternativa requiere un mayor coste debido a su complejidad.	Costos moderados en comparación con el rendimiento que ofrece.	Costos de fabricación moderados, aunque no tan competitivos.	Costos razonables para el nivel de calidad y durabilidad que ofrece.
DIFICULTAD DE AJUSTE/USO	Puede requerir ajustes frecuentes para obtener una sujeción óptima.	Fácil de ajustar y operar, lo que mejora la experiencia del usuario.	Requiere algunos ajustes, lo que puede hacer más lento el proceso.	Fácil de ajustar y operar, lo que lo hace muy conveniente para diferentes aplicaciones.
DESGASTE PREMATURO	Resistente al desgaste, pero puede sufrir más en ciertos ambientes de trabajo.	Resistente al desgaste, incluso en condiciones de trabajo intensas.	Resistencia moderada al desgaste, pero con mayor posibilidad de desgaste en ciertas condiciones.	Alta resistencia al desgaste, incluso con uso intensivo.
SUMINISTRO DE MATERIALES	Dado que se utilizará un único tipo de material para todas las alternativas, se estiman las mismas dificultades en el suministro para todas las alternativas. La selección de material indica ser un material con gran disponibilidad, lo que garantiza su acceso sin interrupciones para la fabricación de los sujetadores.			

3.2.3. Matriz de decisión y selección de soluciones viables

En la Tabla 2 se presenta la matriz de decisión, en la cual se evalúan los cuatro modelos identificados en función de los once criterios técnicos y funcionales previamente establecidos. A cada modelo se le asigna una puntuación del 0 al 10 por cada criterio, donde 0 representa el menor grado de cumplimiento y 10 el nivel óptimo de desempeño. Esta herramienta permite una comparación estructurada y objetiva de las alternativas. Al finalizar el análisis, los modelos con mayor puntuación global son seleccionados como las soluciones viables para continuar con el desarrollo del proyecto.

Tabla 2.

Matriz de decisión

	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4
EFICIENCIA DEL DISEÑO	6	9	5	8
CALIDAD DE SUJECIÓN	7	8	6	8
VERSATILIDAD	6	9	6	9
DURABILIDAD	7	8	7	8
FACILIDAD DE FABRICACIÓN	8	9	6	9
ACEPTACIÓN EN EL MERCADO	7	7	5	7
COMPLEJIDAD DEL DISEÑO	5	9	6	8
COSTOS	7	8	5	8
DIFICULTAD DE AJUSTE/USO	6	9	7	8
DESGASTE PREMATURO	6	8	7	7
SUMINISTRO DE MATERIALES	8			
total	67	92	68	88

Después de completar la matriz de decisión y analizar las evaluaciones de los cuatro prototipos, se tomó la decisión de seleccionar dos tipos de sujetadores la alternativa 2 y 4. Estos se denominarán " sujetador de bajo perfil de apriete lateral con desplazamiento horizontal " y " sujetador de bajo perfil con apriete tipo cuña y módulos intercambiables ". El sujetador de bajo perfil de apriete lateral con desplazamiento horizontal se elige por su capacidad para ofrecer una sujeción ajustable en dirección horizontal, lo cual permite una mayor flexibilidad en el

posicionamiento de las piezas. Por otro lado, el sujetador de bajo perfil con apriete tipo cuña y módulos intercambiables se destaca por su diseño compacto y la posibilidad de cambiar módulos según las necesidades específicas de cada operación, facilitando así la adaptación a diferentes tipos de piezas y procesos. Ambos modelos se seleccionaron para cumplir con los requisitos técnicos y operativos establecidos, garantizando una mejora significativa en la eficiencia y precisión del mecanizado.

3.3. Desarrollo del diseño de los sujetadores propuestos

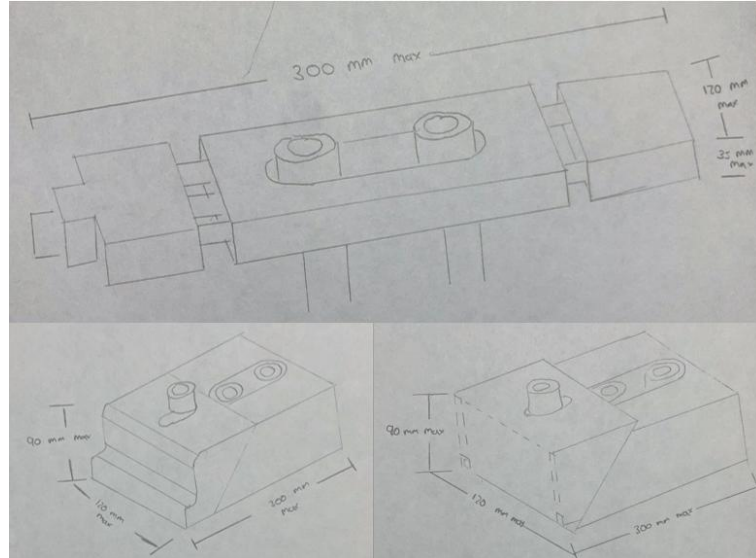
En esta sección se describe el proceso de diseño de los sujetadores seleccionados, el cual incluye la elaboración de bocetos iniciales, modelado 3D en SolidWorks, análisis estructural y simulaciones para validar su funcionamiento bajo condiciones reales de trabajo.

Bocetos preliminares y conceptos inicial

Luego de la revisión de catálogos y la búsqueda de una adaptación adecuada para el funcionamiento en la máquina, se procedió a realizar bocetos a mano alzada. En la Figura 15 se presentan los primeros bocetos de los planos de diseño, donde se plasmaron las dimensiones y conceptos iniciales del sujetador. Estos bocetos permiten visualizar las ideas básicas para el desarrollo posterior del diseño detallado, funcionando como el punto de inicio antes de transferir el diseño a un programa CAD.

Figura 15.

Bocetos sujetadores

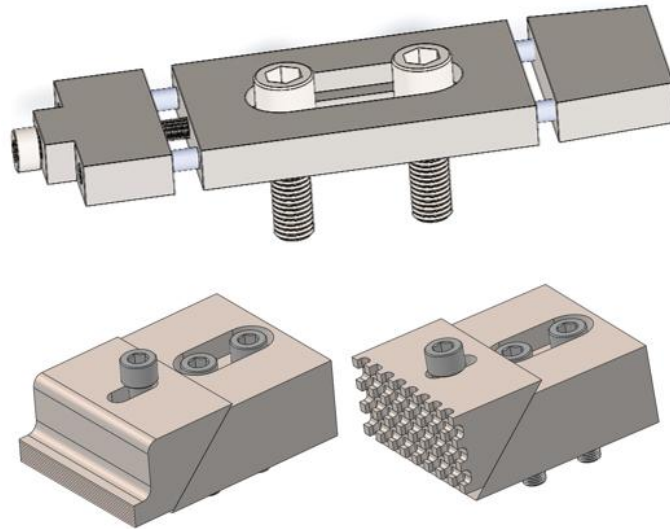


3.3.1. Modelado 3D mediante software CAD (SolidWorks)

Con el fin de garantizar mayor precisión y facilitar el proceso de diseño, se optó por realizar los modelos 3D utilizando el software CAD SolidWorks. En la Figura 16 se puede observar el modelo detallado del sujetador, que permite una visualización precisa de las dimensiones y geometría. Este software también facilita la creación de ensamblajes explosionados, la generación de planos técnicos y la simulación de cargas aplicadas a los elementos. De esta manera, fue posible evaluar el comportamiento estructural de los sujetadores y realizar ajustes necesarios en las cotas, asegurando la funcionalidad y desempeño adecuado del diseño.

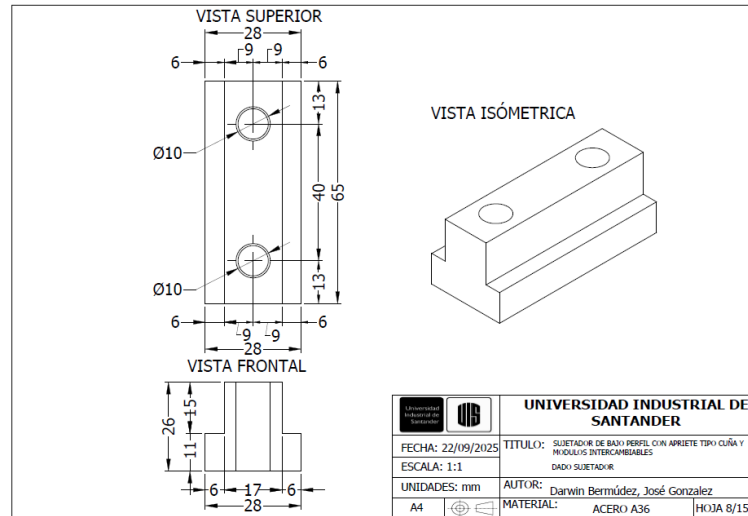
Figura 16.

Vista isométrica de los sujetadores.



3.3.2. Elaboración de planos técnicos de las piezas

Los planos de diseño elaborados para este proyecto de grado fueron desarrollados conforme a las normas ISO 128, que establece las reglas generales de representación en dibujos técnicos, e ISO 129-1, referente a los principios generales de acotación mecánica (ISO, 2018; ISO, 2020). Esto garantiza una representación gráfica precisa y una correcta especificación dimensional de los elementos mecánicos. En la Figura 17 se presenta una vista detallada de una de las piezas diseñadas. Todos los planos técnicos completos se incluyen en la sección de anexos.

Figura 17.*Plano técnico pieza*

3.3.3. Selección de materiales para las piezas estructurales

Para la fabricación de los prototipos funcionales de los sujetadores de bajo perfil, se realizó una evaluación comparativa entre distintos materiales de uso común en aplicaciones mecánicas: acero al carbono laminado en caliente (HR), acero inoxidable AISI 304 y acero aleado AISI 4140. La selección del material se basó en los siguientes criterios: resistencia mecánica adecuada, facilidad de manufactura, disponibilidad en el mercado local, y costo por kilogramo.

A continuación, En la Tabla 3 se hace una comparativa que resume las propiedades más relevantes de estos materiales:

Tabla 3.

Comparación materiales para la fabricación de los elementos.

Material	Resistencia a la tracción (MPa)	Facilidad de Maquinado	Costo aproximado por kg (abril 2025, Colombia)	Disponibilidad local	Comentarios
Acero al carbono laminado en caliente (HR)	370 - 500 MPa	Alta	\$6.500 - \$7.200 COP/kg	Muy alta	Buena soldabilidad, fácil de cortar y fresar.
Acero inoxidable AISI 304	520 - 720 MPa	Media-baja	\$17.000 COP/kg	Alta	Mayor resistencia a la corrosión, pero mayor costo y más difícil de mecanizar
Acero aleado AISI 4140	655 - 870 MPa	Media	\$11.000 COP/kg	Media	Alta resistencia mecánica, requiere tratamiento térmico para mejores propiedades

Nota: Información tomada de Aceros y Aleaciones S.A.S. (2024). Catálogo de productos – Aceros industriales.

Para la fabricación de los sujetadores de bajo perfil, se seleccionó acero al carbono laminado en caliente (HR) debido a su combinación favorable entre costo, resistencia mecánica adecuada y amplia disponibilidad en el mercado colombiano. En comparación con alternativas como el acero inoxidable AISI 304, cuyo costo es significativamente mayor, y con aceros aleados como el AISI 4140, que, aunque ofrece mayor resistencia, resulta innecesario para los niveles de esfuerzo previstos en las piezas diseñadas, el acero HR representa una opción técnica y económicamente eficiente.

Además, su resistencia mecánica permite soportar las fuerzas de corte aplicadas durante el mecanizado sin presentar desprendimientos ni deformaciones en las superficies de contacto

con la pieza, lo que garantiza una sujeción estable, segura y una larga vida útil del conjunto.

4. Cálculos de diseño

4.1. Calculo fuerza de corte

La fuerza de corte se genera cuando la herramienta, montada en el husillo de la máquina, entra en contacto con la pieza de trabajo. Esta interacción produce una transferencia de esfuerzos desde la herramienta hacia la pieza y, por tanto, hacia los ejes de la máquina, afectando directamente el sistema de sujeción y los componentes estructurales del equipo.

El cálculo se realiza aplicando la fórmula empírica propuesta por Groover , referenciada en literatura especializada en manufactura y control numérico computarizado (CNC). Dicha fórmula permite estimar la magnitud de la fuerza de corte considerando parámetros como la profundidad de pasada, el avance por diente, el número de filos de corte, el tipo de material de la pieza y la herramienta de corte. Para complementar el análisis, se consultaron catálogos técnicos de fresas, con el fin de obtener los coeficientes específicos de corte según el material y geometría de la herramienta.

Dicha formula se puede estimar como:

Donde:

F_c = Fuerza de corte

S_{fc} = Fuerza de corte específica (N/mm²), depende del material de la pieza y la herramienta

$$F_c = S_{fc} * S \quad S = \text{sección transversal del corte o espesor de viruta (mm}^2\text{)}$$

La sección de corte se puede estimar como:

$$S = \frac{f_z * z * A_p * A_e}{\pi * D}$$

Donde:

A_p = Profundidad de corte (mm)

f_z = Avance por diente (mm/diente)

z = Número de filos de corte activos

A_e = ancho

D = diámetro

Para este caso:

- $S_{fc} = 2500 \text{ N/mm}^2$, Diámetro(D)=20 mm
- Numero de dientes(z) = 4
- Ancho (Ae)= Diámetro = 20 mm
- Profundidad =Ap= 1*diámetro->Ap= 20 mm
- Velocidad de corte Vc=60 m/min=1m/s
- Avance por diente = fz = 0.081*0.9 -> fz=0.0729 mm/th para ranurado
reducimos el fz en 10%

$$S = \frac{fz * z * Ap * Ae}{\pi * D} = \frac{0.0729 * 4 * 20 * 20}{\pi * 20} = S = 1.86 \text{ mm}^2$$

$$F_c = S_{fc} * S = 2500 * 1.86 = F_c = 4640 \text{ N}$$

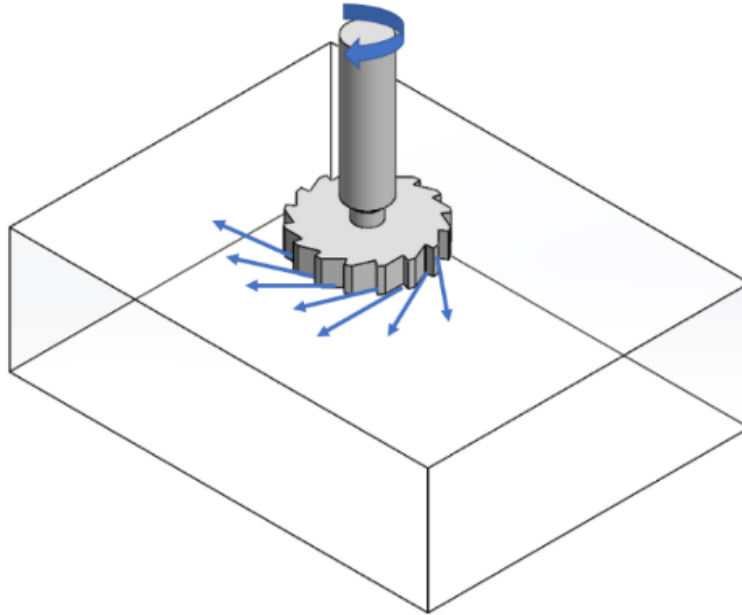
La fuerza de corte considerada para el análisis es de 4640 N. A partir de este valor, se realizarán los cálculos necesarios para el dimensionamiento de los sujetadores, garantizando que puedan resistir adecuadamente los esfuerzos generados durante el proceso de mecanizado sin comprometer la estabilidad de la pieza de trabajo.

4.2. Transmisión de fuerzas desde el husillo a la pieza de trabajo

Durante el mecanizado, el husillo de la máquina genera fuerzas tangenciales como resultado del corte del material. Estas fuerzas se aplican directamente sobre la pieza de trabajo a través de la herramienta de corte, generando reacciones que se transmiten hacia el sistema de sujeción como se muestra en la figura 18.

Figura 18.

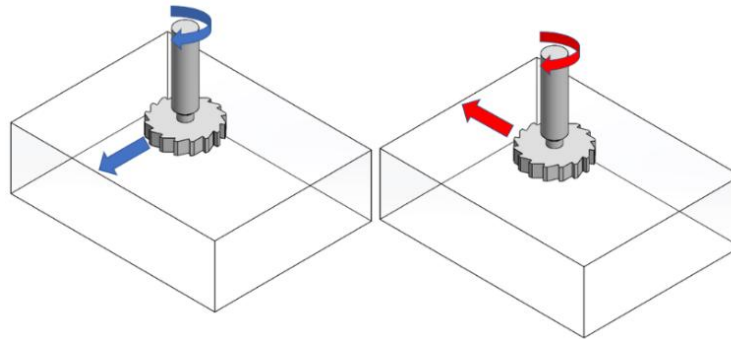
Distribución de fuerza sobre mesa de trabajo



Durante el mecanizado, las fuerzas generadas por el husillo actúan sobre la pieza de trabajo en múltiples direcciones. Sin embargo, para efectos de análisis se considerarán dos casos críticos: cuando la fuerza de corte es paralela al sujetador y cuando es perpendicular. Estas dos direcciones representan las situaciones más exigentes para el sistema de sujeción, ya que al actuar directamente en línea con o contra el sujetador, no se presenta descomposición angular que reduzca su efecto. En cambio, cuando la fuerza actúa con una inclinación respecto al sujetador, esta se descompone en componentes, lo que disminuye la magnitud efectiva en cada dirección. Para este análisis, se tomará como valor de referencia una fuerza de corte de 4640 N.

Figura 19.

Caso 1: Fuerza perpendicular y Caso 2: Fuerza paralela



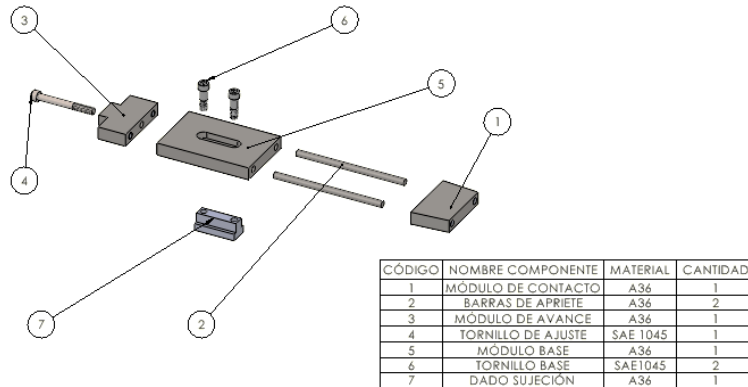
Con el fin de no extender el análisis de las fuerzas que actúan sobre los sujetadores, se ha optado por estudiar únicamente el caso en el que la carga aplicada es perpendicular al plano del sujetador. Esta condición representa el escenario más crítico, ya que, al actuar de forma ortogonal, la fuerza combinada con el coeficiente de fricción genera una reacción mayor que en el caso de una fuerza colineal o aplicada en un ángulo. Cuando la fuerza actúa con cierta inclinación, esta debe descomponerse en sus componentes, lo que reduce la magnitud efectiva que contribuye al deslizamiento o a la pérdida de sujeción. Por lo tanto, para efectos del presente estudio, se considera únicamente el caso de carga perpendicular, al representar la situación más exigente para la capacidad de apriete del sistema.

4.3. Sujetador de bajo perfil de apriete lateral con desplazamiento horizontal

El sujetador de bajo perfil con apriete tipo cuña y módulos intercambiables, mostrado en la figura, presenta una vista explosionada en la que se aprecian los distintos componentes que conforman el ensamble.

Figura 20.

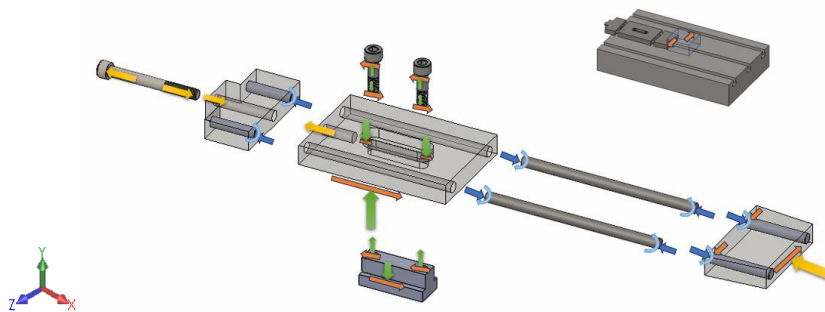
Explosionado de Sujetador de bajo perfil de apriete lateral con desplazamiento horizontal.



En la figura 21 se observan las fuerzas que actúan sobre el sujetador en el caso 1, correspondiente a la situación en la que la fuerza de corte actúa perpendicular a la pieza de trabajo.

Figura 21.

Diagrama de cuerpo libre



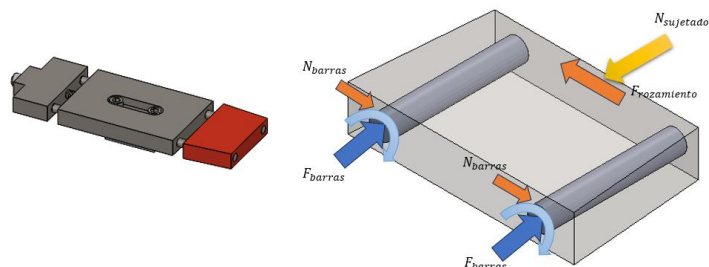
Se realizará el diagrama de cuerpo libre (DCL) de cada uno de los elementos por separado con el fin de identificar y analizar las fuerzas que actúan sobre ellos. A partir de estos diagramas, se calculará el valor de las fuerzas internas y de contacto que garantizan el equilibrio del sistema.

4.31. Diagrama de cuerpo libre módulo de contacto

La figura 22 se presenta el DCL correspondiente al módulo de contacto, donde se ilustran las fuerzas aplicadas.

Figura 22.

DCL, módulo de contacto



En este componente no se considera la existencia de fuerza de rozamiento con la mesa, dado que no hay contacto directo entre ambas superficies. Sin embargo, se realizan los cálculos suponiendo una fuerza de fricción equivalente a la que genera la máquina sobre la pieza, con el objetivo de garantizar que no se produzca desplazamiento en la dirección de dicha fuerza.

A continuación, en la figura 23, se presenta la imagen correspondiente a la tabla 8.1 del libro de Estática de Beer, que contiene valores aproximados del coeficiente de fricción para distintos pares de materiales. En este caso, al tratarse de contacto metal sobre metal, se seleccionó un valor promedio dentro del rango propuesto en la tabla, adoptando un coeficiente de fricción igual a 0.5.

Para los cálculos se emplea la relación entre la fuerza normal y la fuerza de fricción, dada por la ecuación:

$F_r = \mu * N$; donde F_r es la fuerza de rozamiento, μ es el coeficiente de fricción y N es la fuerza normal ejercida entre las superficies en contacto.

$$F_{rozamiento} = N_{máquina} * \mu$$

Figura 23.

$$N_{pieza_1} = \frac{F_{rozamiento}}{\mu}$$

Valores coeficientes de fricción

$$F_{rozamiento} = F_{corte_{máquina}} =$$

4640 Newton

Tabla 8.1. Valores aproximados de los coeficientes de fricción estática para superficies secas

Metal sobre metal	0.15-0.60
Metal sobre madera	0.20-0.60
Metal sobre piedra	0.30-0.70
Metal sobre cuero	0.30-0.60
Madera sobre madera	0.25-0.50
Madera sobre cuero	0.25-0.50
Piedra sobre piedra	0.40-0.70
Tierra sobre tierra	0.20-1.00
Hule sobre concreto	0.60-0.90

$$N_{pieza_{trabajo}} = \frac{4640}{0.5} = 9280 \text{ Newton}$$

Nota: Tomado de libro estática Beer

Esta será la fuerza normal requerida para evitar que la pieza se mueva en la dirección de la fuerza de corte en el caso que se está analizando en este momento.

$$N_{sujetador} = \frac{9280}{2} = 4640 \text{ Newton}$$

Realizando la sumatoria de fuerzas en los ejes x, y z, se obtienen los valores correspondientes a las fuerzas necesarias para garantizar el equilibrio del sistema.

$$\sum F_x = 0 = N_{sujetador} - F_{barras} - F_{barras}$$

$$N_{sujetador} = 2 * F_{barras}$$

$$F_{barras} = \frac{N_{pieza_{trabajo}}}{2}$$

$$F_{barras} = \frac{4640 \text{ Newton}}{2} = 2320 \text{ Newton}$$

$$\sum F_z = 0 = F_{rozamiento} - F_{corte_{barras}} - F_{corte_{barras}}$$

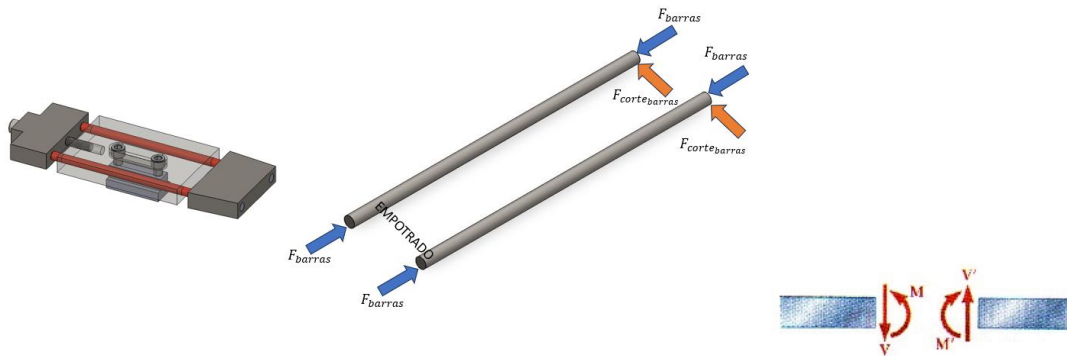
$$F_{rozamiento} = 2 * F_{corte_{barras}}$$

$$F_{corte_{barras}} = \frac{F_{rozamiento}}{2}$$

$$F_{corte_{barras}} = \frac{4640 \text{ Newton}}{2} = 2320 \text{ Newton}$$

4.3.2. Diagrama de cuerpo libre barras de apriete

La figura 24 hace referencia al diagrama de cuerpo libre (DCL) de las barras de apriete, en el cual se identifican las fuerzas que actúan sobre dicho componente.

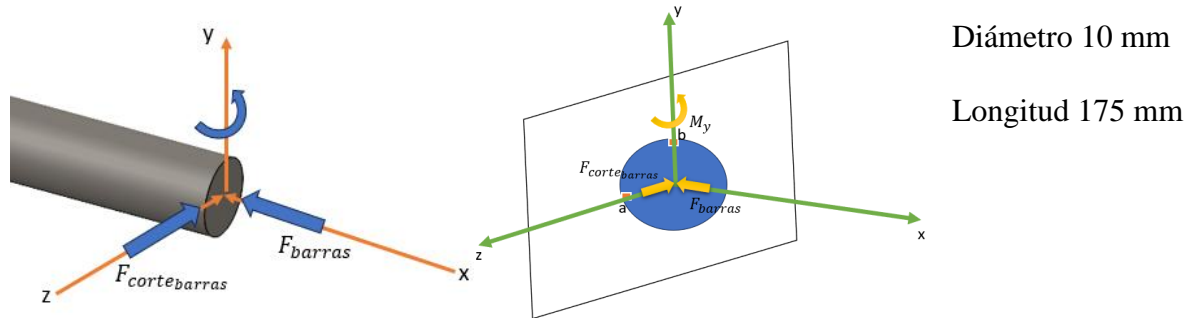
Figura 24.*DCL barras de apriete*

Factor de seguridad.

Para el cálculo del factor de seguridad se utiliza el criterio de Von Mises, el cual es apropiado para materiales dúctiles. Este método permite comparar el esfuerzo equivalente obtenido a partir de los esfuerzos principales con el esfuerzo de fluencia del material. El factor de seguridad se determina como el cociente entre el esfuerzo admisible y el esfuerzo equivalente de Von Mises, asegurando que el componente opere dentro de un rango seguro frente a la falla por cedencia.

Figura 25.

Esfuerzos de barras de apriete



Diámetro 10 mm

Longitud 175 mm

Esfuerzos normales

$$\sigma_a = \frac{F_{barras}}{A} + \frac{M_y * C}{I_y}$$

$$I = \frac{\pi}{4} (r)^2 = \frac{\pi}{4} (0,005)^2 = 4,9087 * 10^{-10} m^{-4}$$

$$J = 2 * I$$

$$M_y = F_t * L = 2320 * 0,175 = 406 N * m$$

$$Area = A = \pi(r)^2 = \pi(0,005)^2$$

$$\sigma_a = \frac{2320}{\pi(0,005)^2} + \frac{406 * (0,005)}{\frac{\pi}{4} (0,005)^2} = 29,65 Mpa$$

$$\sigma_b = \frac{F_{barras}}{A} = \frac{2320}{\pi(0,005)^2} = 29,54 Mpa$$

Esfuerzos cortantes

$$\tau_a = \frac{4 * F_{corte_barras}}{3 * A}$$

$$\tau_a = \frac{4 * 2320}{3 * \pi(0,005)^2}$$

$$\tau_a = 39,38 Mpa$$

Von Mises

$$N = \frac{S_y (\text{esfuerzo de fluencia})}{\sigma (\text{esfuerzo de von mises})}$$

$$\sigma = (\sigma_a^2 + 3 * \tau_a^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma = (29,65^2 + 3 * (39,38)^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma = 74,85$$

$$N_a = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{250}{74,85} = 3,34$$

Por lo tanto, se concluye que las barras de apriete son capaces de soportar el esfuerzo combinado aplicado en uno de sus extremos.

Análisis por pandeo

$$d = \left(\frac{64 * P_{cr} * L^2}{\pi^2 * C * E} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$P_{cr} = F_{pasadores} * n$$

$$n = 1.5$$

$$P_{cr} = 2320 * 1.5 = 3480$$

$$L = 0.175 \text{ m}$$

De la figura 30 se tiene $C = 1.5$ ya que es empotrado

$$E = 200 * 10^9$$

$$d = \left(\frac{64 * 3480 * 0.175^2}{\pi^2 * 1.5 * 200 * 10^9} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$d = 6.9279 \text{ mm} = 7 \text{ mm}$$

Seguridad = 10/7

Figura 26.

Constantes según condición de empotramiento

Tabla 4-2

Constantes de condiciones finales de las columnas de Euler [para usarse con la ecuación (4-43)].

Condiciones de extremos de columnas	Constante C de condición de extremos		
	Valor teórico	Valor conservador	Valor recomendado*
Empotrado-libre	1/4	1/4	1/4
Articulado-articulado	1	1	1
Empotrado-articulado	2	1	1.2
Empotrado-empotrado	4	1	1.2

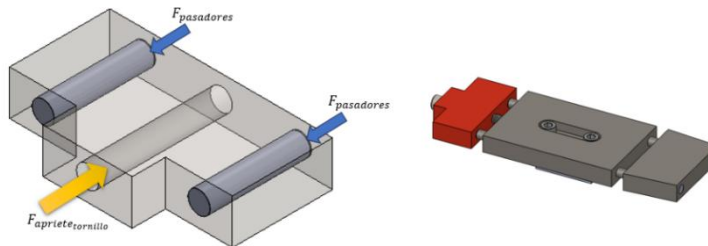
* Para usarse sólo con factores de segunda amplios cuando la carga de la columna se conozca con exactitud.

Nota: Tomado de libro estática Beer

4.3.3. Diagrama de cuerpo libre módulo de avance

Figura 27.

DCL, módulo de avance.



$$\sum F_x = 0 = F_{\text{apriete tornillo}} - F_{\text{pasadores}} - F_{\text{pasadores}}$$

$$F_{\text{apriete tornillo}} = 2 * F_{\text{pasadores}}$$

$$F_{\text{apriete tornillo}} = 2 * 2320$$

$$F_{\text{apriete tornillo}} = 4640 \text{ Newton}$$

Esta es la fuerza necesaria hecha

por el tornillo para garantizar que la pieza a mecanizar se mantenga sujeta al lugar de trabajo.

4.3.4. Calculo diámetro tornillo de ajuste

Se realiza el cálculo del diámetro del tornillo con el fin de garantizar que este elemento sea capaz de resistir las cargas de corte y tracción a las que estará sometido durante el funcionamiento del sistema.

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

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_u}{n}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{\pi}{4} d^2}$$

Donde

- σ_u es la resistencia ultima a la

$$d = \sqrt{\frac{4 * F}{\pi \sigma_{adm}}}$$

tracción del material, en este caso
un acero SAE 1045 estirado en frío

Donde:

$\sigma_u = 630$ Mpa

- F = Fuerza aplicada axialmente

- N es el factor de seguridad $n=2,5$

(tensión) = 4640 N

- σ_{ADM} = Esfuerzo admisible del material (N/mm² o MPa) = 630

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_u}{n} = \frac{630}{2,5} = 252 \text{ Mpa}$$

Mpa

- A = Área resistente (mm²)
- d = Diámetro del tornillo (mm)

Ahora se reemplaza en la ecuación de diámetro y se obtiene el diámetro mínimo para el tornillo que soporte la carga antes calculada.

$$d = \sqrt{\frac{4 * 4640}{\pi(252 * 10^6)}} = 4.8418 * 10^{-3} \text{ m}$$

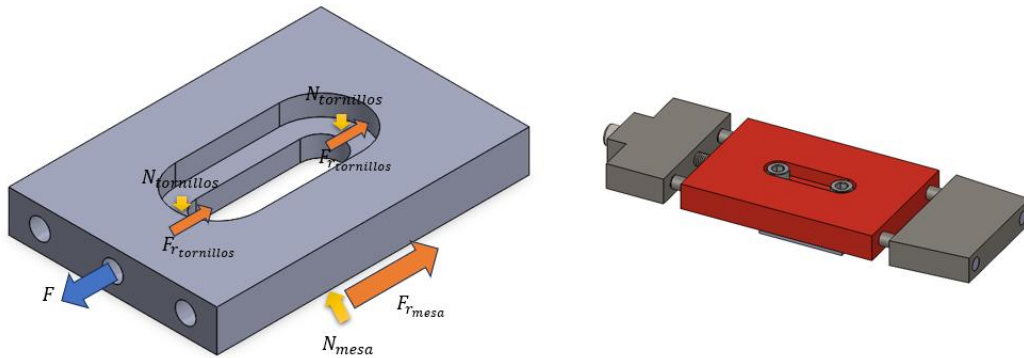
$$d = 4.84 \text{ mm}$$

Se utilizará un **tornillo M10 de acero clase 8.8**, ya que su sección resistente soporta la carga de 5800 N con un factor de seguridad adecuado.

4.3.5. Diagrama de cuerpo libre modulo base

Figura 28.

DCL módulo base.



$$\sum F_x = 0 = F - F_{r_{mesa}} - 2 F_{r_{tornillos}}$$

$$F = F_{r_{mesa}} + 2 F_{r_{tornillos}}$$

$$F_{r_{mesa}} = N_{mesa} * \mu_{mesa-pieza}$$

$$F_{r_{tornillos}} = N_{tornillos} * \mu_{tornillos-pieza}$$

Para garantizar que el sujetador permanezca en estado de equilibrio y no se desplace, la fuerza de rozamiento debe ser mayor o igual a la fuerza que el tornillo transmite a la pieza. A partir de esta condición, se procede al cálculo de la fuerza normal que la pieza ejerce sobre la superficie de la mesa, la cual es necesaria para generar la fricción suficiente que asegure su estabilidad durante el proceso de mecanizado.

$$F_{r_{mesa}} \geq F$$

$$F_{r_{mesa}} \geq N_{mesa} * \mu_{mesa-pieza}$$

$$N_{mesa} = \frac{F_{r_{mesa}}}{\mu_{mesa-pieza}} = \frac{4640}{0.4} = 11600$$

$$\sum F_y = 0 = N_{mesa} - N_{tornillos} - N_{tornillos}$$

$$N_{mesa} = 2 * N_{tornillos}$$

Figura 29.

Valores fricción según superficie

Tabla 8.1. Valores aproximados de los coeficientes de fricción estática para superficies secas

Metal sobre metal	0.15-0.60
Metal sobre madera	0.20-0.60
Metal sobre piedra	0.30-0.70
Metal sobre cuero	0.30-0.60
Madera sobre madera	0.25-0.50
Madera sobre cuero	0.25-0.50
Piedra sobre piedra	0.40-0.70
Tierra sobre tierra	0.20-1.00
Hule sobre concreto	0.60-0.90

$$N_{\text{tornillos}} = \frac{N_{\text{mesa}}}{2} = \frac{11600}{2}$$

$$= 5800 \text{ Newton}$$

Nota: Tomado de libro estática Beer

Este corresponde al valor de la fuerza normal que debe generar cada uno de los dos tornillos para mantener la pieza en su posición inicial y evitar cualquier desplazamiento durante el funcionamiento.

4.3.6. Cálculo para selección de tornillos de ajuste a mesa

Para seleccionar los tornillos capaces de soportar las fuerzas requeridas, es necesario determinar el esfuerzo al que estarán sometidos, utilizando la siguiente fórmula:

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

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_u}{n}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{\pi}{4} d^2}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * F}{\pi \sigma_{adm}}}$$

Donde:

- F = Fuerza aplicada axialmente

Donde

- σ_u es la resistencia ultima a la tracción del material, en este caso un acero SAE 1045 estirado en frio $\sigma_u=630 \text{ Mpa}$
- N es el factor de seguridad $n=2,5$

(tensión) = 5800 N

- σ_{ADM} = Esfuerzo admisible del material (N/mm² o MPa) = 630

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_u}{n} = \frac{630}{2,5} = 252 \text{ Mpa}$$

Mpa

- A = Área resistente (mm²)
- d = Diámetro del tornillo (mm)

A continuación, se reemplazan los valores en la ecuación correspondiente para determinar el diámetro mínimo del tornillo que permita soportar la carga previamente calculada sin exceder el esfuerzo admisible del material.

$$d = \sqrt{\frac{4 * 5800}{\pi(252 * 10^6)}} = 5.4133 * 10^{-3} \text{ m}$$

$$d = 5.5 \text{ mm}$$

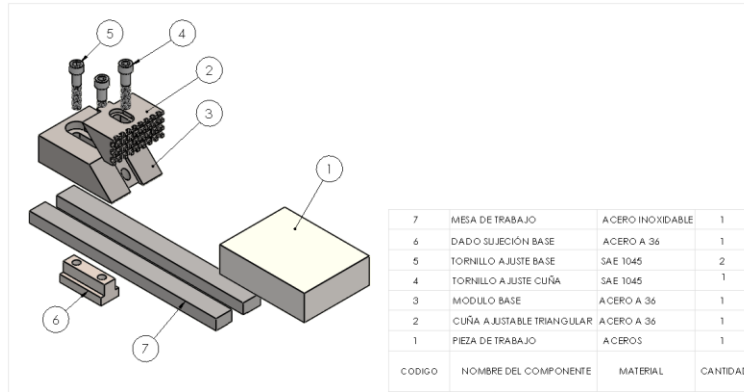
Se utilizará un tornillo M10 de acero clase 8.8, ya que su sección resistente soporta la carga de 5800 N con un factor de seguridad adecuado.

4.4. Sujetador de bajo perfil con apriete tipo cuña y módulos intercambiables

El sujetador de bajo perfil con apriete tipo cuña y módulos intercambiables, mostrado en la figura, presenta una vista explosionada en la que se aprecian los distintos componentes que conforman el ensamble

Figura 30.

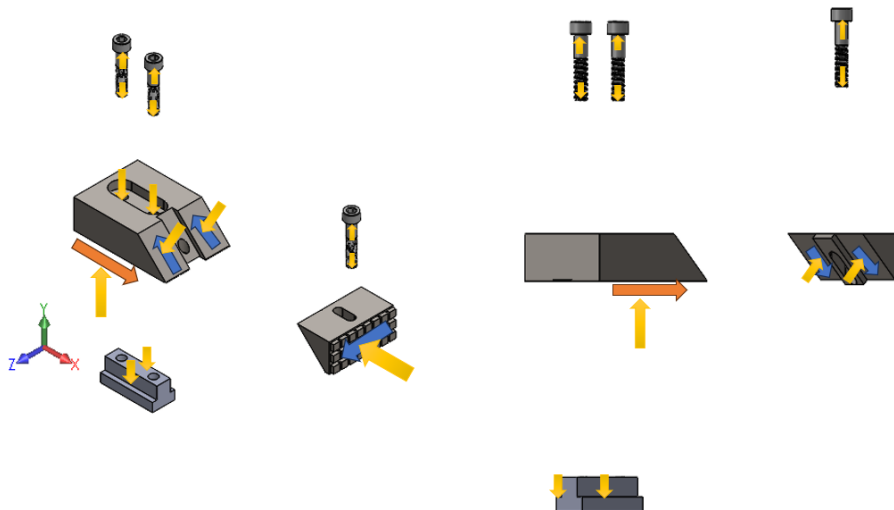
Explosionado de Sujetador de bajo perfil con apriete tipo cuña y módulos intercambiables.



En la imagen 35 se observan las fuerzas que actúan sobre el sujetador en el caso 1, correspondiente a la situación en la que la fuerza de corte actúa perpendicular a la pieza de trabajo.

Figura 31.

Diagrama de cuerpo libre de Sujetador de bajo perfil con apriete tipo cuña y módulos intercambiables



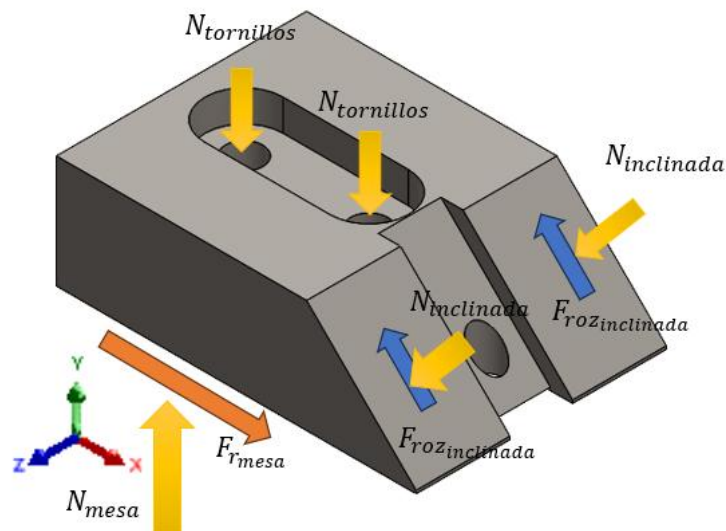
Se realizará el diagrama de cuerpo libre (DCL) de cada uno de los elementos por separado con el fin de identificar y analizar las fuerzas que actúan sobre ellos. A partir de estos diagramas, se calculará el valor de las fuerzas internas y de contacto que garantizan el equilibrio del sistema.

4.4.1. Diagrama de cuerpo libre modulo base

La figura 32 se presenta el DCL correspondiente al módulo base, donde se ilustran las fuerzas aplicadas.

Figura 32.

Diagrama de cuerpo libre modulo base



A partir del análisis de equilibrio en el eje X, se plantea la siguiente ecuación:

$$\sum F_x = 0 = 2 * N_{inclinada_x} - F_{roz_mesa}$$

$$F_{roz_mesa} = 2 * N_{inclinada_x}$$

$$F_{roz_mesa} = 2 * 2320 = 4640 \text{ Newton}$$

La existencia de esta fuerza de rozamiento implica una fuerza normal asociada entre la pieza y la mesa, la cual se calcula mediante la ecuación:

$$F_{roz} = \mu * N$$

$$N = \frac{F_{roz}}{\mu} = \frac{4640}{0.4} = 11600 \text{ Newton}$$

Con esta fuerza normal conocida, se procede a realizar la sumatoria de fuerzas en el eje

Y:

$$\sum F_y = 0 = -N_{\text{mesa}} + 2 * N_{\text{inclinada}_y} + 2 * N_{\text{tornillos}}$$

$$N_{\text{tornillos}} = \frac{N_{\text{mesa}} - 2 * N_{\text{inclinada}_y}}{2}$$

$$N_{\text{tornillos}} = \frac{11600 - 2 * 2320}{2} = 3480 \text{ Newton}$$

Por lo tanto, cada tornillo debe generar una fuerza normal de 3480 N para garantizar el equilibrio vertical de la pieza.

4.4.2. Cálculo para selección de tornillos de ajuste a mesa

Para seleccionar los tornillos capaces de soportar las fuerzas requeridas, es necesario determinar el esfuerzo al que estarán sometidos, utilizando la siguiente fórmula:

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

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_u}{n}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{\pi}{4} d^2}$$

Donde

- σ_u es la resistencia ultima a la tracción del material, en este caso un acero SAE 1045 estirado en frio

$$d = \sqrt{\frac{4 * F}{\pi \sigma_{adm}}}$$

Donde:

$$\sigma_u = 630 \text{ Mpa}$$

- F = Fuerza aplicada axialmente

- N es el factor de seguridad $n=2,5$

(tensión) = 5800 N

- σ_{ADM} = Esfuerzo admisible del material (N/mm² o MPa) = 630

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_u}{n} = \frac{630}{2,5} = 252 \text{ Mpa}$$

Mpa

- A = Área resistente (mm²)
- d = Diámetro del tornillo (mm)

A continuación, se reemplazan los valores en la ecuación correspondiente para determinar el diámetro mínimo del tornillo que permita soportar la carga previamente calculada sin exceder el esfuerzo admisible del material.

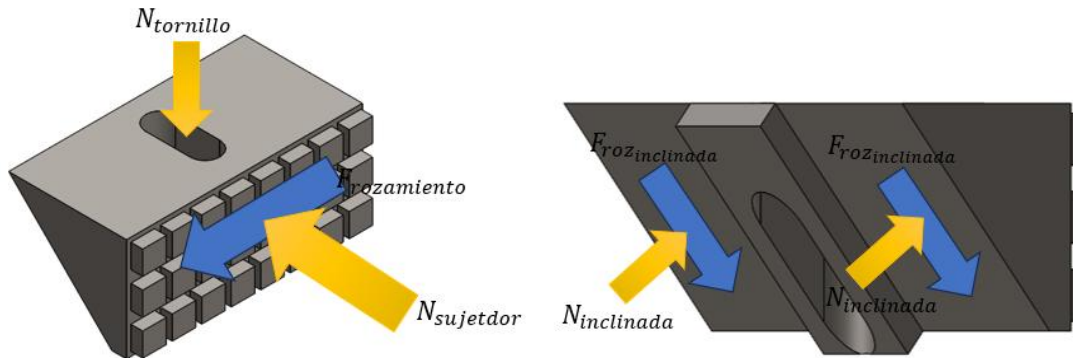
$$d = \sqrt{\frac{4 * 5800}{\pi(252 * 10^6)}} = 5.4133 * 10^{-3} \text{ m}$$

$$d = 5.5 \text{ mm}$$

Se utilizará un tornillo M10 de acero clase 8.8, ya que su sección resistente soporta la carga de 5800 N con un factor de seguridad adecuado.

4.4.3. Diagrama de cuerpo libre cuña ajustable triangular y cuña ajustable circular

Dado que las piezas intercambiables presentan geometrías diferentes, pero sus diagramas de cuerpo libre (DCL) resultan muy similares en cuanto a la distribución de fuerzas, se opta por discretizar el análisis y realizarlo una sola vez. Esta simplificación es válida, ya que las condiciones de carga y los puntos de apoyo se mantienen equivalentes entre las distintas configuraciones.

Figura 33.*DCL cuña ajustable.*

A partir del análisis de equilibrio en el eje X, se establece la siguiente expresión:

$$\sum F_x = 0 = N_{sujetador} - 2 * N_{inclinada_x}$$

$$N_{sujetador} = 2 * N_{inclinada_x}$$

$$N_{inclinada_x} = \frac{N_{sujetador}}{2}$$

$$N_{inclinada_x} = \frac{4640 \text{ N}}{2} = 2320 \text{ N}$$

A continuación, se realiza la sumatoria de fuerzas en el eje Y:

$$\sum F_y = 0 = 2 * N_{inclinada_y} - N_{tornillo}$$

$$N_{tornillo} = 2 * N_{inclinada_y}$$

Dado que las fuerzas inclinadas actúan a 45°, sus componentes en los ejes X y Y son iguales. Por tanto:

$$N_{inclinada_y} = N_{inclinada_x} = 2320 \text{ N}$$

Finalmente, se determina la fuerza normal que debe proporcionar el tornillo para

mantener el equilibrio del sistema:

$$N_{\text{tornillo}} = 2 * 2320 \text{ N} = 4640 \text{ N}$$

4.4.4. Cálculo para selección de tornillos de ajuste a mesa

Para seleccionar los tornillos capaces de soportar las fuerzas requeridas, es necesario determinar el esfuerzo al que estarán sometidos, utilizando la siguiente fórmula:

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

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_u}{n}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{\pi}{4} d^2}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * F}{\pi \sigma_{adm}}}$$

Donde

- σ_u es la resistencia ultima a la tracción del material, en este caso un acero SAE 1045 estirado en frio $\sigma_u=630 \text{ Mpa}$
- N es el factor de seguridad $n=2,5$

Donde:

- F = Fuerza aplicada axialmente (tensión) = 5800 N
- σ_{ADM} = Esfuerzo admisible del material (N/mm² o MPa) = 630 Mpa
- A = Área resistente (mm²)
- d = Diámetro del tornillo (mm)

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_u}{n} = \frac{630}{2,5} = 252 \text{ Mpa}$$

A continuación, se reemplazan los valores en la ecuación correspondiente para determinar el diámetro mínimo del tornillo que permita soportar la carga previamente calculada sin exceder el esfuerzo admisible del material.

$$d = \sqrt{\frac{4 * 5800}{\pi(252 * 10^6)}} = 5.4133 * 10^{-3} m$$

$$d = 5.5 mm$$

Se utilizará un tornillo M10 de acero clase 8.8, ya que su sección resistente soporta la carga de 5800 N con un factor de seguridad adecuado.

5. Análisis estático por elementos finitos mediante SolidWorks Simulation

A partir de los diagramas de cuerpo libre (DCL) previamente desarrollados para cada componente individual y para el conjunto del ensamble, se procede a la implementación del análisis computacional mediante el software SolidWorks 2023, utilizando su módulo integrado SolidWorks Simulation. Este entorno permite replicar las condiciones de carga reales a las que estarán sometidas las piezas durante el funcionamiento. El análisis se basa en la metodología del método de elementos finitos (FEM), a través del cual se evalúan las distribuciones de tensión, los desplazamientos resultantes y los factores de seguridad de cada componente, considerando las restricciones mecánicas y condiciones de contacto propias del ensamble

5.1. Análisis estático sujetador de bajo perfil de apriete lateral con desplazamiento horizontal

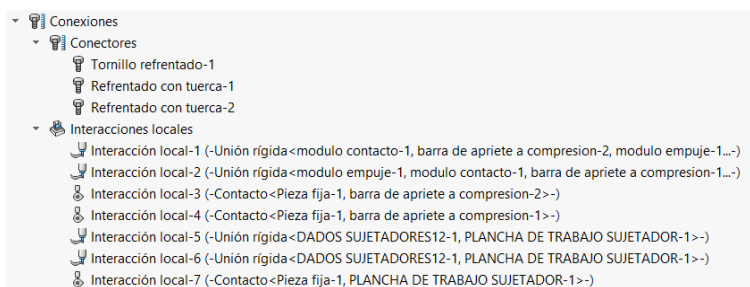
El análisis estático del sujetador de bajo perfil de apriete lateral con desplazamiento horizontal se realizará partiendo del ensamble previamente modelado en SolidWorks. A partir de este modelo, se procede a la asignación de material a cada uno de los componentes, de acuerdo con las propiedades mecánicas reales de fabricación. En este caso, se emplea acero A36

laminado en caliente (A36 HR), el cual fue previamente seleccionado en etapas anteriores del diseño por su disponibilidad, facilidad de maquinado y adecuadas propiedades mecánicas para soportar esfuerzos de compresión, tracción y corte.

En la Figura 34, se definen las conexiones del sistema. Se asignan conexiones de pernos en tres ubicaciones: dos corresponden a los tornillos que fijan el sujetador a la mesa, y uno representa el tornillo de potencia ubicado en la parte posterior, los cuales están sometidos a carga axial. Además, se incorporan interacciones de contacto específicas: se simulan uniones rígidas en las zonas de soldadura para representar su comportamiento estructural, y contactos libres en superficies en donde solo existe interacción por contacto, evitando que el programa considere todo el ensamble como un único cuerpo sólido.

Figura 34.

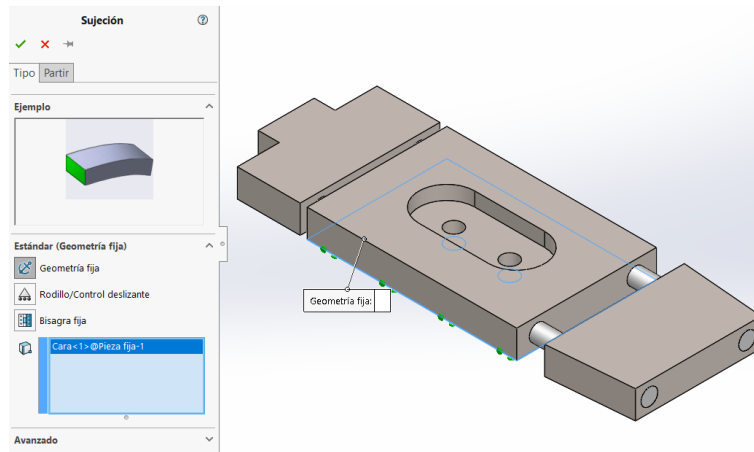
Conexiones del ensamble.



Una vez definidas las interacciones, se establece una restricción fija en la cara posterior del módulo base, tal como se muestra en la Figura 35. Esta condición de fijación se implementa con el fin de representar de forma realista el montaje del sujetador sobre la superficie de trabajo.

Figura 35.

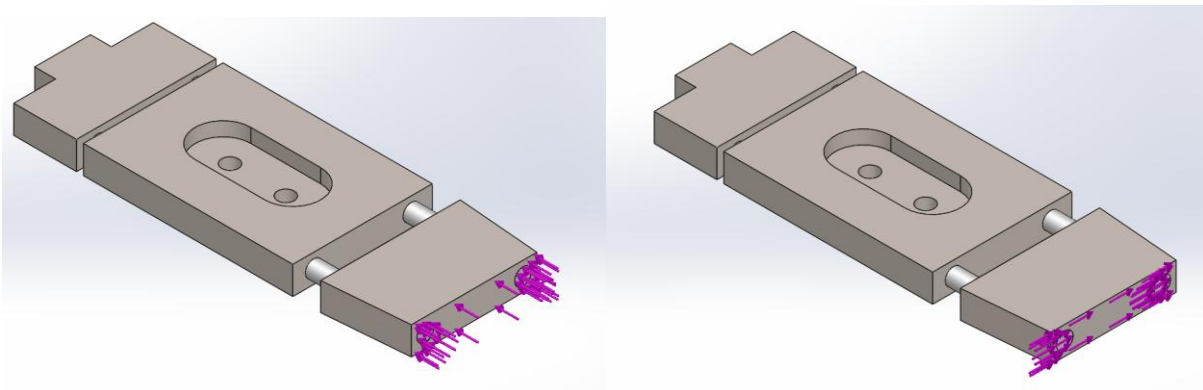
Condición de fijación



En la figura 36 se observan las dos fuerzas aplicadas al sistema. Se considera únicamente el caso en que ambas son perpendiculares al plano de apriete, ya que esta configuración representa la condición de carga más crítica para la estabilidad del conjunto.

Figura 36.

Fuerzas aplicadas sobre el sujetador



Posteriormente, se realiza un control de mallado localizado, aplicando un refinamiento en aquellas zonas que presentan mayores concentraciones de esfuerzo o que son geoméricamente

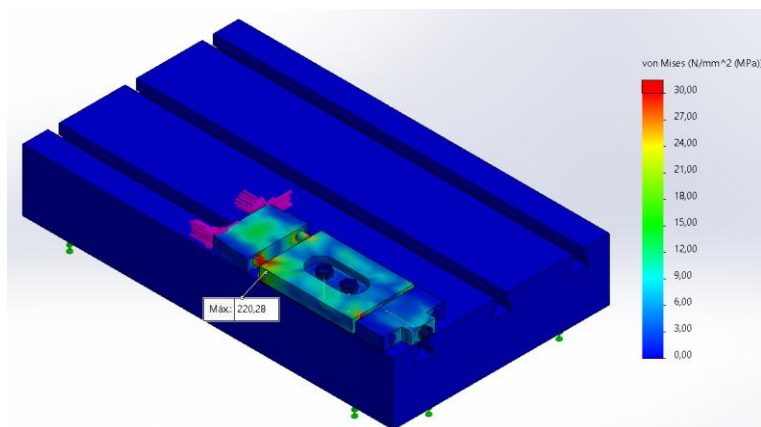
más complejas. Con el modelo ya configurado, se ejecuta el análisis estático por elementos finitos. Los resultados obtenidos incluyen tres variables fundamentales para la evaluación estructural del sujetador: la distribución de tensiones (Von Mises), los desplazamientos generados en el sistema, y el factor de seguridad más crítico del sistema.

5.1.1. Resultados de Tensión (Von Mises)

La simulación por elementos finitos permitió obtener la distribución de tensiones en el sujetador, según el criterio de Von Mises. El valor máximo registrado fue de 220.28 MPa, como se observa en la figura 37. Este resultado indica las zonas de mayor exigencia mecánica dentro del conjunto.

Figura 37.

Tensiones generadas sobre el ensamble

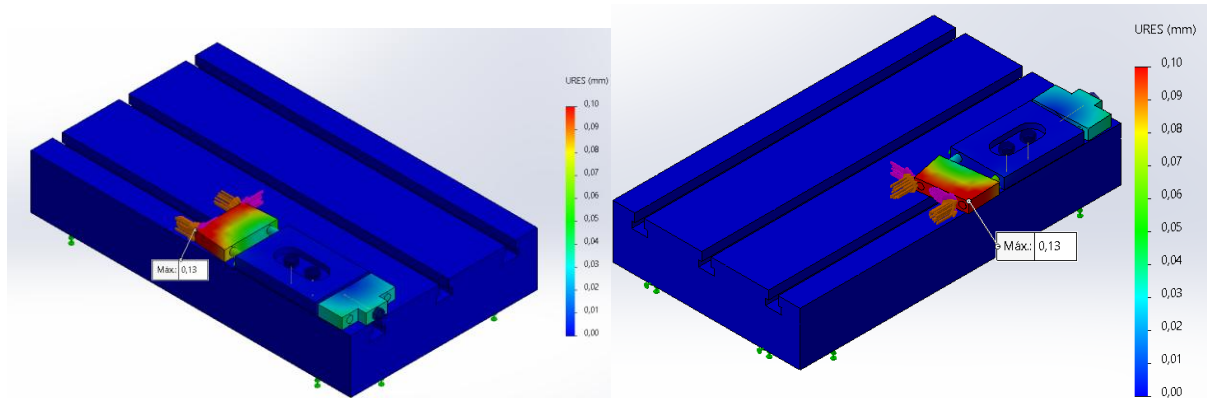


5.1.2. Resultados de Desplazamiento

Como resultado del análisis estático, se obtuvo el desplazamiento máximo del conjunto, cuyo valor fue de 0.13 mm, tal como se muestra en la figura 38. Este valor representa la deformación máxima del sistema bajo las condiciones de carga simuladas.

Figura 38.

Desplazamientos sobre el ensamble

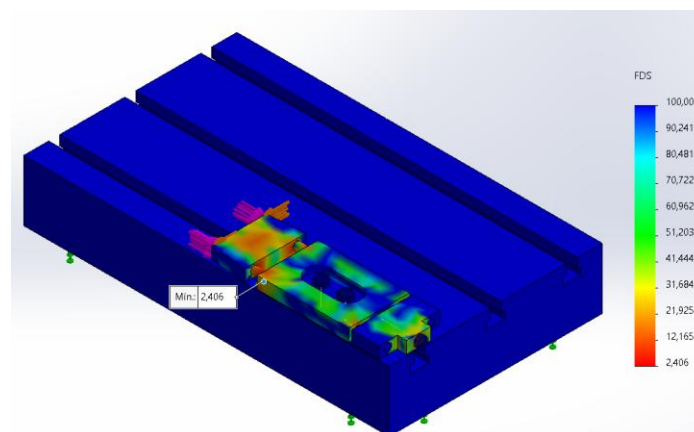


5.1.3. Factor de Seguridad

El análisis por elementos finitos arrojó un factor de seguridad mínimo de 2.406, como se observa en la figura 39. Este valor permite evaluar la confiabilidad estructural del sujetador bajo las condiciones de carga aplicadas, considerando el criterio de falla de Von Mises. Un valor mayor a 1 indica que el diseño se encuentra dentro de los límites de resistencia del material.

Figura 39.

Factor de seguridad sobre el ensamble



El valor obtenido del factor de seguridad indica que el sujetador no solo es capaz de resistir la carga aplicada en la simulación, sino que también posee capacidad para soportar cargas mayores sin comprometer su integridad estructural.

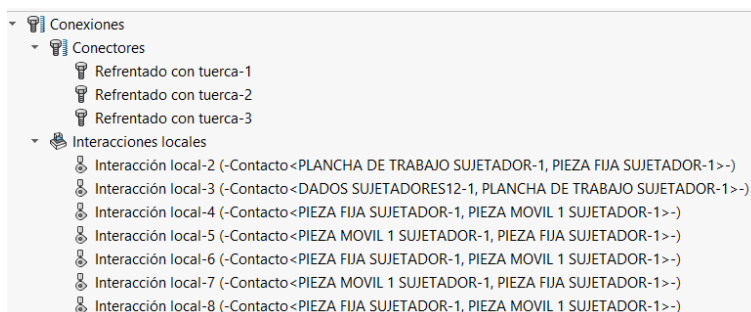
5.2. Análisis estático sujetador de bajo perfil con apriete tipo cuña y módulos intercambiables

El análisis estático del sujetador de bajo perfil con apriete tipo cuña y módulos intercambiables se realizará partiendo del ensamble previamente modelado en SolidWorks. A partir de este modelo, se procede a la asignación de material a cada uno de los componentes, utilizando el mismo material definido en el análisis del sujetador anterior: acero A36 laminado en caliente (A36 HR).

En la Figura 40 se definen las conexiones del sistema. Se asignan conexiones de pernos en tres ubicaciones: dos para los tornillos que fijan el sujetador a la mesa y una para el tornillo que actúa ajustando el apriete tipo cuña, todos sometidos a carga axial. Asimismo, se incorporan interacciones de contacto específicas: contactos libres en superficies donde solo existe interacción por contacto, evitando que el programa interprete el ensamble completo como un cuerpo sólido continuo.

Figura 40.

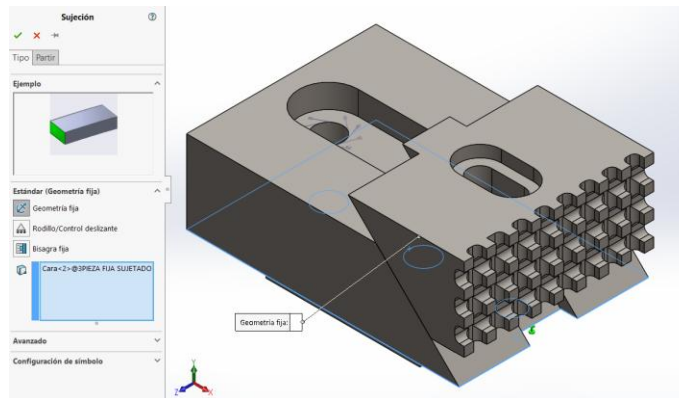
Interacciones del sistema



Una vez definidas las interacciones, se establece una restricción fija en la cara posterior del módulo base, tal como se muestra en la Figura 41. Esta condición de fijación se implementa con el fin de representar de forma realista el montaje del sujetador sobre la superficie de trabajo.

Figura 41.

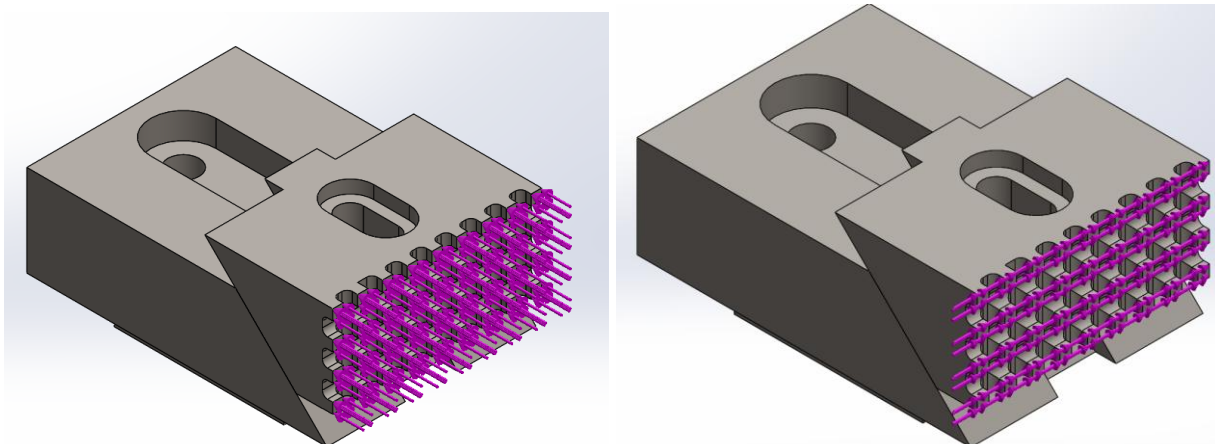
Fijación de sistema.



En la figura 42 se observan las dos fuerzas aplicadas al sistema. Se considera únicamente el caso en que ambas son perpendiculares al plano de apriete, ya que esta configuración representa la condición de carga más crítica para la estabilidad del conjunto.

Figura 42.

Fuerzas aplicadas al ensamble



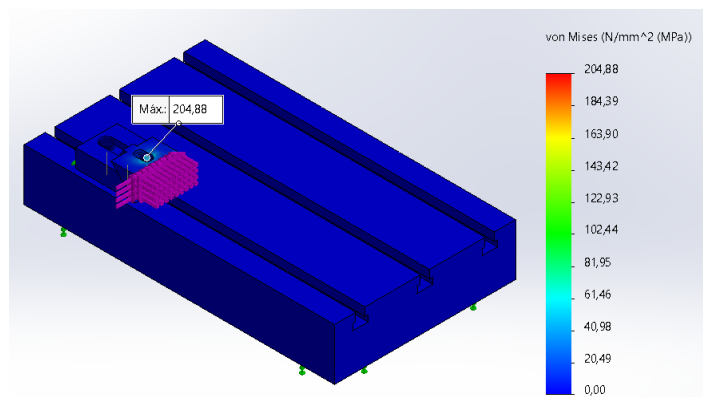
Posteriormente, se realiza un control de mallado localizado, aplicando un refinamiento en aquellas zonas que presentan mayores concentraciones de esfuerzo o que son geoméricamente más complejas. Con el modelo ya configurado, se ejecuta el análisis estático por elementos finitos. Los resultados obtenidos incluyen tres variables fundamentales para la evaluación estructural del sujetador: la distribución de tensiones (Von Mises), los desplazamientos generados en el sistema, y el factor de seguridad más crítico del sistema.

5.2.1. Resultados de Tensión (Von Mises)

La simulación por elementos finitos permitió obtener la distribución de tensiones en el sujetador, según el criterio de Von Mises. El valor máximo registrado fue de 204.88 MPa, como se observa en la figura 43. Este resultado indica las zonas de mayor exigencia mecánica dentro del conjunto.

Figura 43.

Tensiones sobre el ensamble

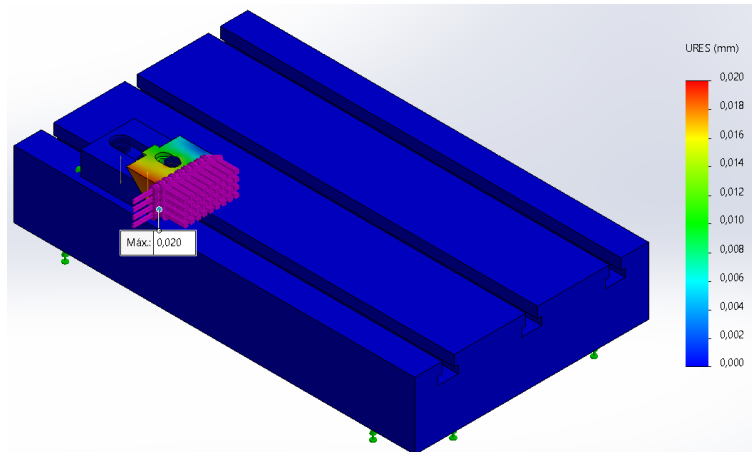


5.2.2. Resultados de Desplazamiento

Como resultado del análisis estático, se obtuvo el desplazamiento máximo del conjunto, cuyo valor fue de 0.02 mm, tal como se muestra en la figura 44. Este valor representa la deformación máxima del sistema bajo las condiciones de carga simuladas.

Figura 44.

Desplazamiento del ensamble

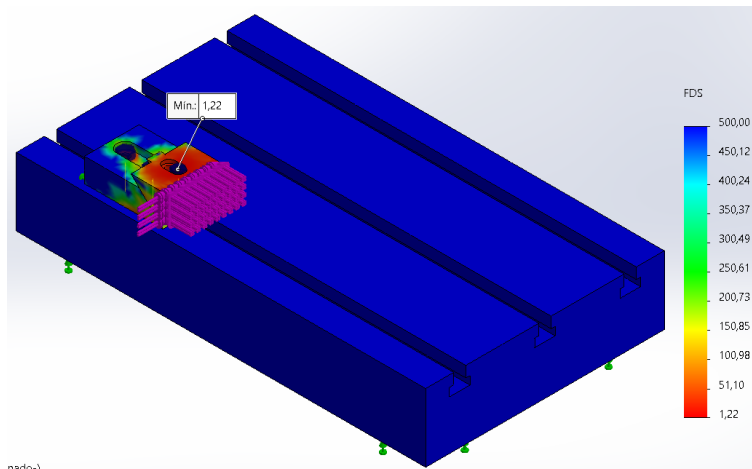


5.2.3. Factor de Seguridad

El análisis por elementos finitos arrojó un factor de seguridad mínimo de 1.20, como se observa en la figura 45. Este valor permite evaluar la confiabilidad estructural del sujetador bajo las condiciones de carga aplicadas, considerando el criterio de falla de Von Mises. Un valor mayor a 1 indica que el diseño se encuentra dentro de los límites de resistencia del material.

Figura 45.

Factor de seguridad del ensamble



El valor obtenido del factor de seguridad indica que el sujetador no solo es capaz de resistir la carga aplicada en la simulación, sino que también posee capacidad para soportar cargas mayores sin comprometer su integridad estructural.

6. Fabricación y Ensamble de Prototipos Funcionales

Una vez seleccionados los elementos a fabricar, y teniendo en cuenta cada uno de los requerimientos de la máquina CNC Leadwell V-20, como las dimensiones de la mesa de trabajo, los recorridos máximos en los ejes X, Y y Z, así como las restricciones de interferencia con el husillo y las herramientas de corte, se da inicio al proceso de mecanizado de las piezas correspondientes a los sujetadores. Previamente, se elaboraron los planos técnicos detallados de cada componente, cumpliendo con las normas de dibujo técnico, e incluyendo las cotas funcionales y especificaciones necesarias para su fabricación. Además, se generaron vistas explosionadas y diagramas de ensamble general que permitieron visualizar la interacción entre las piezas y facilitar el montaje posterior de los prototipos.

6.1. Proceso de manufactura de componentes

La manufactura de los componentes que conforman los sujetadores de bajo perfil se realiza mediante procesos de mecanizado tradicionales, incluyendo operaciones como:

6.1.1. Corte

El proceso de corte consiste en separar una pieza de un material base, generalmente a partir de barras, láminas o perfiles. Se puede realizar mediante sierra, oxicorte, plasma, láser u otras herramientas. En este proyecto, se utiliza corte para obtener los bloques y perfiles iniciales de acero a partir de los cuales se fabricarán los distintos componentes.

Figura 46.

Herramienta de corte



6.1.2. Taladrado

El taladrado es el proceso mediante el cual se realiza un orificio cilíndrico en una pieza utilizando una broca giratoria. Es comúnmente empleado para crear orificios pasantes o ciegos que posteriormente pueden ser utilizados para fijaciones, ejes o alojamientos de tornillos.

Figura 47.

Taladro de banco



6.1.3. Fresado

El fresado permite maquinar superficies planas, ranuras, perfiles o cavidades mediante el

uso de una herramienta rotativa llamada fresa. Se pueden realizar operaciones tanto en superficies horizontales como verticales. En este proyecto, el fresado se emplea para ajustar geometrías, generar rebajes o superficies planas donde se alojan otras piezas.

Figura 48.

Fresadora



6.1.4. Roscado

El roscado consiste en generar una rosca helicoidal, interna o externa, que permite el acoplamiento de tornillos, tuercas u otros elementos de unión. Se puede realizar manualmente con machuelos o terrajas, o de forma automatizada en torno o fresadora. Este proceso es esencial en este mecanismo, ya que permite el movimiento del cabezal a través del tornillo principal.

Figura 49.

Machuelo



6.1.4. Pintura

Con el fin de generar una capa protectora contra la corrosión, a cada uno de los componentes fabricados en acero A36 se les aplicó un recubrimiento anticorrosivo tipo wash primer, el cual proporciona una mayor adherencia sobre la superficie metálica. Previo a la aplicación, se efectuó un proceso de lijado para obtener un perfil de anclaje adecuado y garantizar la correcta adherencia del recubrimiento. La aplicación se realizó en aproximadamente cuatro capas en forma de niebla, alcanzando así una protección efectiva sin comprometer las tolerancias dimensionales requeridas para el correcto funcionamiento y movimiento de los componentes.

Figura 50.

Anticorrosivo wash primer aplicado a los sujetadores



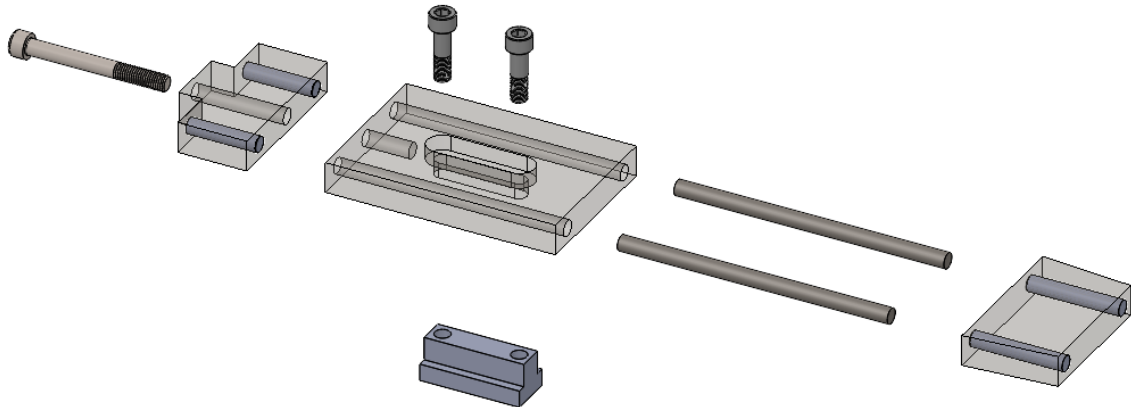
6.2. Ensamble de los componentes

Para cada pieza se seleccionaron previamente el material y las herramientas adecuadas, considerando la facilidad de maquinado, la resistencia mecánica esperada y la disponibilidad en el mercado local.

Para el primer caso, correspondiente al sujetador de bajo perfil de apriete lateral con desplazamiento horizontal, el conjunto está conformado por un total de cuatro piezas metálicas, de las cuales una se repite. Además, se emplean tres tornillos, todos del mismo tipo. El proceso de manufactura de este sujetador implicó operaciones de mecanizado como cortes rectos a partir de barra maciza, fresado de una ranura longitudinal para alojar los tornillos de apriete, y la ejecución de varias roscas internas. Adicionalmente, se aplicó soldadura perimetral en cuatro puntos específicos del conjunto, con el objetivo de unir de forma permanente dos de los componentes estructurales y asegurar la rigidez requerida durante su funcionamiento.

Figura 51.

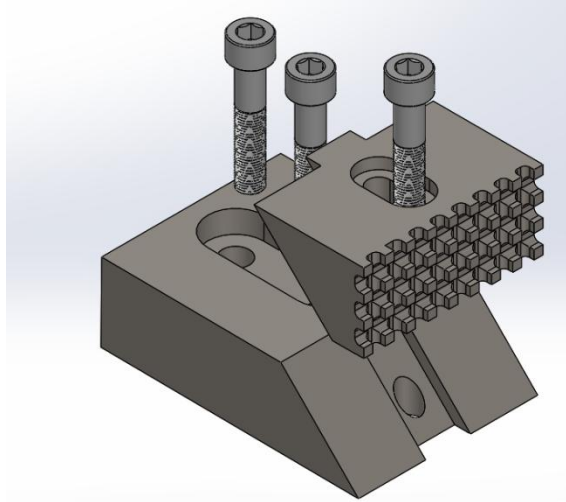
Explosionado de sujetador de bajo perfil de apriete lateral con desplazamiento horizontal.



Para el segundo modelo, denominado Prensa de Bajo Perfil con Módulos Intercambiables, la fabricación involucra tanto la pieza fija como las piezas móviles intercambiables. La pieza fija requiere de un corte en diagonal para formar el plano inclinado que permite el desplazamiento, además de una ranura recta para alojar los tornillos de sujeción a la mesa de trabajo y una ranura adicional con rosca para el tornillo principal de apriete. Por su parte, la primera pieza móvil también necesita un corte diagonal complementario, así como una ranura recta inferior que le permite ajustarse de forma precisa sobre la superficie de la pieza a mecanizar. En el caso de la segunda pieza móvil intercambiable, se incluye un corte con curvatura, cuyo perfil fue diseñado específicamente para mejorar la distribución del esfuerzo y permitir una mayor presión sobre la pieza de trabajo, adaptándose a geometrías irregulares.

Figura 52.

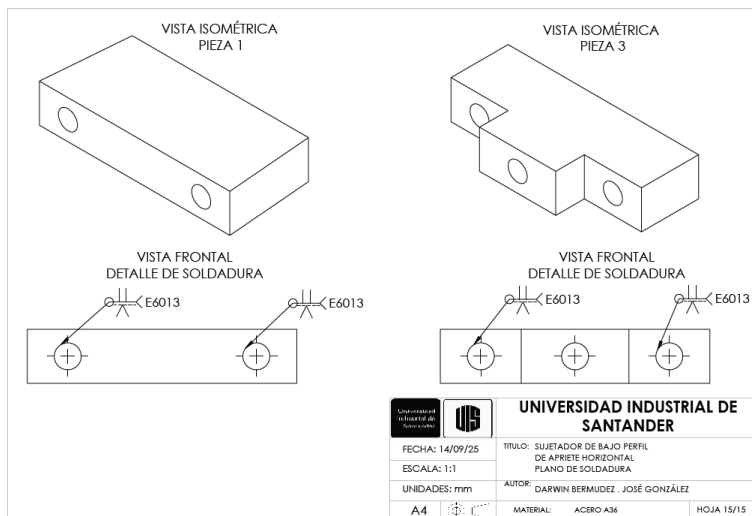
Explosionado de Prensa de Bajo Perfil con Módulos Intercambiables



Para la unión entre el módulo de contacto y el módulo de avance con las barras de apriete, se empleó un proceso de soldadura perimetral con bisel, utilizando electrodo E6013. Este procedimiento tuvo como finalidad garantizar una fijación estructural robusta y confiable, capaz de resistir las fuerzas generadas durante el funcionamiento del sujetador en la máquina CNC. La ejecución de la soldadura se realizó conforme a los lineamientos establecidos en la norma AWS D1.1: Código de Soldadura Estructural – Acero.

Figura 53.

Imagen módulo de contacto con plano de soldadura



6.3. Evaluación del cumplimiento de requerimientos

Durante el proceso de diseño y fabricación de los sujetadores mecanizados, se establecieron como principales requerimientos funcionales la capacidad de sujeción segura frente a los esfuerzos generados durante el mecanizado y la compatibilidad dimensional con la máquina CNC Leadwell V-20, específicamente en lo relacionado con la altura mínima requerida para su instalación y operación.

En este sentido, los sujetadores fabricados cumplen satisfactoriamente con la altura máxima requerida de 35 mm, permitiendo su instalación sin interferencias en el área de trabajo de la máquina CNC, y asegurando la accesibilidad necesaria para el montaje y desmontaje de las piezas a sujetar.

Adicionalmente, se verificó la capacidad de los sujetadores para soportar las fuerzas generadas durante el proceso de mecanizado. La máquina CNC Leadwell V-20 es conocida por operar con fuerzas de corte considerables, dependiendo del tipo de material y operación (fresado,

taladrado, etc.). Los sujetadores fueron diseñados considerando estas condiciones, y la unión entre sus componentes particularmente entre el módulo de contacto y las barras de apriete, fue reforzada mediante procesos de soldadura bajo la norma AWS D1.1, garantizando la resistencia estructural y la durabilidad del conjunto.

Por lo tanto, se concluye que los sujetadores cumplen plenamente con los requerimientos funcionales y dimensionales establecidos para este proyecto, asegurando la fiabilidad y seguridad durante su operación.

7. Validación Funcional en Máquina CNC

7.1. Integración de los sujetadores en la CNC Leadwell V-20

El proceso de mecanizado de los componentes se llevó a cabo bajo un enfoque de aprendizaje práctico, en un taller externo perteneciente a un conocido, lo cual permitió el acceso a maquinaria convencional y a la asesoría de un operario con experiencia. Esta combinación de recursos facilitó la comprensión y ejecución de cada etapa del proceso, y constituyó un complemento fundamental al desarrollo técnico del proyecto, al permitir al autor involucrarse directamente en la fabricación de los sujetadores. La figura 54 ilustra uno de los momentos del proceso de mecanizado.

Figura 54.

Sujetadores en proceso de manufactura



Una vez obtenidas todas las piezas mecanizadas conforme a las especificaciones de diseño, se procedió al ensamble final de los sujetadores. En primer lugar, se ensambló el sujetador de apriete lateral con desplazamiento horizontal. Para garantizar la integridad estructural del conjunto, fue necesario aplicar cordones de soldadura perimetral biselada en las zonas de unión críticas, tal como se muestra en la Figura 55 del capítulo anterior. Estas soldaduras se realizaron con proceso SMAW, utilizando electrodo E6013, cuidando la limpieza de la zona y el ángulo de biselado previamente mecanizado en las piezas.

Adicionalmente, se verificó que los orificios para los tornillos de fijación coincidieran con precisión y que no existieran rebabas o desalineaciones que impidieran el apriete correcto. Se revisó el desplazamiento libre de los pasadores cilíndricos dentro del módulo base, criterio importante para asegurar la movilidad del componente móvil sin generar fricción indebida o interferencias.

El ensamblaje final del sujetador permitió visualizar el conjunto en condiciones operativas, listo para su montaje sobre la mesa de trabajo. La Figura 55 presenta el resultado del ensamblaje completo del sujetador de bajo perfil con desplazamiento horizontal.

Figura 55.

Ensamblaje completo del sujetador de bajo perfil con desplazamiento horizontal.



Posteriormente, se procedió al ensamble del sujetador de módulos intercambiables, el cual presenta una configuración más sencilla e intuitiva en comparación con el sujetador de desplazamiento horizontal. Este diseño modular permite el reemplazo y ajuste de bloques según las dimensiones de la pieza de trabajo, por lo que su montaje no requiere uniones soldadas, sino únicamente el alineamiento de las piezas móviles y la verificación de interferencias.

Durante el ensamble, se ubicaron ambos módulos intercambiables sobre la base, asegurando que se acoplaran correctamente en su posición de trabajo. Se comprobó que los orificios para los tornillos coincidieran adecuadamente, permitiendo el paso libre de los pernos sin necesidad de reajustes. Asimismo, se evaluó que las superficies de contacto entre la cuña y los bloques móviles estuvieran limpias, paralelas y en condiciones para el deslizamiento del sistema de apriete.

El resultado final del ensamblaje puede observarse en la Figura 56, donde se muestra el sujetador completamente armado y listo para ser instalado sobre la mesa de la máquina.

Figura 56.

Ensamble del sujetador de módulos intercambiables.



Una vez validado que el ensamble de cada sujetador es correcto y funcional, se procedió a su fijación sobre la mesa de trabajo junto con los dados de sujeción correspondientes. Esta etapa consistió en ubicar el conjunto sobre los canales en T de la mesa de la máquina CNC, alinearlos según los ejes de referencia y asegurar firmemente cada punto de contacto mediante tornillos de fijación de alta resistencia.

Con el sujetador instalado, se posicionó una pieza de trabajo de prueba que simula condiciones reales de mecanizado. Durante este montaje se aplicó una fuerza de apriete, verificando el comportamiento de las roscas del sistema, las cuales se comportaron adecuadamente, permitiendo un ajuste progresivo y firme sobre la pieza. La rosca del tornillo de apriete mostró una buena respuesta al torque aplicado, sin presentar deformaciones ni pérdida de roscado.

Al tratarse de una pieza de grandes dimensiones, el conjunto ensamble-sujetador transmitió una impresión visual y funcional de rigidez, condición necesaria para garantizar la estabilidad del proceso de mecanizado. La combinación entre diseño compacto, rigidez

estructural y buena distribución de la fuerza de sujeción permite concluir que el sistema cumple con los requisitos establecidos en las fases de diseño y análisis estructural.

En la Figura 57 se observa el sujetador de desplazamiento horizontal instalado sobre la mesa de trabajo, ajustado correctamente y en condiciones operativas.

Figura 57.

Sujetador de desplazamiento horizontal instalado sobre la mesa de trabajo



En la Figura 58 se muestra el sujetador modular con bloques intercambiables, fijado a la mesa de trabajo y asegurando una pieza de prueba bajo condiciones reales de apriete.

Figura 58.

Sujetador modular con bloques intercambiables instalado.



El comportamiento de ambos sujetadores durante las pruebas fue satisfactorio, evidenciando que el diseño cumple con los requisitos de funcionalidad, seguridad y confiabilidad definidos en las etapas de ingeniería. Al ser sometidos a condiciones reales de apriete, los conjuntos mostraron una respuesta estructural rígida, sin presencia de deformaciones permanentes, desplazamientos no deseados ni fallas en las zonas críticas de contacto.

La capacidad de los sujetadores para soportar las cargas de trabajo simuladas, mantener la pieza de ensayo firmemente fijada y permitir un ajuste preciso mediante sus respectivos mecanismos de apriete, valida su aplicación práctica en entornos de mecanizado. Estos resultados permiten aprobar su uso como herramientas de fijación eficientes, seguras y robustas, con gran potencial para integrarse tanto en entornos académicos como en aplicaciones industriales de bajo costo.

8. Conclusiones y Recomendaciones

8.1. Conclusiones

El proceso de diseño desarrollado en este proyecto permitió aplicar de manera integral los conocimientos adquiridos durante la formación en ingeniería mecánica, tanto en aspectos técnicos como en la gestión documental de un proyecto real. Los sujetadores diseñados dan respuesta a una problemática concreta: la ausencia de dispositivos de sujeción adecuados en los laboratorios de mecanizado de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UIS.

A través de simulaciones estructurales en el software SolidWorks y ensayos preliminares de funcionamiento, se comprobó que ambos diseños cumplen con las restricciones geométricas y de carga establecidas en los objetivos del proyecto. Los elementos diseñados resisten adecuadamente las fuerzas de corte previstas, y si bien su geometría puede parecer robusta, esta misma característica proporciona una sensación de solidez y confiabilidad durante su uso, minimizando el riesgo de fallos estructurales.

Se diseñó y fabricó un sujetador de bajo perfil de apriete lateral con desplazamiento horizontal, el cual cumplió con las dimensiones estipuladas de 35 mm de altura, 120 mm de ancho y 300 mm de profundidad. Las simulaciones estructurales y las pruebas preliminares evidenciaron su capacidad para resistir fuerzas de corte comprendidas entre 1000 y 2000 N, asegurando una sujeción firme y estable durante el mecanizado. El sistema de desplazamiento implementado permitió un movimiento suave y controlado, garantizando un apriete constante sin riesgo de retroceso, condición indispensable para mantener la rigidez del conjunto en operaciones de mecanizado.

De igual manera, se diseñó y fabricó un sujetador de bajo perfil con apriete tipo cuña y módulos intercambiables, respetando las restricciones geométricas de 90 mm de altura, 120 mm de ancho y 300 mm de profundidad. El mecanismo de cuña con un ángulo de 45° proporcionó un apriete eficiente y preciso, transmitiendo la carga de forma segura hacia la pieza de trabajo. Los análisis estructurales confirmaron que este diseño resiste adecuadamente fuerzas de corte en el rango de 1000 a 2000 N, mientras que su modularidad facilita la adaptación a diferentes condiciones de sujeción, ampliando su versatilidad en entornos educativos y de producción.

Los sujetadores diseñados poseen un alto grado de viabilidad para su fabricación en talleres locales o pequeñas y medianas empresas del sector metalmecánico regional. La simplicidad relativa del proceso constructivo y el uso de materiales comunes permiten su producción sin necesidad de maquinaria especializada. Además, su resistencia estructural y confiabilidad durante el uso aportan significativamente a la seguridad del operario, reduciendo el riesgo de accidentes en entornos educativos o productivos.

8.2. Recomendaciones técnicas y académicas

Dado que en el presente proyecto se utilizó acero A36 para la fabricación de ambos tipos de sujetadores, principalmente por razones económicas y una dureza aceptable para las condiciones de trabajo, se recomienda considerar en futuros desarrollos el uso de materiales alternativos con mayores propiedades mecánicas. El empleo de aceros aleados o materiales de alta resistencia permitiría diseñar componentes con geometrías más compactas, optimizando el espacio en la mesa de trabajo y mejorando el rendimiento estructural. Además, estos materiales

podrían proporcionar factores de seguridad más elevados frente a las cargas simuladas en SolidWorks, incrementando así la confiabilidad del sistema de sujeción bajo condiciones reales de operación.

Para garantizar un uso adecuado de los sujetadores por parte de estudiantes o personal de prácticas, se recomienda desarrollar una guía técnica de operación y montaje, que incluya indicaciones de seguridad, torque recomendado para los elementos de apriete, límites de carga, y advertencias sobre posibles fallas por uso indebido. Esta documentación contribuiría a estandarizar los procedimientos durante las actividades de mecanizado, reducir el riesgo de accidentes y fomentar buenas prácticas en el entorno académico.

Este proyecto no solo resolvió una necesidad puntual, sino que también constituye un ejemplo replicable para futuras iniciativas académicas orientadas al diseño y manufactura de elementos de sujeción. La experiencia adquirida durante las etapas de análisis, diseño, simulación, fabricación y pruebas proporciona un modelo de aprendizaje activo aplicable en otras áreas de la ingeniería mecánica, fomentando la cultura de diseño propio y optimización de recursos disponibles en la universidad.

9. Presupuesto del Proyecto

Tabla 4.

Presupuesto del proyecto

Presupuesto del Proyecto de Tesis				
Sujetador de bajo perfil de apriete lateral con desplazamiento horizontal				
Materiales				
Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario (COP)	Costo total (COP)
Acero A36	4	Kg	\$ 6.800.00	\$ 27.200.00
Tornillos de fijación	6	Unidades	\$ 500.00	\$ 3.000.00
Tubos tipo pasador	2	Unidades	\$ 5.000.00	\$ 10.000.00
Abrasivos (lijas, discos corte)	1	Unidades	\$ 10.000.00	\$ 10.000.00
			Subtotal	\$ 50.200.00
Sujetador de bajo perfil con módulos intercambiables.				
Materiales				
Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario (COP)	Costo total (COP)
Acero A36	5	Kg	\$ 6.800.00	\$ 34.000.00
Tornillos de fijación	6	Unidades	\$ 500.00	\$ 3.000.00
Abrasivos (lijas, discos corte)	1	Unidades	\$ 10.000.00	\$ 10.000.00
			Subtotal	\$ 47.000.00
Datos sujetadores				
Materiales				
Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario (COP)	Costo total (COP)
Acero A36	0.5	Kg	\$ 6.800.00	3400
Abrasivos (lijas, discos corte)	1	Unidades	\$ 5.000.00	5000
			Subtotal	8400
Procesos de Fabricación				
Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario (COP)	Costo total (COP)
Corte por sierra o CNC	16	Piezas	\$ 15.000.00	\$ 240.000.00
Torneado/fresado	24	horas	\$ 20.000.00	\$ 480.000.00
Taladrado y roscado	1	Operaciones	\$ 20.000.00	\$ 20.000.00
Pulido o acabado superficial	2	Piezas	\$ 15.000.00	\$ 30.000.00
			Subtotal	\$ 770.000.00
Herramientas y Consumibles				
Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario (COP)	Costo total (COP)
Herramientas de corte (fresas, brocas)	1	Set	\$ 100.000.00	\$ 100.000.00
Lubricantes o refrigerantes	1	Litro	\$ 40.000.00	\$ 40.000.00
Papel de lija, cepillos	1	Unidades	\$ 25.000.00	\$ 25.000.00
			Subtotal	\$ 165.000.00
Recursos humanos y tecnológicos.				
Personal involucrado				
Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario (COP)	Costo total (COP)
Trabajo, Jose González	40	Kg	\$ 5.000.00	\$ 200.000.00
Trabajo, Darwin Bermudez	40	Unidades	\$ 5.000.00	\$ 200.000.00
Trabajo Director	10	Unidades	\$ 50.000.00	\$ 500.000.00
			Subtotal	\$ 900.000.00
Equipos y Licencias				
Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario (COP)	Costo total (COP)
Licencia Solidworks	8	Meses	\$ 50.000.00	\$ 400.000.00
licencia microsoft office	8	Meses	\$ 35.000.00	\$ 280.000.00
			Subtotal	\$ 680.000.00
			Total	\$ 1.720.600.00

Referencias Bibliográficas

American Welding Society. (2020). AWS D1.1/D1.1M:2020 – Structural Welding Code – Steel (24th ed.). Miami, FL: American Welding Society.

Beer, F. P., Johnston, E. R., & Eisenberg, E. R. (2010). Estática (9.^a ed., versión en español). McGraw-Hill.

Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J. T., & Mazurek, D. F. (2013). Mecánica de materiales (6.^a ed., versión en español). McGraw-Hill.

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). Materials Science and Engineering: An Introduction (10th ed.). Wiley.

Carr Lane Manufacturing. (2023). Modular Fixturing Components Catalog.

Ebrahimian, H. (2019). Mechanical Properties of Materials: Fundamentals and Applications. Springer.

Fonseca, J., & Ahumada Vargas, O. (2021). Análisis y Selección de Dispositivos de Sujeción Utilizados para la Fabricación de Piezas en Procesos de Mecanizado: Tornos y Maquinas Fresadoras CNC. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Franco, A. (s.f.). Diseño de sujetadores. Academia.edu - resumen sobre tipos de sujetadores industriales y criterios de diseño

Groover, M. P. (2012). Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems. 5th ed. Wiley.

International Organization for Standardization. (2011). ISO 129-1:2018 – Technical product documentation (TPD) — Indication of dimensions and tolerances — Part 1: General principles. Geneva: ISO.

International Organization for Standardization. (2013). ISO 5455:1979 – Technical

drawings — Scales. Geneva: ISO.

Jergens Inc. (2023). Catálogo de sujetadores Edge & Toe Clamps – MB-24148.

Khaled, K. M., & Osman, S. M. (2017). Improving the new ISO 6789: 2017 for setting torque tools—Proposal. *Measurement*, 112, 150-156.

Mandujano-Salazar, B., Hernandez-Perez, J., Benitez-Morales, J. G., & Aguilera-Jimenez, M. A. (2022). Diseño de máquina cnc de cinco ejes. *Pađi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 10(Especial6), 91-99.

Norton, R. L. (2013). *Diseño de máquinas*. Editorial Pearson, cuarta edición.

Parada, A. (1990). *Fatiga*.

Reid Supply. (2020). *Low Profile Clamps – Product Catalog*.

Saavedra Betancourt, A. F., & Ospino Bernal, J. A. Diseño e implementación de un control de fuerza para un sistema de sujeción al centro de mecanizado Leadwell V-20i.

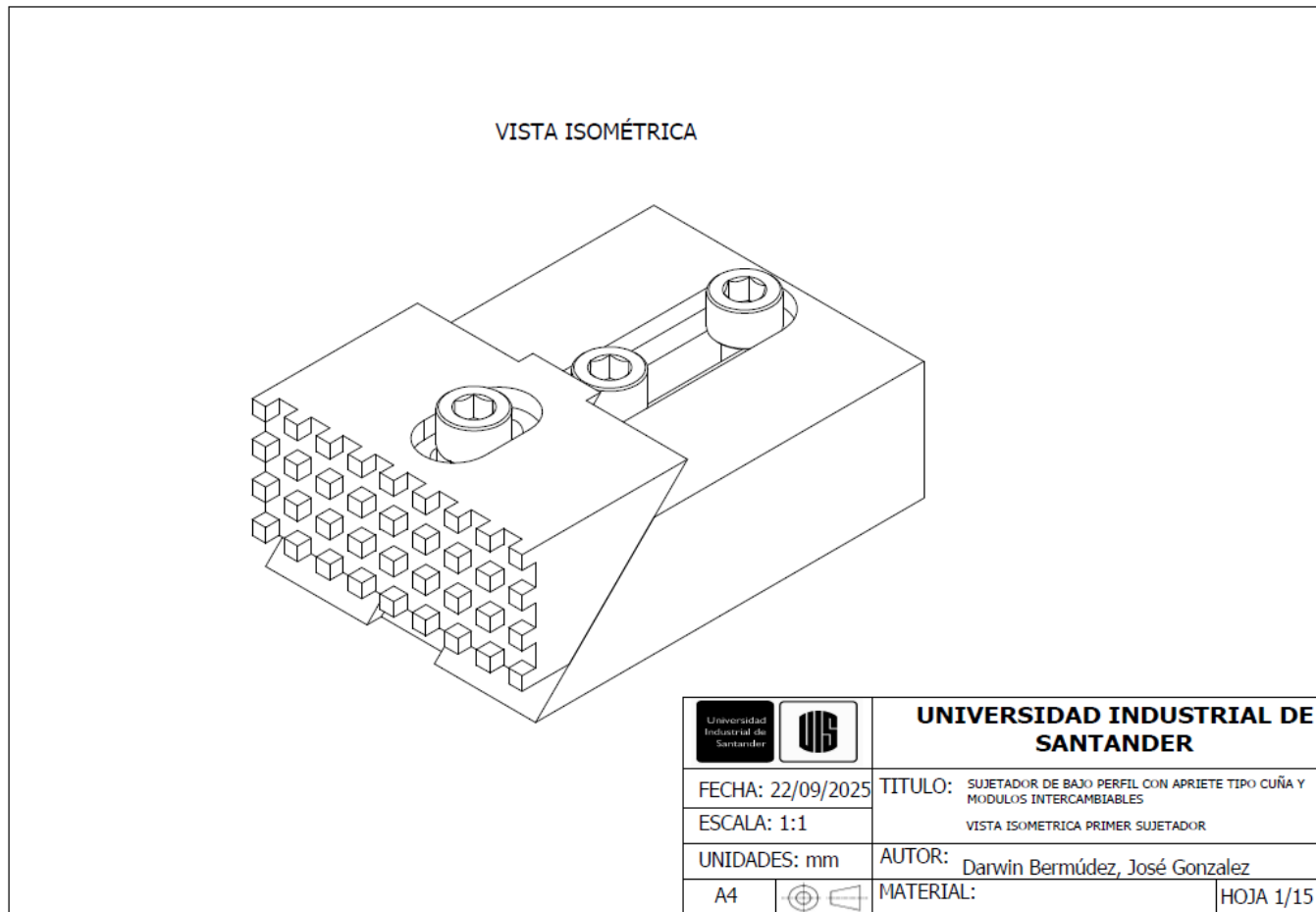
Shigley, J. E., Mischke, C. R., Bocanegra, F. P., & Correa, C. O. (1990). *Diseño en ingeniería mecánica*.

Siderúrgica Nacional. (2025). *Tarifas de acero al carbono laminado en caliente*.

Apéndices

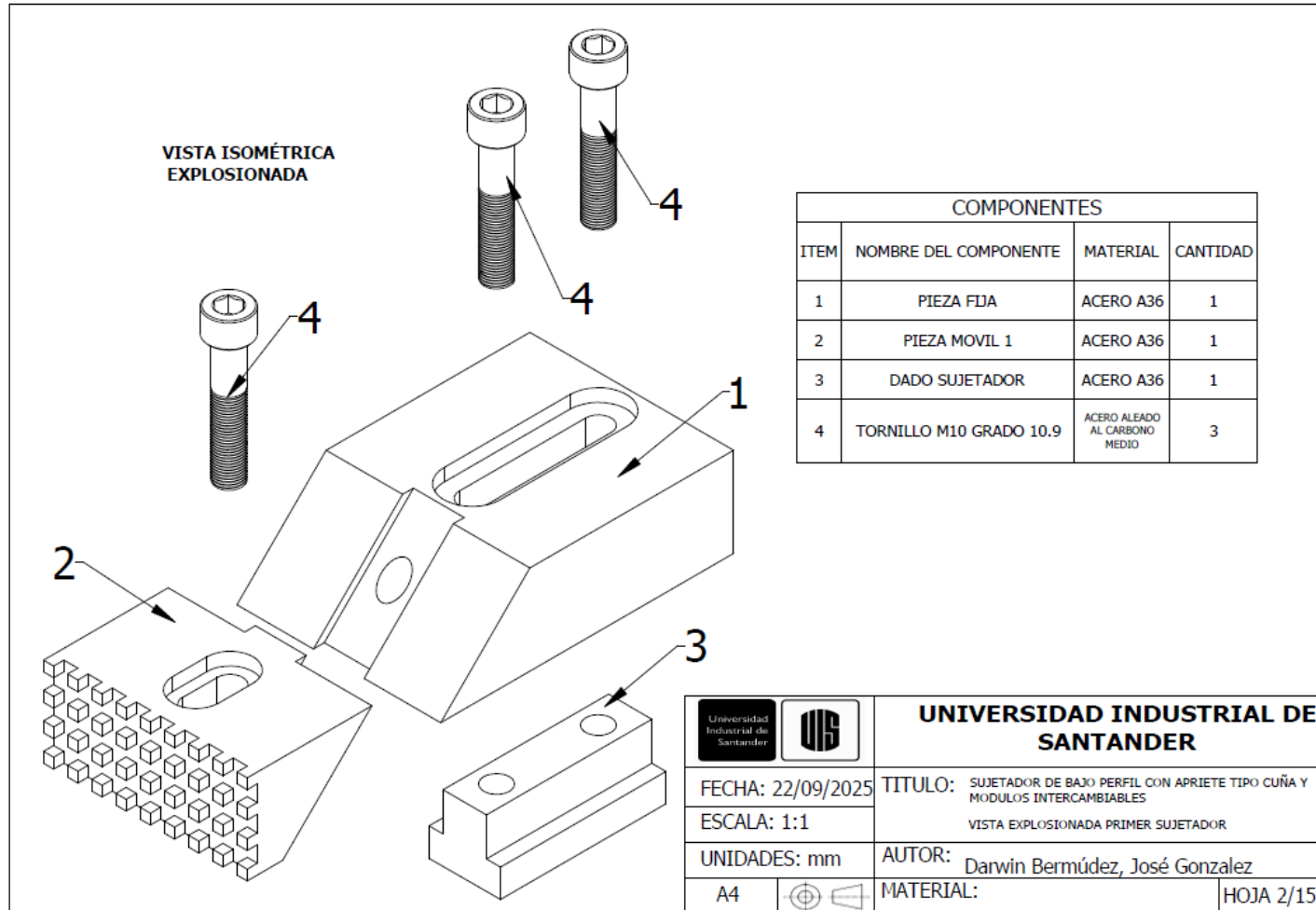
Apéndice A.

Plano Isométrico primer sujetador



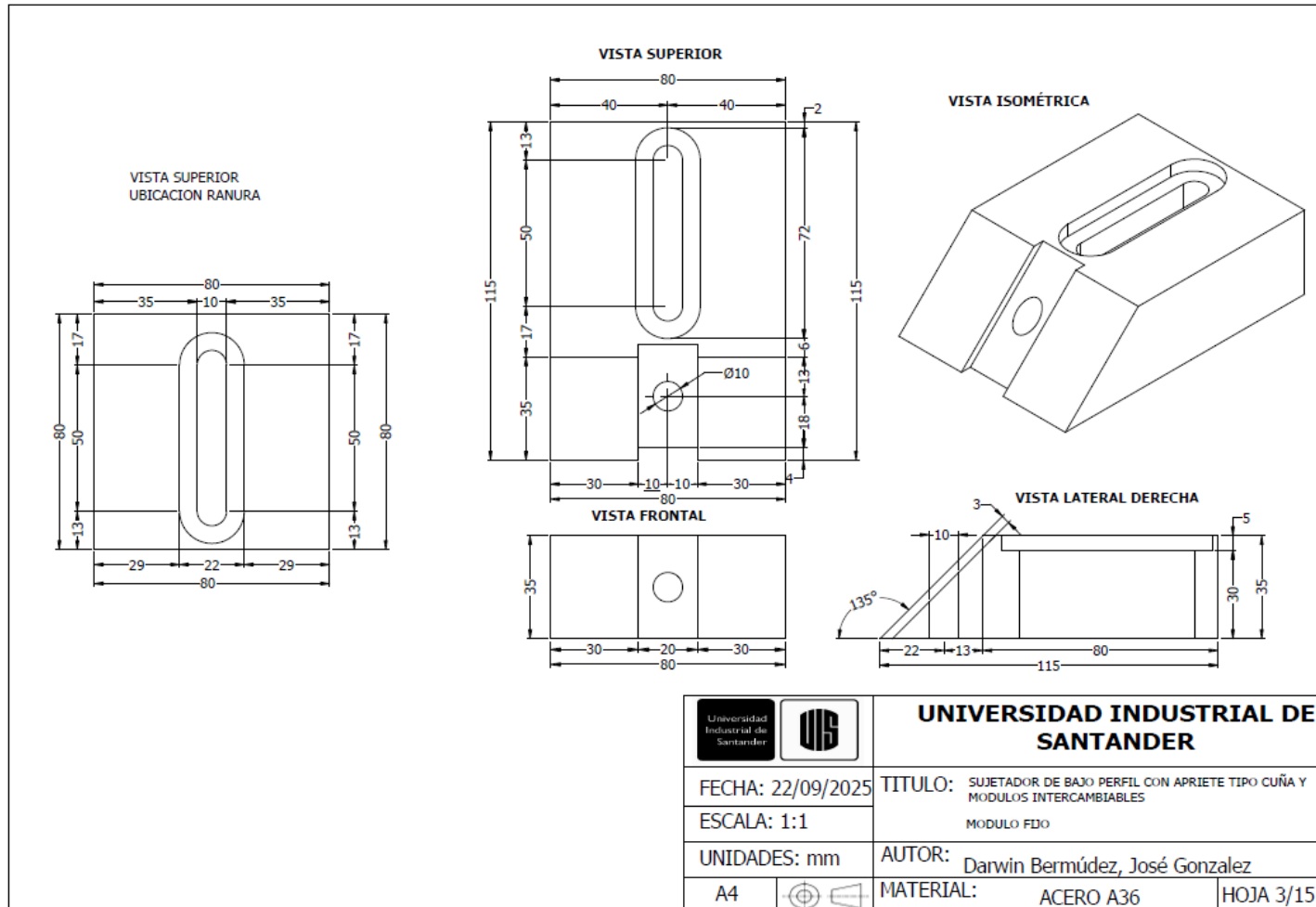
Apéndice B.

Plano explosionado primer sujetador



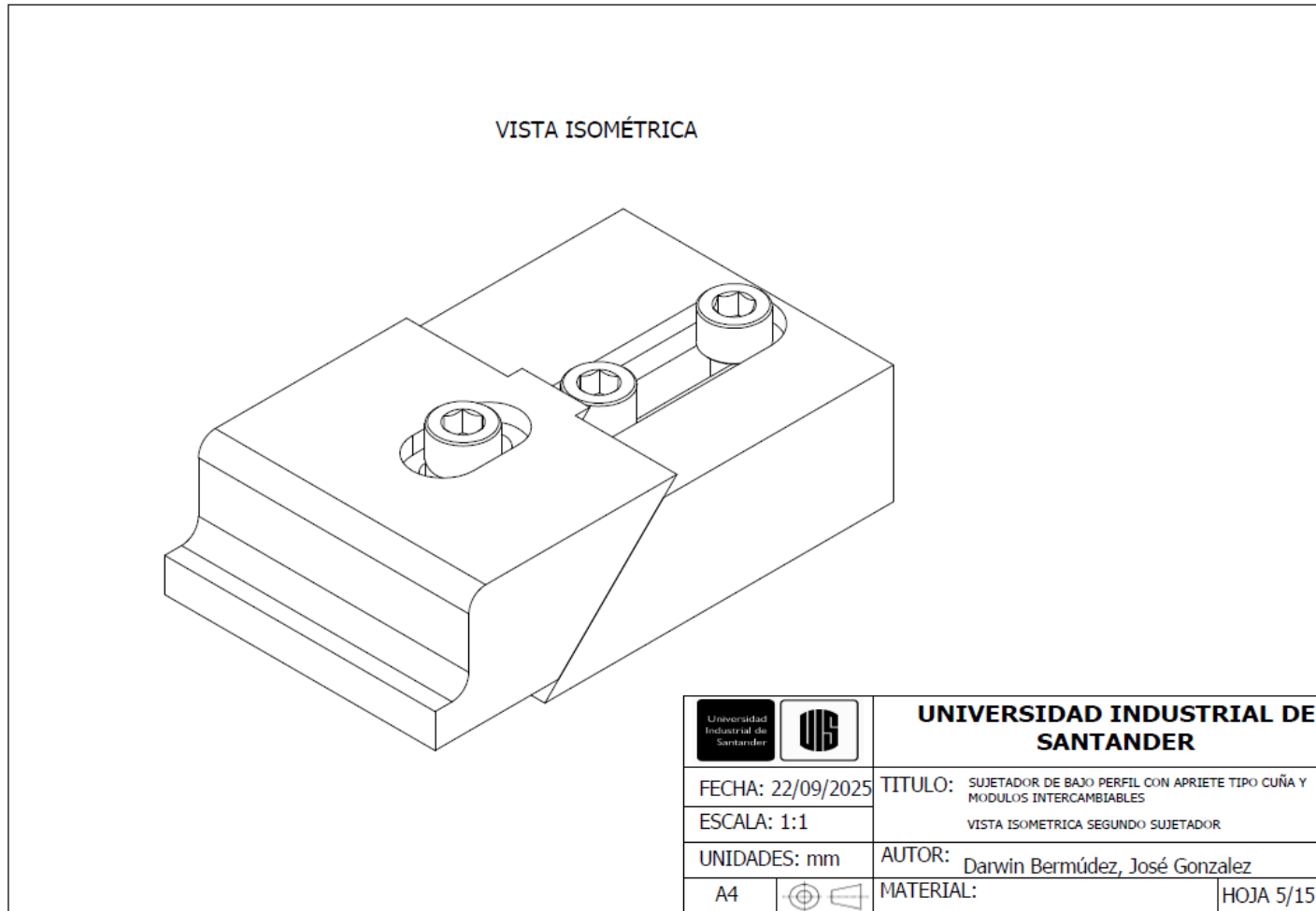
Apéndice C.

Plano modulo fijo



Apéndice E.

Plano isométrico primer sujetador modulo 2



Apéndice F.

Vista explosionada primer sujetador modulo 2

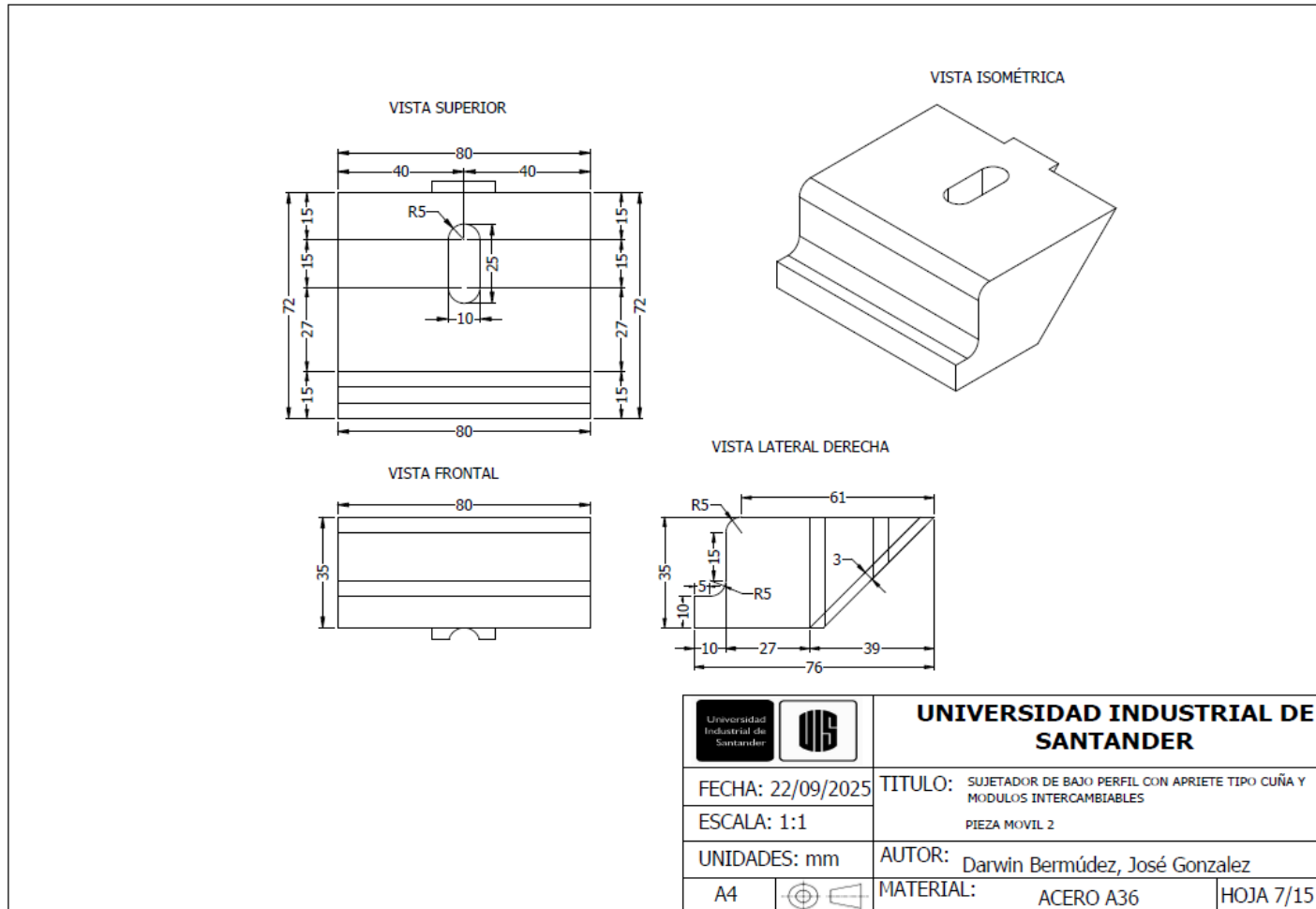
VISTA ISOMÉTRICA EXPLOSIONADA

COMPONENTES			
ITEM	NOMBRE DEL COMPONENTE	MATERIAL	CANTIDAD
1	PIEZA FIJA	ACERO A36	1
2	PIEZA MOVIL 2	ACERO A36	1
3	DADO SUJETADOR	ACERO A36	1
4	TORNILLO M10 GRADO 10.9	ACERO ALEADO AL CARBONO MEDIO	3

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 22/09/2025	TITULO: SUJETADOR DE BAJO PERFIL CON APRIETE TIPO CUÑA Y MODULOS INTERCAMBIABLES		
ESCALA: 1:1	VISTA EXPLOSIONADA SEGUNDO SUJETADOR		
UNIDADES: mm	AUTOR: Darwin Bermúdez, José Gonzalez		
A4		MATERIAL:	HOJA 6/15

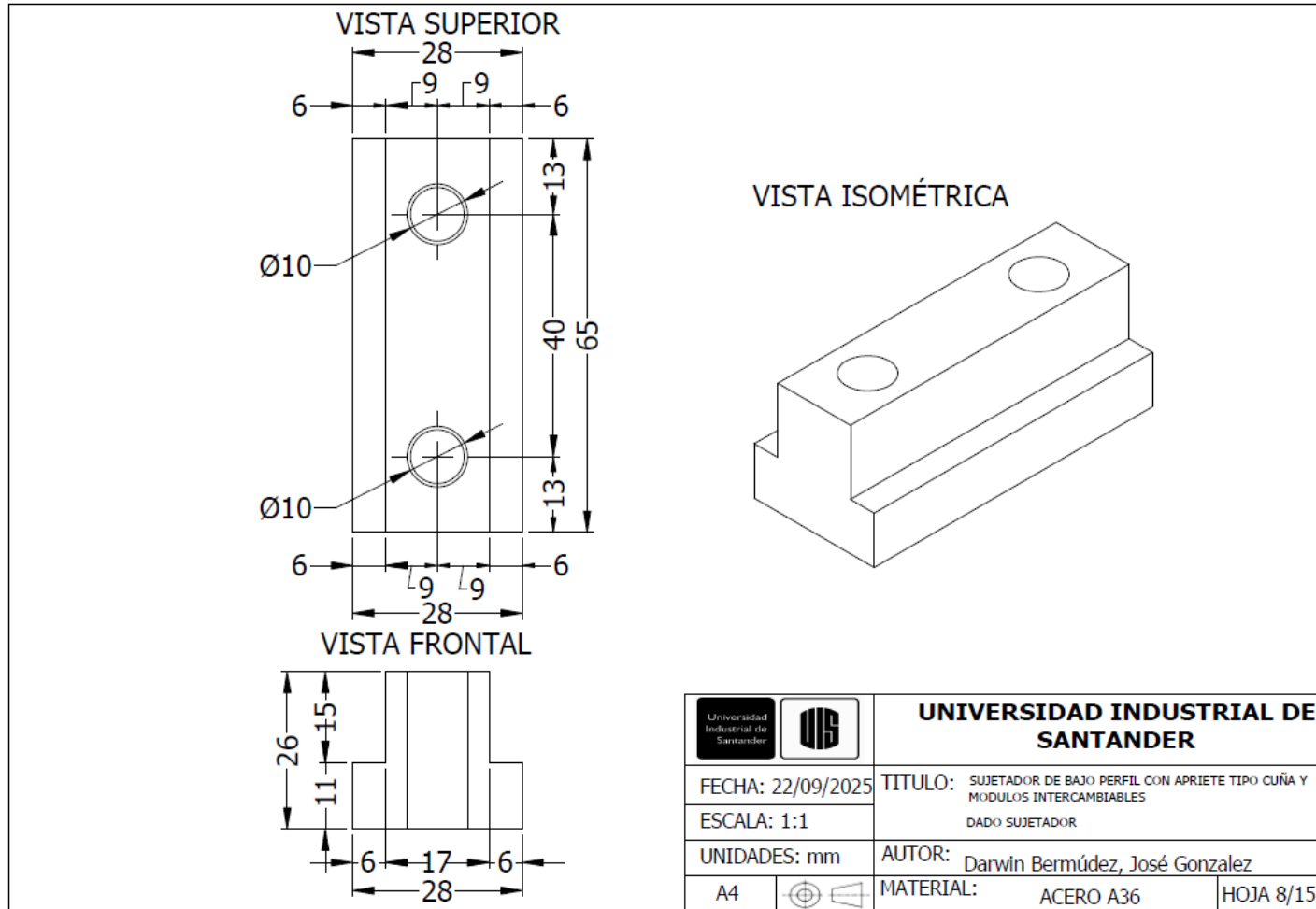
Apéndice G.

Plano pieza móvil 2



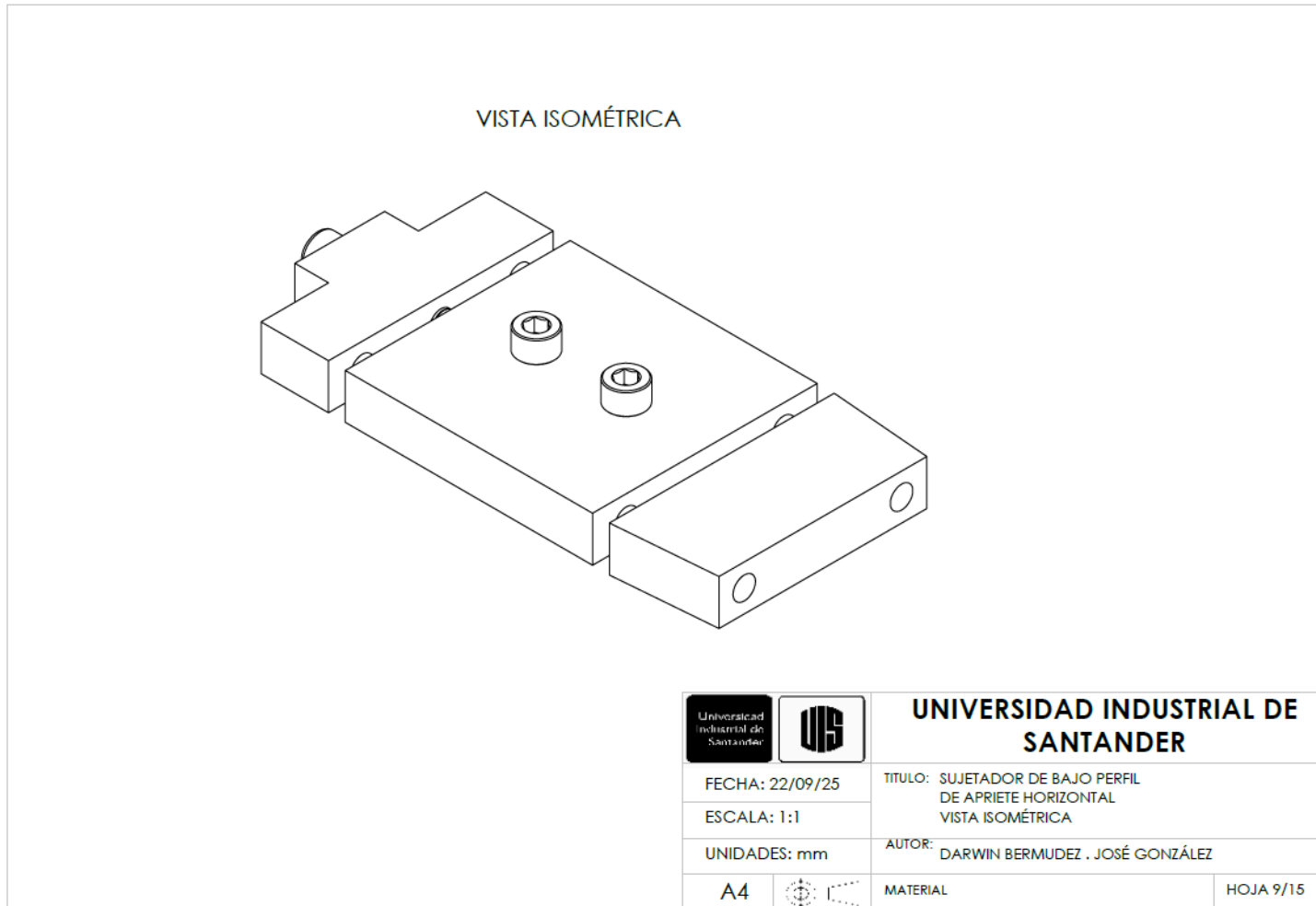
Apéndice H.

Plano dado de sujeción



Apéndice I.

Plano sujetador tipo 2



Apéndice J.

Plano explosionado sujetador tipo 2

VISTA ISMÉTRICA EXPLOSIONADA

CÓDIGO	NOMBRE COMPONENTE	MATERIAL	CANTIDAD
1	MÓDULO DE CONTACTO	A36	1
2	BARRAS DE APRIETE	A36	2
3	MÓDULO DE AVANCE	A36	1
4	TORNILLO DE AJUSTE	ACERO ALEADO AL CARBONO MEDIO	1
5	MÓDULO BASE	A36	1
6	TORNILLO BASE	ACERO ALEADO AL CARBONO MEDIO	2
7	DADO SUJECIÓN	A36	1

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 22/09/25

ESCALA: 1:1

UNIDADES: mm

A4

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

TÍTULO: SUJETADOR DE BAJO PERFIL DE APRIETE HORIZONTAL
VISTA ISOMÉTRICA EXPLOSIONADA

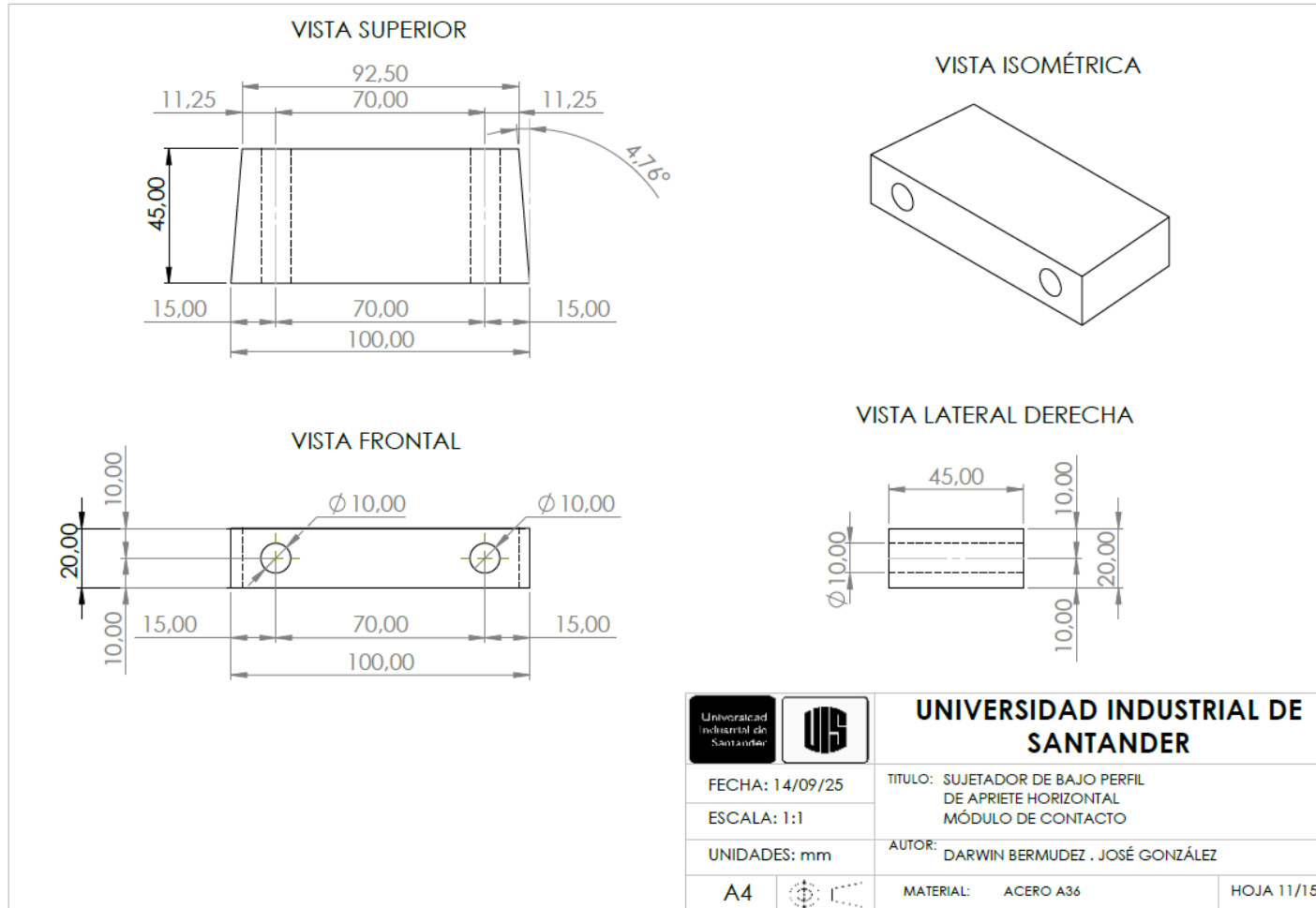
AUTOR: DARWIN BERMUDEZ . JOSÉ GONZÁLEZ

MATERIAL

HOJA 10/15

Apéndice K.

Plano módulo de contacto



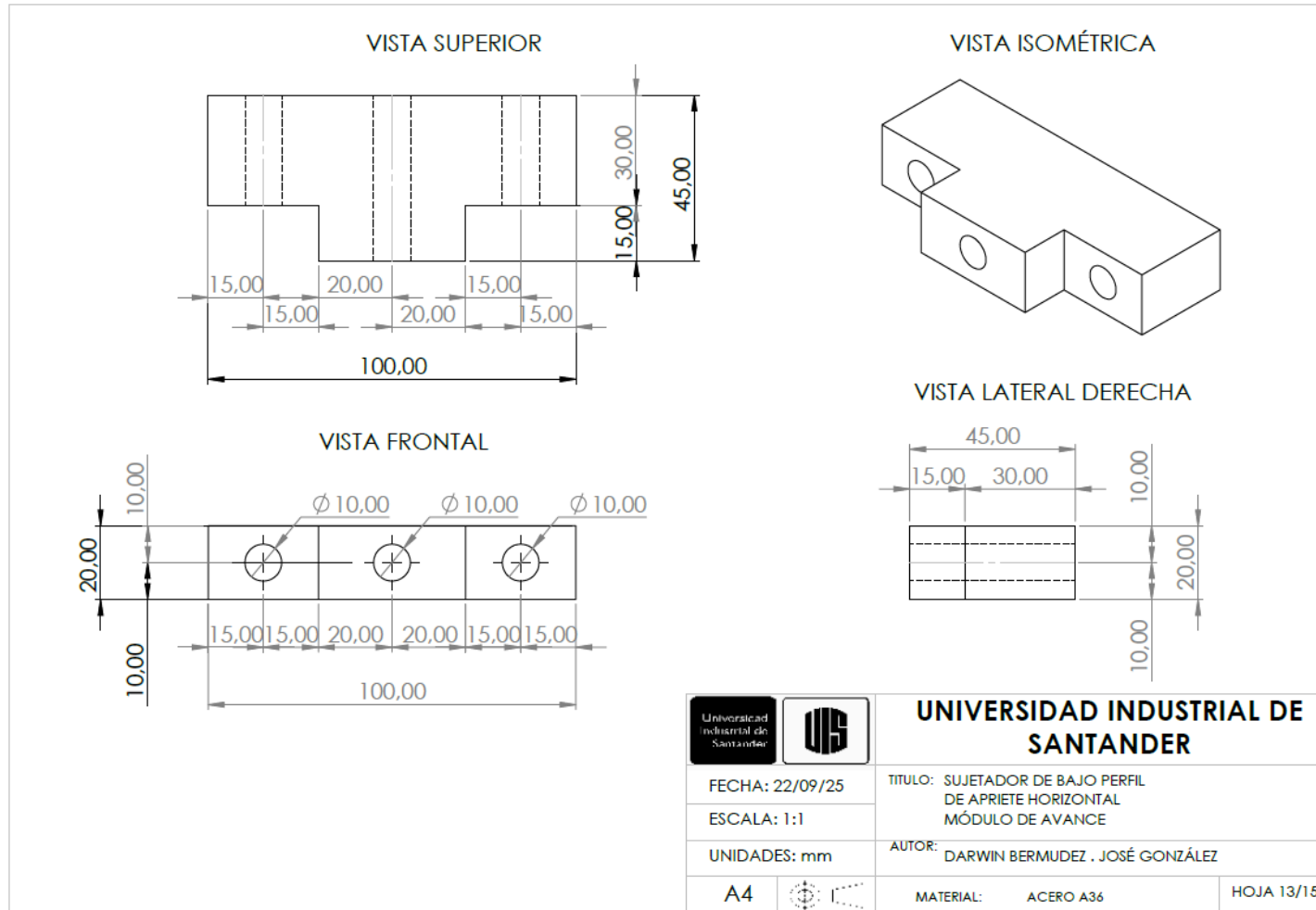
Apéndice L.

Plano barra de apriete



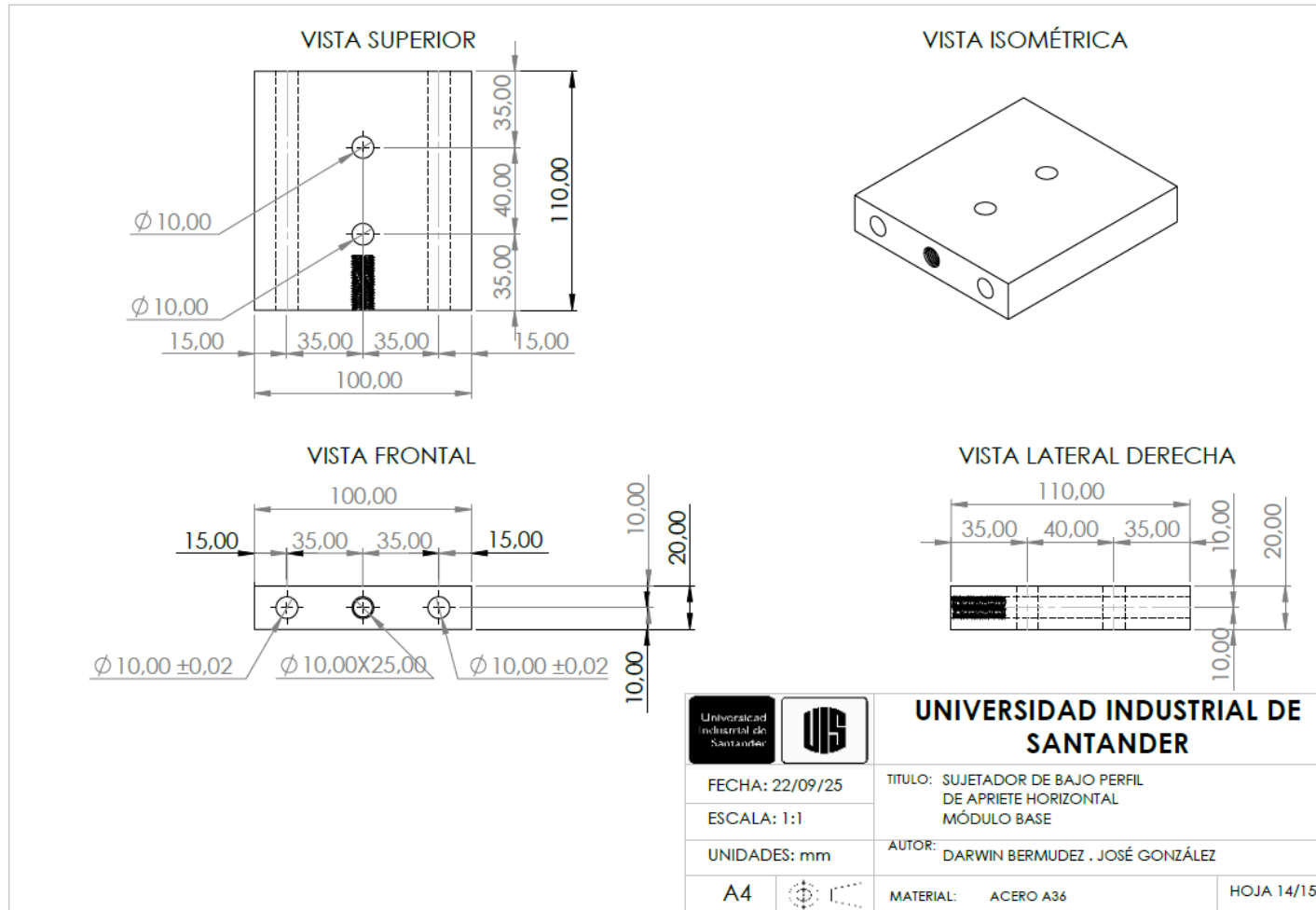
Apéndice M.

Plano módulo de avance



Apéndice N.

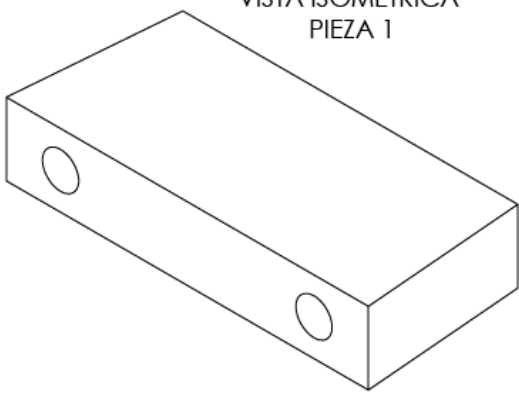
Plano modulo base



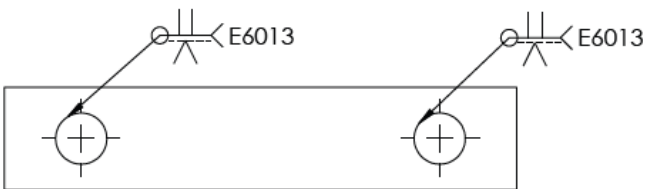
Apéndice O.

Plano de soldadura

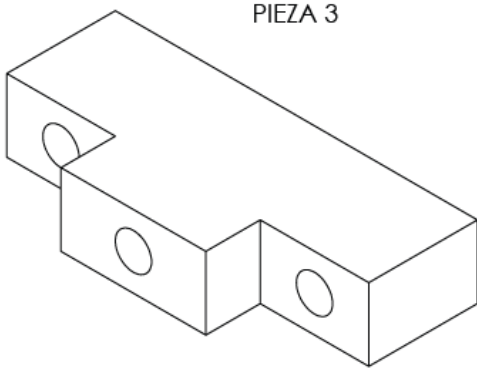
VISTA ISOMÉTRICA
PIEZA 1



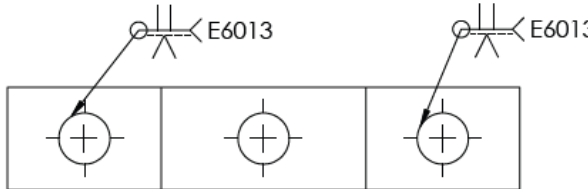
VISTA FRONTAL
DETALLE DE SOLDADURA





VISTA ISOMÉTRICA
PIEZA 3



VISTA FRONTAL
DETALLE DE SOLDADURA



		<p>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</p>
FECHA: 14/09/25	TÍTULO: SUJETADOR DE BAJO PERFIL DE APRIETE HORIZONTAL PLANO DE SOLDADURA	
ESCALA: 1:1	AUTOR: DARWIN BERMUDEZ . JOSÉ GONZÁLEZ	
UNIDADES: mm	MATERIAL: ACERO A36	HOJA 15/15
A4	