



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**“DISEÑO Y PROTOTIPADO 3D MEDIANTE LA APLICACIÓN
DE CAD-CAM-CAE, DE UN ACCESORIO PARA SUJECCIÓN DE
MATERIA PRIMA EN UN CENTRO DE MECANIZADO CNC DE
CINCO EJES.”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTOR:

CHRISTIAN EDWIN MORETA OCAÑA

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**“DISEÑO Y PROTOTIPADO 3D MEDIANTE LA APLICACIÓN
DE CAD-CAM-CAE, DE UN ACCESORIO PARA SUJECCIÓN DE
MATERIA PRIMA EN UN CENTRO DE MECANIZADO CNC DE
CINCO EJES.”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTOR: CHRISTIAN EDWIN MORETA OCAÑA

DIRECTOR: Ing. MIGUEL ÁNGEL ESCOBAR GUACHAMBALA

Riobamba – Ecuador

2022

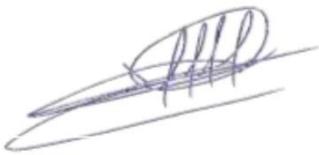
© 2022, Christian Edwin Moreta Ocaña

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el derecho del autor.

Yo, Christian Edwin Moreta Ocaña, declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 12 de julio del 2022

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'CEMO', with a long horizontal stroke underneath.

Christian Edwin Moreta Ocaña

180437835-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y PROTOTIPADO 3D MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CAD-CAM-CAE, DE UN ACCESORIO PARA SUJECCIÓN DE MATERIA PRIMA EN UN CENTRO DE MECANIZADO CNC DE CINCO GRADOS DE LIBERTAD**, realizado por: **CHRISTIAN EDWIN MORETA OCAÑA**, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-07-12
Ing. Miguel Ángel Escobar Guachambala DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-07-12
Ing. Carlos Oswaldo Serrano Aguiar MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-07-12

DEDICATORIA

A mi familia por creer siempre en mí, dedico este trabajo de manera especial, a mis padres, quienes son las personas que me han apoyado durante toda mi formación académica y a mi abuela Lucinda Ocaña, que con sus consejos y palabras de aliento me ayudaron a seguir adelante. Finalmente quiero dedicar este trabajo a mi esfuerzo, capacidad y dedicación que demostré a lo largo de mi formación académica

Christian Edwin Moreta Ocaña

AGRADECIMIENTO

A Dios por dotarme de salud y sabiduría para poder cumplir este gran reto.

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a las de la Facultad de Mecánica, por darme la oportunidad de obtener una profesión, para así ser una ayuda para la sociedad.

Finalmente, agradezco a mi familia quienes, a pesar de todas las dificultades me apoyaron en todo. A todas las personas que directa o indirectamente contribuyeron a mi investigación y formación como profesional.

Christian Edwin Moreta Ocaña

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN	xvi
SUMMARY	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Delimitación	3
1.2.1. <i>Delimitación espacial</i>	3
1.2.2. <i>Delimitación sectorial</i>	3
1.3. Formulación del problema.....	3
1.4. Objetivos	3
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	3

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS	4
2.1. Maquinaria CNC.....	4
2.1.1. <i>Clasificación de los centros de mecanizado CNC</i>	4
2.1.1.1. <i>Centros de mecanizado vertical (CMV)</i>	5
2.1.1.2. <i>Centros de mecanizado horizontal (CMH)</i>	5
2.2. Centro de mecanizado de cinco ejes	5
2.2.1. <i>Mecanizado</i>	5
2.2.2. <i>Centro de mecanizado</i>	6
2.2.2.1. <i>Configuraciones comunes para maquinas CNC de 5 ejes</i>	7
2.2.3. <i>CNC “Control numérico computarizado”</i>	8
2.2.4. <i>Ventajas del CNC</i>	8
2.2.5. <i>Desventajas del CNC</i>	8

2.2.6.	<i>Máquina herramienta convencional vs máquina herramienta CNC</i>	9
2.3.	Sistemas CAD/CAM/CAE	9
2.3.1.	<i>CAD</i>	9
2.3.2.	<i>CAM</i>	10
2.3.2.1.	<i>Tipos de aplicación del CAM</i>	10
2.3.3.	<i>CAE</i>	10
2.4.	Centro de mecanizado de cinco ejes “ROMI DCM 620 5X CNC SIEMENS” ...	11
2.4.1.	<i>Partes de la maquinaria</i>	11
2.4.2.	<i>Especificaciones técnicas de la maquinaria</i>	12
2.4.3.	<i>Equipos estándar</i>	14
2.4.4.	<i>Equipos opcionales</i>	14
2.4.5.	<i>Características del CNC ROMI DCM 620-5X-SIEMENS 840D</i>	15
2.5.	Accesorios de sujeción para elementos a mecanizar en CNC	17
2.6.	Accesorios de sujeción para bancada y mordaza.	19
2.6.1.	<i>Base para mecanizado vertical</i>	19
2.6.2.	<i>Base para mecanizado horizontal</i>	19
2.6.3.	<i>Base para mecanizado multifuncional</i>	20
2.6.4.	<i>Montaje total del sistema</i>	20
2.7.	¿Qué es la fabricación aditiva?	21
2.7.1.	<i>¿Qué es una impresora 3D?</i>	21
2.8.	¿Qué es un proceso de soldadura?	22

CAPÍTULO II

3.	MARCO METODOLÓGICO	23
3.1.	Parámetros funcionales del accesorio	23
3.1.1.	<i>Requerimientos básicos en el diseño de dispositivos porta piezas</i>	23
3.1.2.	<i>Planteamientos básicos en el diseño de dispositivos porta piezas</i>	24
3.1.2.1.	<i>Unificación del sistema de localización</i>	24
3.1.2.2.	<i>Permanencia del sistema de localización</i>	24
3.1.3.	<i>Permanencia del sistema de localización</i>	25
3.1.3.1.	<i>Principio de los puntos localizadores mínimos</i>	26
3.1.3.2.	<i>Principio de la posición extrema</i>	26
3.1.4.	<i>Tratamientos aplicados y prácticos en el diseño de accesorios de sujeción</i>	26

3.1.4.1.	<i>Requerimientos tecnológicos del accesorio.....</i>	27
3.1.4.2.	<i>Consideraciones importantes para disminuir el error en el diseño del accesorio....</i>	27
3.1.4.3.	<i>Componentes y elementos constructivos de los accesorios de sujeción.....</i>	28
3.1.4.4.	<i>Diseño modular.....</i>	29
3.1.5.	<i>Métodos de fijación del dispositivo usados en máquinas herramientas CNC.....</i>	29
3.1.5.1.	<i>Sistema de fijación “MORETTI”.....</i>	29
3.1.5.2.	<i>Sistema de fijación y orientación “FORKARDT”.....</i>	30
3.1.6.	<i>Algoritmo para el diseño de accesorios de sujeción con ayuda del computador....</i>	30
3.2.	<i>Diseño conceptual del accesorio.....</i>	31
3.2.1.	<i>Requerimientos del usuario.....</i>	31
3.2.1.1.	<i>Costos.....</i>	31
3.2.1.2.	<i>Funcionalidad.....</i>	32
3.2.1.3.	<i>Operación.....</i>	32
3.2.1.4.	<i>Seguridad.....</i>	32
3.2.2.	<i>Análisis de prototipos existentes en el mercado.....</i>	34
3.2.2.1.	<i>Proveedor principal.....</i>	34
3.2.2.2.	<i>Proveedor secundario.....</i>	34
3.2.3.	<i>Desarrollo del QFD.....</i>	37
3.2.3.1.	<i>Voz del ingeniero.....</i>	37
3.2.3.2.	<i>Correlaciones.....</i>	38
3.2.4.	<i>Especificaciones técnicas.....</i>	39
3.2.4.1.	<i>Prioridades técnicas.....</i>	39
3.2.4.2.	<i>Referencias competitivas.....</i>	39
3.2.4.3.	<i>Especificaciones del producto.....</i>	40
3.2.4.4.	<i>Compromisos técnicos.....</i>	41
3.2.4.5.	<i>Análisis funcional modular.....</i>	42
3.2.4.6.	<i>Definición de módulos.....</i>	43
3.2.5.	<i>Matriz morfológica y generación de alternativas.....</i>	44
3.2.5.1.	<i>Módulo 1 (Módulo estructural).....</i>	44
3.2.5.2.	<i>Módulo 2 (Módulo de control).....</i>	45
3.2.6.	<i>Evaluación de alternativas.....</i>	45
3.2.6.1.	<i>Criterios de evaluación.....</i>	45
3.2.6.2.	<i>Evaluación módulo 1 (Modulo estructural).....</i>	46
3.2.6.3.	<i>Evaluación módulo 2 (Módulo de control).....</i>	47
3.2.7.	<i>Alternativa de diseño obtenida.....</i>	49

3.3.	Diseño de elementos críticos del accesorio, materialización mediante software CAD y validación mediante CAE.....	49
3.3.1.	<i>Diseño de elementos del accesorio mediante cálculos matemáticos.....</i>	49
3.3.1.1.	<i>Diseño de los pernos Allen.....</i>	49
3.3.1.2.	<i>Diseño del tornillo de potencia.....</i>	52
3.3.2.	<i>Diseño de materialización mediante SolidWorks.....</i>	54
3.3.3.	<i>Validación mediante ANSYS.....</i>	54
3.3.3.1.	<i>Análisis de las mordazas.....</i>	55
3.3.3.2.	<i>Análisis de esfuerzos en los puntos de anclaje mediante pernos Allen.....</i>	60
3.3.3.3.	<i>Análisis de esfuerzos en el tornillo de potencia.....</i>	60
3.3.3.4.	<i>Análisis de la base.....</i>	60
3.3.3.5.	<i>Análisis de la base alta.....</i>	63
3.4.	Impresión 3D del accesorio.....	65
3.4.1.	<i>Material para la impresión 3D.....</i>	72

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS.....	73
4.1.	Diseño de los pernos Allen “base alta-bancada CNC”.....	73
4.1.1.	<i>Análisis a corte.....</i>	73
4.1.2.	<i>Análisis a tracción.....</i>	73
4.1.3.	<i>Cálculo del factor de seguridad.....</i>	74
4.1.4.	<i>Medidas de diseño del perno.....</i>	74
4.2.	Diseño del tornillo de potencia.....	76
4.2.1.	<i>Dimensionamiento y análisis del tornillo de potencia rosca ACME.....</i>	76
4.2.2.	<i>Cálculo de los factores de seguridad en la tuerca del tornillo de potencia.....</i>	77
4.3.	Diseño del accesorio mediante SolidWorks.....	78
4.4.	Validación mediante ANSYS.....	78
4.4.1.	<i>Análisis de las mordazas.....</i>	78
4.4.1.1.	<i>Asignación de los materiales.....</i>	79
4.4.1.2.	<i>Configuración de contactos entre elementos.....</i>	81
4.4.1.3.	<i>Mallado.....</i>	82
4.4.1.4.	<i>Análisis de resultados.....</i>	83
4.4.2.	<i>Análisis de la base.....</i>	85
4.4.2.1.	<i>Mallado.....</i>	85
4.4.2.2.	<i>Análisis de resultados.....</i>	86
4.4.3.	<i>Análisis de la base.....</i>	88

4.4.3.1.	<i>Mallado</i>	88
4.4.3.2.	<i>Análisis de resultados</i>	89
4.5.	Impresión 3D	90
CONCLUSIONES		92
RECOMENDACIONES		93
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Comparación entre los dos sistemas de mecanizado	9
Tabla 2-2:	Especificaciones técnicas ROMI DCM 620-5X.....	12
Tabla 3-2:	Equipos estándar	14
Tabla 4-2:	Equipos opcionales	14
Tabla 5-2:	Características del CNC ROMI DCM 620-5X-SIEMENS 840D	15
Tabla 1-3:	Especificaciones generales del diseño de dispositivos modulares	29
Tabla 2-3:	Requisitos del usuario	33
Tabla 3-3:	Evaluación de los proveedores.....	35
Tabla 4-3:	Análisis de los proveedores.....	36
Tabla 5-3:	Voz del ingeniero.....	37
Tabla 6-3:	Factores de incidencia.....	38
Tabla 7-3:	Correlaciones	38
Tabla 8-3:	Prioridades técnicas	39
Tabla 9-3:	Referencias competitivas	40
Tabla 10-3:	Especificaciones del producto.....	41
Tabla 11-3:	Especificaciones del producto.....	41
Tabla 12-3:	Compromisos técnicos	42
Tabla 13-3:	Módulo 1 (Módulo estructural).....	44
Tabla 14-3:	Módulo 2 (Módulo de control).....	45
Tabla 15-3:	Criterios de evaluación	46
Tabla 16-3:	Ponderación de funcionalidad.....	46
Tabla 17-3:	Ponderación de costos.....	47
Tabla 18-3:	Ponderación de seguridad	47
Tabla 19-3:	Prioridades de solución módulo 1	47
Tabla 20-3:	Ponderación de funcionalidad.....	48
Tabla 21-3:	Ponderación de costos.....	48
Tabla 22-3:	Ponderación de operación.....	48
Tabla 23-3:	Ponderación de seguridad	48
Tabla 24-3:	Prioridades de solución módulo 2	49
Tabla 1-4:	Factores de seguridad en los pernos de anclaje del accesorio	76
Tabla 2-4:	Dimensiones del tornillo de potencia rosca ACME	76
Tabla 3-4:	Esfuerzo equivalente de Von Mises, eficiencia y factor de seguridad del tornillo de potencia.	77

Tabla 4-4:	Factores de seguridad obtenidos en el diseño de la tuerca	77
Tabla 5-4:	Datos de diseño del tornillo de potencia rosca ACME.....	78
Tabla 6-4:	Valores de deformación, esfuerzo y factor de seguridad en las mordazas.....	85
Tabla 7-4:	Valores de deformación, esfuerzo y factor de seguridad en la base	88
Tabla 8-4:	Valores de deformación, esfuerzo y factor de seguridad.....	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	CMV de doble columna	5
Figura 2-2:	Centro de mecanizado CNC horizontal (CMH).....	5
Figura 3-2:	Mecanizado	6
Figura 4-2:	Centro de mecanizado	6
Figura 5-2:	Planos de trabajo CNC de 5 ejes.	6
Figura 6-2:	Grados de libertad rotativos, configuración mesa-mesa.	7
Figura 7-2:	Grados de libertad rotativos, configuración mesa-herramienta.....	7
Figura 8-2:	Grados de libertad rotativos, configuración herramienta-herramienta.....	8
Figura 9-2:	Ejemplo de modelado en “SOLIDWORKS”	9
Figura 10-2:	Ejemplo de una matriz en “RHINO”	10
Figura 11-2:	Ejemplo de análisis MEF en “ANSYS”	11
Figura 12-2:	CNC ROMI DCM 620-5X.....	11
Figura 13-2:	Eje rotativo e inclinado.....	13
Figura 14-2:	V75100X.....	18
Figura 15-2:	V75150X.....	18
Figura 16-2:	V562X.....	18
Figura 17-2:	V510X.....	19
Figura 18-2:	Base para mecanizado vertical	19
Figura 19-2:	Base para mecanizado horizontal	20
Figura 20-2:	Base para mecanizado multifuncional	20
Figura 21-2:	Montaje total del sistema.....	21
Figura 22-2:	Impresora 3D.....	22
Figura 1-3:	Esquema representativo de la supresión de los grados de libertad.....	25
Figura 2-3:	Seis grados de libertad aplicados a un sólido.....	25
Figura 3-3:	Puntos de localización en base al sistema cero piezas.	26
Figura 4-3:	Elementos constitutivos de un accesorio de sujeción.	28
Figura 5-3:	Sistema de fijación y orientación “FORKARDT”.....	30
Figura 6-3:	V510X de la marca 5th AXIS	34
Figura 7-3:	Dispositivo de sujeción de 5 ejes 41300 marca Norelem.....	34
Figura 8-3:	Configuración de parámetros space clean.....	55
Figura 9-3:	Características principales del mallado en el accesorio	57
Figura 10-3:	Elementos aplicados el controlador global “patch conforming”	58
Figura 11-3:	Elementos aplicados el controlador global “sweep method”	58

Figura 12-3:	Elemento aplicado el controlador global “multizone”	59
Figura 13-3:	Elemento aplicado el controlador local “inflation”	59
Figura 14-3:	Apoyo fijo aplicado a la base del accesorio.....	60
Figura 15-3:	Fuerzas distribuidas de 40 KN sobre las mordazas.....	60
Figura 16-3:	Características principales del mallado en la base	61
Figura 17-3:	Base aplicado el controlador global “patch conforming”	61
Figura 18-3:	Base alta aplicado el controlador local “inflation”	62
Figura 19-3:	Apoyo fijo aplicado a la base	62
Figura 20-3:	Fuerzas distribuidas de 50 Kg sobre la base del accesorio.....	62
Figura 21-3:	Características principales del mallado en la base	63
Figura 22-3:	Base alta aplicado el controlador global “patch conforming”	63
Figura 23-3:	Base alta aplicado el controlador local “inflation”	64
Figura 24-3:	Apoyo fijo aplicado a la base alta.....	64
Figura 25-3:	Fuerza resultante	65
Figura 26-3:	Momento resultante.....	65
Figura 27-3:	Piezas en formato. STL	66
Figura 28-3:	Configuración de la expansión horizontal	66
Figura 29-3:	Configuración de la velocidad de impresión y desplazamiento	67
Figura 30-3:	Configuración de la posición de impresión.	67
Figura 31-3:	Configuración del tipo de adherencia	68
Figura 32-3:	Configuración de la refrigeración de impresión	68
Figura 33-3:	Configuración del desplazamiento	69
Figura 34-3:	Configuración del relleno de impresión.....	70
Figura 35-3:	Flujo de impresión.....	70
Figura 36-3:	Cama de impresión.....	71
Figura 37-3:	Revisión del extrusor.....	71
Figura 38-3:	Preparación del extrusor	72
Figura 1-4:	Esfuerzo equivalentes en los puntos de anclaje	75
Figura 2-4:	Esfuerzo equivalentes en los puntos de anclaje	75
Figura 3-4:	Esfuerzo equivalente máximo en el tornillo de plomo.....	76
Figura 4-4:	Factor de seguridad del tornillo de potencia rosca ACME a una carga de 40KN	77
Figura 5-4:	Isometría del sistema total realizado en SolidWorks	78
Figura 6-4:	Geometría simplificada del modelo mediante ANSYS workmench.	79
Figura 7-4:	Configuración de contactos entre elementos	82
Figura 8-4:	Mallado final del accesorio.	82
Figura 9-4:	Parámetros de análisis del accesorio.....	83

Figura 10-4:	Deformación máxima en el accesorio debido a una carga de 40KN.....	84
Figura 11-4:	Esfuerzo equivalente máximo y mínimo en el accesorio debido a una carga de 40KN	84
Figura 12-4:	Factor de seguridad en el accesorio debido a una carga de 40KN	85
Figura 13-4:	Mallado final de la base.....	86
Figura 14-4:	Deformación máxima en la base debido a una carga de 50 Kg.....	87
Figura 15-4:	Esfuerzo equivalente máximo y mínimo en la base debido a una carga de 50Kg	87
Figura 16-4:	Factor de seguridad en la base a una carga de 50 Kg.....	87
Figura 17-4:	Mallado final del accesorio.	88
Figura 18-4:	Deformación máxima en la base alta.....	89
Figura 19-4:	Esfuerzo equivalente máximo y mínimo en la base alta	89
Figura 20-4:	Factor de seguridad en el elemento	90
Figura 21-4:	Accesorio de sujeción M125X200XZ	90
Figura 22-4:	Ensamble total del accesorio de sujeción M125X200XZ.....	91

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Nivel cero para el análisis funcional modular	43
Gráfico 2-3:	Diagrama de procesos	43
Gráfico 1-4:	Datos del mallado	83
Gráfico 2-4:	Diagrama de barras de los valores de mallado en relación al número de elementos generados en la misma.	83
Gráfico 3-4:	Diagrama de barras de los valores de mallado en relación al número de elementos generados en la misma.	86
Gráfico 4-4:	Diagrama de barras de los valores de mallado en relación al número de elementos generados en la misma.	89

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Mordaza V510X marca “5th AXIS”
- ANEXO B:** Mordaza 41300 marca “Norelem”
- ANEXO C:** Casa de la calidad completa
- ANEXO D:** Propiedades mecánicas de los pernos con grado 8.8
- ANEXO E:** Excel para el cálculo de la eficiencia de un tornillo de potencia
- ANEXO F:** Propiedades mecánicas del materia ASTM A36
- ANEXO G:** Propiedades mecánicas del materia AISI 1018
- ANEXO H:** Propiedades mecánicas del materia ASTM A131 GRADO A
- ANEXO I:** Propiedades mecánicas del cobre
- ANEXO J:** Características de la impresora marca “ENDER 3PRO”

RESUMEN

El presente proyecto técnico tuvo como objetivo diseñar y obtener un prototipo 3D de un accesorio para sujeción de materia prima un centro de mecanizado de cinco grados de libertad. Para lo cual se recopiló varias referencias bibliográficas de diferentes autores y fuentes, mediante una investigación sistemática del tema, con lo cual se logró establecer los parámetros fundamentales de diseño. Además, se logró establecer las características estructurales y dimensionales, en base a recomendaciones de catálogos y un buen criterio de diseño. Sin embargo, para obtener el modelo final, se utilizó el método del diseño concurrente, el cual proporciona varias ponderaciones según la voz del usuario e ingeniero, en comparación con modelos existentes en el mercado. Por consiguiente, se determinó un mecanismo de tornillo de potencia y anclaje mediante pernos Allen. Finalmente se concluyó que el accesorio cumplió con un factor de seguridad mayor a 1, así como también una eficiencia de trabajo del 50 % en condiciones extremas de operación, por lo que se verificó los estados de esfuerzos y deformaciones bajo la aplicación de cargas máximas, de esta manera no fallará en condiciones de operación, garantizando así la integridad de la maquinaria, del operario y un trabajo eficiente en un menor tiempo de mecanizado. Además, se recomienda un análisis por métodos finitos específico bajo las condiciones establecidas, que permita conocer correctamente los parámetros de diseño del accesorio, puesto que son factores que influyen directamente en el dimensionamiento en base a la estabilidad y el diseño conceptual, conjuntamente desarrollado mediante la voz del usuario e ingeniero, con el fin de mejorar la eficiencia del accesorio tanto en su simulación, impresión y futura construcción.

Palabras claves: <ACCESORIO PARA SUJECIÓN DE MATERIA PRIMA> <TORQUE MAXIMO> <COMPRESIÓN> <PERNOS ALLEN>

1716-DBRA-UTP-2022



SUMMARY

The objective of this technical project was to design and obtain a 3D prototype of an accessory for holding raw material in a five-degree-of-freedom machining center. For which several bibliographical references from different authors and sources were compiled, through a systematic investigation of the subject, with which it was possible to establish the fundamental design parameters. In addition, it was possible to establish the structural and dimensional characteristics, based on catalog recommendations and good design criteria. However, to obtain the final model, the concurrent design method was used, which provides several weights according to the voice of the user and engineer, compared to existing models in the market. Therefore, a power screw and anchor mechanism using Allen bolts was determined. Finally, it was concluded that the accessory complied with a safety factor greater than 1, as well as a work efficiency of 50% in extreme operating conditions, for which the stress and deformation states were verified under the application of maximum loads, In this way, it will not fail in operating conditions, thus guaranteeing the integrity of the machinery, the operator and efficient work in less machining time. In addition, an analysis by specific finite methods is recommended under the established conditions, which allows to correctly know the design parameters of the accessory, since they are factors that directly influence the dimensioning based on stability and the conceptual design, jointly developed through the voice of the user and engineer, to improve the efficiency of the accessory both in its simulation, printing and future construction.

Keywords: <ACCESSORY FOR FIXING RAW MATERIAL> <MAXIMUM TORQUE>
<COMPRESSION> <ALLEN BOLTS>

1716-DBRA-UTP-2022



Lic. Francisco Mantilla Mgs.
0603747809

INTRODUCCIÓN

El primer lote de productos manufacturados se hizo uno a la vez, porque el primer lote de artesanos comenzó con ideas aproximadas de materias primas y productos terminados; Producen cada producto en piezas, hacen cada parte por separado y ajustan cada parte para obtener el producto terminado. Este proceso lleva tiempo. Además, la calidad y consistencia de los productos varían de persona a persona. Los primeros pioneros en la fabricación se dieron cuenta de la necesidad de desarrollar mejores métodos y nuevas ideas.

Al final, encontraron el secreto de la producción en masa: la estandarización de piezas. No solo puede producir rápidamente piezas estándar, sino también garantizar su modularidad. Esta idea puede ser obvia hoy, pero en esa época fue revolucionaria. Estas piezas estándar son la clave para permitir que los trabajadores sin experiencia reutilicen las habilidades del maestro para la reproducción. El método original para lograr una configuración uniforme de la pieza es la plantilla.

Basándose en el concepto de encofrado, los trabajadores construyeron otros rieles y accesorios de sujeción para facilitar su trabajo y los resultados más predecibles. Estos elementos son la tendencia actual vinculada y respaldada hoy. Además, los elementos utilizados ayer también tienen hoy dos funciones básicas: la firmeza y el posicionamiento preciso de una obra. Los dispositivos y soportes antiguos pueden carecer de mejoras modernas, pero aún mantienen los mismos principios en el diseño de dispositivos de hoy.

Para el desarrollo de esta investigación se tomó como referencia algunos de los siguientes documentos: “DISPOSITIVOS DE SUJECION PARA MAQUINAS HERRAMIENTAS CNC” del ingeniero Ernesto Córdoba Nieto, en el cual trata las características esenciales que debe cumplir dichos elementos, así como también los pasos y recomendaciones para su diseño. Además, el catálogo de la marca “5th AXIS”, cuenta con un sin número de modelos en base a las necesidades del cliente y de la maquinaria a montar, por lo cual se basó para el dimensionamiento inicial del accesorio.

Actualmente en el Ecuador la tecnología CNC, aun no se la utiliza de manera radical debido al alto costo que tiene adquirir esta maquinaria, sin embargo, las industrias que lo tienen han mejorado de manera radical en sus sistemas de producción y control de procesos, debido a su rapidez y exactitud al momento de mecanizar. Por tal motivo la implementación de dicho accesorio en los talleres de mecanizado de la ESPOCH, permitirá la realización de piezas de alta complejidad, en el menor tiempo posible, sin dejar de lado la calidad del elemento final, así como también garantizará la integridad de la maquinaria y el operario.

CAPÍTULO I

En este capítulo se analizará los estudios anteriores realizados de acuerdo con el tema planteado, además estableceremos el problema y el área en el cual se desarrollará dicho accesorio, en base a un objetivo principal y varios objetivos secundarios.

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

Desde tiempos prehistóricos, el desarrollo tecnológico de las máquinas-herramienta se ha basado en el binomio herramienta-máquina. Durante siglos, las herramientas han sido una extensión de la mano humana, hasta que apareció la primera máquina básica que facilitó su uso. Aunque no existían máquinas-herramienta reales en la antigüedad, sin embargo, aparecieron dos bocetos de máquinas para operaciones de torneado y taladrado.

Según (Fonseca, 2021) “La fabricación de piezas utilizando una maquina fresadora en la industria metalmeccánica generalmente para la sujeción de estas al momento de mecanizar, se utilizan elementos genéricos como lo son; bridas y prensas, los cuales por simple inspección cumplen con su función, la cual es no permitir el movimiento de la pieza durante su fabricación cuando el sólido tiene formas regulares”.

Además, [...]. “el tiempo que se requiere para elaborar una pieza disminuye o por el contrario aumenta en función de la cantidad de operaciones y las herramientas que se tengan disponibles, pero también influye lo que se pueda demorar el operario en hacer el montaje del material a mecanizar y el desmontaje del elemento ya terminado, para ello es muy importante escoger un dispositivo de sujeción que tenga gran facilidad de ensamble.”(Fonseca, 2021)

Según (Cordoba, 1991) “El principio modular del diseño de los dispositivos posibilita eliminar la diversidad inoficiosa de versiones constructivas. El carácter modular de los dispositivos es originado por las combinaciones de los tres tipos de bases geométricas que permiten reproducir la referenciación y el reglaje de la pieza.”

Según (Bufu, 2021) “Antes de planificar la producción, debemos estudiar los requerimientos de calidad, es decir, todas las tolerancias y estrategias admitidas tanto en las piezas mecanizadas como en los aparatos de medida y de mecanizado que van a realizar las debidas incisiones. En lo referente a las estrategias de mecanizado, se define el tipo de herramienta, las condiciones de trabajo y las trayectorias que van a darse a la hora de fabricar las piezas.”

Durante los años 40 – 50, aparece en el mundo el control numérico aplicado a la tecnología de producción principalmente en los procesos relacionados con el metal mecánico. En 1955 se contempla por primera vez una muestra de chapa metálica que fue intervenida por una máquina punzonadora a efecto de presentarla en la exhibición de Máquinas Herramientas de Chicago de dicho año.(Andrade, 2016, p. 3)

En los últimos años en la facultad de mecánica se ha implementado maquinaria CNC de alto valor, como lo es el centro de mecanizado de cinco grados de libertad marca ROMI, sin embargo debido al alto costo de adquisición de un elemento de sujeción de piezas para mecanizar específicamente

cuando la mesa se encuentra de manera vertical, no se ha logrado llevar más allá la utilización de la maquinaria, es decir no se ha podido realizar el mecanizado de piezas con alta complejidad, ya que se corre el riesgo de que la herramienta de desbaste choque con la bancada, por lo que sería perjudicial para su funcionamiento e integridad.

Por lo cual, con el desarrollo del accesorio de sujeción, se logrará realizar trabajos más complejos y se garantizará a la facultad de mecánica de la ESPOCH, tener un rango mayor de aplicación y de esta manera lograr explotar al máximo la capacidad de la maquinaria.

1.2. Delimitación

1.2.1. Delimitación espacial

El presente proyecto está delimitado espacialmente a un nivel provincial, para la provincia de Chimborazo, específicamente el laboratorio de CAD-CAM de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

1.2.2. Delimitación sectorial

Con este proyecto se influye en el cumplimiento del Objetivo 7 del Plan Nacional del Buen Vivir, incentivando a una sociedad participativa, con un Estado cercano al servicio de la ciudadanía.

1.3. Formulación del problema

Debido a la ausencia de un accesorio para la sujeción de materia prima a mecanizar y el peligro de impacto entre la bancada de la maquina y la herramienta, no se ha explotado al máximo la capacidad que ofrece el centro de mecanizado con cinco ejes.

Por lo cual se planteó la siguiente interrogante.

¿De qué manera mejoraría el rendimiento del centro de mecanizado de cinco grados de libertad del laboratorio de CAD-CAM de la ESPOCH, en la fabricación de piezas complejas; empleando el accesorio de sujeción propuesto?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar y obtener un prototipo 3D de un accesorio para sujeción de materia prima un centro de mecanizado CNC de cinco grados de libertad, mediante la aplicación de CAD-CAM-CAE.

1.4.2. Objetivos específicos

- Investigar los tipos de dispositivos de sujeción de materia prima, para centros de mecanizado, mediante un estudio sistemático del tema.
- Utilizar la metodología QFD, para establecer el mecanismo de sujeción de la mordaza, para un centro de mecanizo marca ROMI de 5 ejes, mediante la comparación sistemática de prototipos existentes en el mercado.
- Diseñar y validar el accesorio mediante la utilización de software CAD-CAE.
- Obtener el prototipo, mediante la impresión 3D, para verificar su geometría y validar su funcionalidad.

CAPÍTULO II

En este capítulo se realizará un estudio sistemático del tema planteado en base a la revisión bibliográfica de libros, papers y materia de estudio presente en la base de datos de la biblioteca de la ESPOCH.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Maquinaria CNC

Existen una variedad muy amplia en el sector industrial, en la cual se utilizan diferentes tipos de maquinaria CNC. Los cuales están aumentando de manera rápida ya que según, (Reyes, 2014), “A medida que avanza el desarrollo de la tecnología también se incrementan los diferentes usos en diversos procesos de manufactura”.

Por lo cual se identificaron las siguientes aplicaciones:

- Centros de mecanizado
- Fresadoras
- Tornos
- Torno fresador
- Taladradoras
- Mandriladoras
- Máquinas de electroerosión EDM
- Cizallas y Punzadoras
- Máquinas de oxicorte
- Rectificadoras
- Máquinas soldadoras y dobladoras

[...]. Según (Reyes, 2014) “Un centro de mecanizado es una máquina herramienta con la capacidad de fabricar componentes prismáticos de maquinaria o herramientas como lo son troqueles, moldes, matrices, soportes, etc. Usan operaciones como fresado, mandrinado, taladrado, roscado, torneado, alisado, rectificado y en general operaciones de mecanizado necesarias; antes de la introducción de centros de mecanizado, estas operaciones tenían que ser llevadas a cabo en diferentes máquinas, resultando en tiempos muertos de manufactura, ocasionados por el tiempo de montaje tecnológico, compensación de herramientas, alineación del producto en proceso en cada uno de las fases de producción, también con el objetivo de reducir el tiempo de espera se implementa un magazine de herramientas indexable, que puede almacenar varias herramientas. El magazine de herramientas puede llevar entre 16 y 100 herramientas.”

2.1.1. Clasificación de los centros de mecanizado CNC

Se clasifican en función a la orientación del husillo:

- (CMV) Centros de mecanizado verticales
- (CMH) Centros de mecanizado horizontales

2.1.1.1. Centros de mecanizado vertical (CMV)

Los CMV no son adecuados para grandes anchos ya que esto aumenta el recorrido y con esto el tamaño de todo el centro de mecanizado, la alternativa para grandes anchos se utiliza CMH o CMV de configuración doble columna.



Figura 1-2: CMV de doble columna

Fuente: (Reyes, 2014)

2.1.1.2. Centros de mecanizado horizontal (CMH)

[...]. El mecanizado horizontal se produce en un centro de mecanizado horizontal (HMC), que emplea un eje paralelo al piso inferior. Con un eje posicionado horizontalmente, las herramientas sobresalen del lado del portaherramientas y sobrepasan el lado de una pieza de trabajo, provocando la caída de virutas sobre la mesa. Los centros de mecanizado horizontal también permiten la integración de un cambiador de dos tarimas para facilitar la operación desatendida y reducir los tiempos de ciclo de las piezas. (Mazak Corporation, 2022)

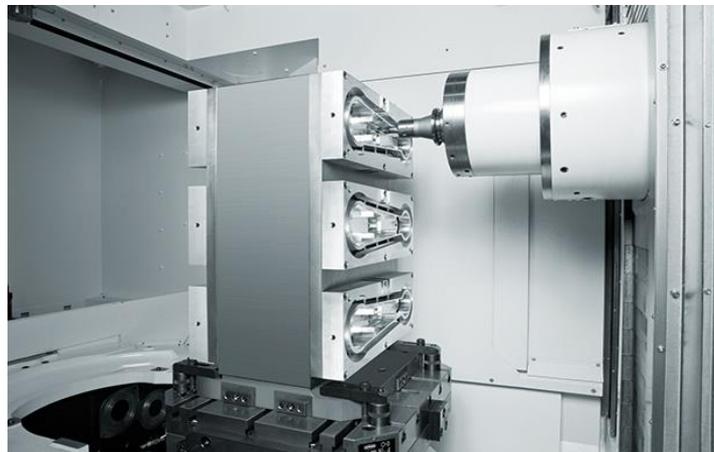


Figura 2-2: Centro de mecanizado CNC horizontal (CMH)

Fuente: (Mazak Corporation, 2021)

2.2. Centro de mecanizado de cinco ejes

2.2.1. Mecanizado

Según Knight & Boothroyd (como se citó en (Castaño y Henao, 2017)). “Se llama mecanizado a un proceso de fabricación de piezas en el que el material es retirado gradualmente de una pieza inicial de trabajo, por medio de una serie de operaciones, hasta llegar a una forma y medidas requeridas como se observa en la figura 3-1, la eliminación de material puede darse por medio

de herramientas metálicas las cuales pueden tener uno o varios puntos o filos de corte o por medio de ruedas abrasivas.”



Figura 3-2: Mecanizado

Fuente: (Castaño y Henao, 2017)

2.2.2. Centro de mecanizado

“Un centro de mecanizado es una máquina altamente automatizada capaz de realizar múltiples operaciones de maquinado en una instalación bajo CNC (Control Numérico Computacional) con poca intervención humana”.(Mendieta, 2013)



Figura 4-2: Centro de mecanizado

Fuente: (Castaño y Henao, 2017)

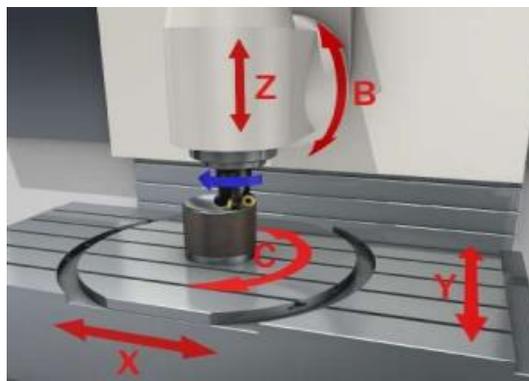


Figura 5-2: Planos de trabajo CNC de 5 ejes.

Fuente: (Castaño, Henao, 2017)

2.2.2.1. Configuraciones comunes para máquinas CNC de 5 ejes

- **Mesa-mesa**

Todos los movimientos rotativos, excepto el husillo, ya que es realizado por las mesas de estas máquinas, la mesa giratoria principal lleva una segunda mesa giratoria, a la que se une, normalmente por tornillos, la copa o dispositivo sujetador de la materia prima y la pieza a mecanizar. En estas máquinas, la parte se hace girar alrededor de la herramienta, los dispositivos rotativos de la máquina tienen que ser capaz de manejar el peso de la pieza y la copa, esta capacidad es un factor importante cuando se consideran los movimientos rápidos. (Reyes, 2014)

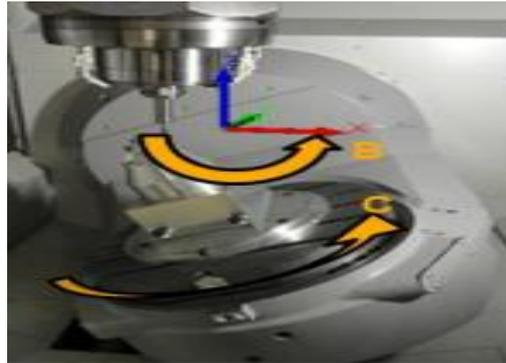


Figura 6-2: Grados de libertad rotativos, configuración mesa-mesa.

Fuente: (Reyes , 2014)

- **Mesa-herramienta**

“Ejecuta un movimiento de rotación en la mesa, la cual que lleva la pieza de trabajo, el husillo se articula generando un movimiento de inclinación respecto a la pieza.” (Reyes, 2014)



Figura 7-2: Grados de libertad rotativos, configuración mesa-herramienta.

Fuente: (Reyes , 2014)

- **Herramienta-herramienta**

Según Mazakas (como se citó en (Reyes, 2014)), en el sistema herramienta-herramienta se “ejecutan todos los movimientos giratorios y de pivotante mediante la articulación de la cabeza del husillo de la máquina, la pieza de trabajo siempre está estática”.



Figura 8-2: Grados de libertad rotativos, configuración herramienta-herramienta

Fuente: (Reyes , 2014)

2.2.3. CNC “Control numérico computarizado”

“C.N.C. se refiere al control numérico de máquinas, generalmente Máquinas de Herramientas. Normalmente este tipo de control se ejerce a través de un computador y la máquina está diseñada a fin de obedecer las instrucciones de un programa dado”. (¿Qué es el CNC?, s.f., párr. 1)

2.2.4. Ventajas del CNC

- Reduce la intervención del operador en la producción de piezas dejando al operador tiempo libre para hacer otras tareas, trayendo de esta forma beneficios como: reducción de fatiga para el operador, disminución de errores humanos, tiempo de maquinado consistente y predecible para cada pieza, se genera una gran productividad debido a que todas las operaciones se realizan en condiciones óptimas, reduciendo tiempos muerto.(Tello, 2019)
- Exactitud y eficiencia en la producción en masa de las piezas mecanizadas,
- Flexibilidad, lo que significa que elaborar piezas diferentes es más fácil, como estas máquinas se operan desde programas, al operar una pieza de trabajo diferente es tan fácil como cargar un programa diferente, por ejemplo, una vez elaborado un programa se verifica y ejecuta para la primera producción, será fácil llamarlo nuevamente la siguiente vez que la pieza de trabajo se requiera hacer, únicamente cargando el programa.(Tello, 2019)
- Se puede mecanizar piezas con superficies tridimensionales.
- Se puede realizar una simulación en los programas de diseño antes de realizar el mecanizado definitivo.

2.2.5. Desventajas del CNC

- La maquinaria es relativamente muy costosa.

- En el caso de fallos, el mantenimiento y reparación es muy delicada y costosa.
- La planificación del trabajo debe ser más detallada y rigurosa: Es necesario programar en forma correcta la selección de las herramientas de corte y la secuencia de operación para un eficiente funcionamiento.(Tello, 2019)

2.2.6. Máquina herramienta convencional vs máquina herramienta CNC

Tabla 1-2: Comparación entre los dos sistemas de mecanizado

Máquina herramienta convencional	Máquina herramienta CNC
Un operario, solo puede manejar una máquina.	Un operario puede operar varias máquinas.
Es necesario consultar constantemente el plano.	No es necesario consultar repetidamente el plano.
Se necesita una amplia experiencia.	No es necesaria una amplia experiencia.
El operador tiene el control de profundidad, avance, etc.	El programa tiene todo el control de los parámetros de corte.
Mecanizados imposibles de realizar.	Posibilidad de realizar prácticamente cualquier mecanizado.

Fuente: (Tello , 2019)

2.3. Sistemas CAD/CAM/CAE

El diseño, simulación y la fabricación (CAD/CAM/CAE) es una disciplina que estudia el uso de sistemas informáticos como herramienta de soporte en todos los procesos involucrados en el diseño, simulación y la fabricación de cualquier tipo de producto. Esta disciplina se ha convertido en un requisito indispensable para la industria actual que se enfrenta a la necesidad de mejorar la calidad, disminuir los costes y acortar los tiempos de diseño, simulación y producción. La única alternativa para conseguir este triple objetivo es la de utilizar la potencia de las herramientas informáticas actuales e integrar todos los procesos, para reducir los costes (de tiempo y dinero) en el desarrollo de los productos, simulación y en su fabricación.(Tello, 2019)

2.3.1. CAD

El termino CAD, “Computer Aided Design” con su significado en español, diseño asistido por computador “se puede definir como el uso de sistemas informáticos en la creación, modificación, análisis u optimización de un producto. Dichos sistemas informáticos estarían conformados de un hardware y un software.”(Tello Mario, 2019)

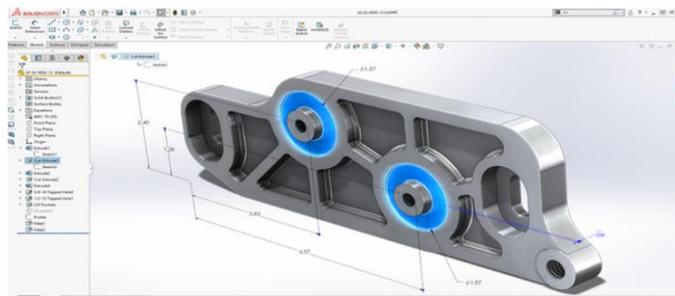


Figura 9-2: Ejemplo de modelado en “SOLIDWORKS”

Fuente: (3Dnatives, 2022)

2.3.2. CAM

El termino CAM, “Computer Aided Manufacturing” con su significado en español fabricación asistida por computador “se puede definir como el uso de sistemas informáticos para la planificación, gestión y control de las operaciones de una planta de fabricación mediante una interfaz directa o indirecta entre el sistema informático y los recursos de producción.”(Tello, 2019)

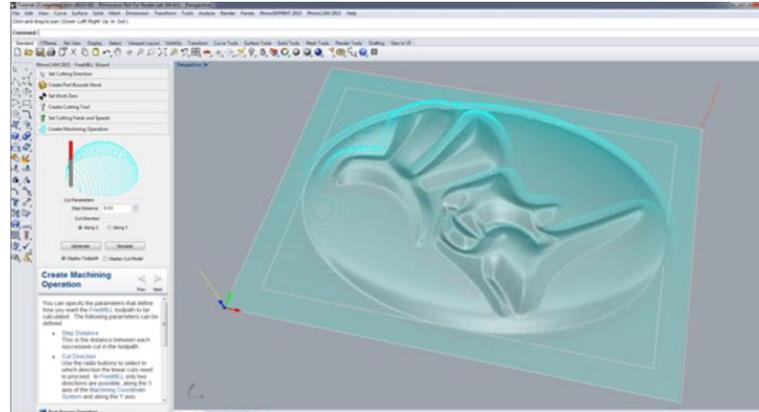


Figura 10-2: Ejemplo de una matriz en “RHINO”

Fuente: (MecSoft Corporation, s.f.)

2.3.2.1. Tipos de aplicación del CAM

Interfaz directa:

Según (Tello, 2019) la interfaz directa “son aplicaciones en las que el ordenador se conecta directamente con el proceso de producción para monitorizar su actividad y realizar tareas de supervisión y control”. Así pues, estas aplicaciones se dividen en dos grupos:

- Supervisión: implica un flujo de datos del proceso de producción al computador con el propósito de observar el proceso y los recursos asociados y recoger datos.
- Control: supone un paso más allá que la supervisión, ya que no solo se observa el proceso, sino que se ejerce un control basándose en dichas observaciones.

Interfaz indirecta:

Se trata de aplicaciones en las que el ordenador se utiliza como herramienta de ayuda para la fabricación, pero en las que no existe una conexión directa con el proceso de producción.(Tello, 2019)

2.3.3. CAE

El termino CAE, “Computer Aided Engineering” con su significado en español ingeniería asistida por computador según Altan, Lilly & Y en (como se citó en (Castro y Reyes, 2019)), “es el conjunto de métodos que son usados para desarrollar una amplia variedad de tareas de diseño”, específicamente en la simulación del diseño.

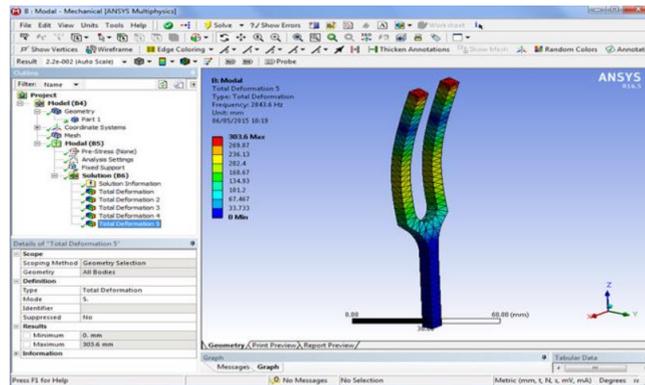


Figura 11-2: Ejemplo de análisis MEF en “ANSYS”

Fuente: (AutoFEM Software LLP, 2018)

2.4. Centro de mecanizado de cinco ejes “ROMI DCM 620 5X CNC SIEMENS”

La línea ROMI DCM 620 presenta avanzados centros de mecanizado vertical de cinco ejes, / cinco caras, diseñados para mecanizado de piezas de geometrías simples y complejas en alta velocidad. Su configuración de cinco ejes / cinco caras, permite realizar el mecanizado de piezas complejas en sólo un setup, lo que reduce significativamente el tiempo de mecanizado, con eficiencia, precisión y productividad. (Romi, 2016)



Figura 12-2: CNC ROMI DCM 620-5X

Fuente: (Romi, 2016)

2.4.1. Partes de la maquinaria

La maquinaria CNC marca ROMI cuenta con las siguientes partes:

- Cabezal
- Cojinete de apoyo
- Mesa rotativa (eje C)
- Mesa inclinada (eje B)
- Columna
- Motor principal

2.4.2. Especificaciones técnicas de la maquinaria

Tabla 2-2: Especificaciones técnicas ROMI DCM 620-5X

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	ROMI DCM 620-5X	UNIDADES
Cabezal vertical		
Cono del husillo ISO 40 Z	40	ISO
Rango de velocidad	15 a 15000	rpm
Avances		
Avance rápido (ejes X / Y / Z)	36	m/min
Avance de corte programable	1 a 20000	mm/min
Rotación máxima de los ejes B y C	12	rpm
Recorridos		
Recorrido del eje X	620	mm
Recorrido del eje Y	520	mm
Recorrido del eje Z	460	mm
Distancia entre nariz del husillo y mesa	150-610	mm
Ángulo de rotación eje B	-110° ~ +110° (**)	grados
Ángulo de rotación eje C	360°	grados
Mesa rotativa		
Superficie de la mesa	600x600	mm
Número de ranuras "T"	5	mm
Ancho de las ranuras "T" x distancia	18x100	mm
Agujero de la guía central	Ø 60 H7	mm
Dimensiones máximas de las piezas en la mesa	Ø 520 x 330 altura	mm
Peso admisible	300	Kg
Motor principal ca (régimen continuo)	16 / 12	cv/kW
Potencia total instalada	50	kVA
Dimensiones y pesos		
Altura (recorrido máximo)	2873	mm
Área ocupada (frente x lateral)	4167x3400	mm
Peso neto	9200	Kg
Capacidad de herramientas	30	----
Longitud máxima de la herramienta	250	mm
Peso máximo de la herramienta	7	Kg

Mandril de la herramienta	BT / BBT 40	tipo
Potencia		
Motor principal ca (régimen S6 - 40% - 10 min.)	24 / 18	cv/kW
Capacidad de herramientas	30	----
Diámetro máximo de la herramienta	76	mm
Diámetro máximo de la herramienta (con adyacentes vacíos)	127	mm
Longitud máxima de la herramienta	250	mm
Peso máximo de la herramienta	7	Kg
Peso máximo admisible en magazine	160	Kg
Mandril de la herramienta	BT / BBT 40	tipo
Potencia		
Motor principal ca (régimen S6 - 40% - 10 min.)	24 / 18	cv/kW

Fuente: (ROMI, 2016)

El centro de mecanizado CNC ROMI DCM 620-5X, es una maquinaria sumamente compleja ya que cuenta con sistemas mecánicos, eléctricos, refrigeración e hidráulicos. La cual cuenta con un sin número de especificaciones técnicas que hay que tener presente al momento de ponerla en operación.



Figura 13-2: Eje rotativo e inclinado

Fuente: (ROMI, 2016)

2.4.3. Equipos estándar

Tabla 3-2: Equipos estándar

CNC siemens 828D, con monitor color de 10,4" (ROMI DCM 620-5F).	Puerta principal con traba eléctrica de seguridad.
CNC siemens sinumerik 840D sl, con monitor color de 19" (ROMI DCM 620-5X).	Luminaria tubular de led.
Cobertura completa contra virutas y salpicaduras.	Sistema de lubricación centralizada automática con filtro de línea para guías y tornillo de esferas.
Documentación completa en CD.	Sistema de refrigeración de la carcasa del cabezal.
Encoder angular para ejes "B" y "C" (ROMI DCM 620-5X).	Sistema de refrigeración de corte con bomba de cinco bar y tanque (capacidad de 200l).
Instalación eléctrica para alimentación en 380 vca, 50 / 60 hz.	Sistema neumático para limpieza del cono del husillo.
Juego de tornillos y tuercas de nivelación.	Sistema de lavado del área de trabajo.
Juego de tornillos y tuercas de nivelación.	Sistema hidráulico para extracción de la herramienta.
Junta rotativa para refrigeración interna Cojinete para apoyo de la mesa.	Pistola de lavado (wash gun).
Panel de operación auxiliar manual (handwheel) con funciones de manivela y JOG para los ejes.	Cambiador automático de herramientas con brazo articulado, para 30 herramientas BT / BBT 40.
Pintura estándar: esmalte epoxi texturizado azul Munsell 10B-3/4 y tinta epoxi a polvo texturizado gris ral 7035.	Transductor lineal de posición (regla óptica) para eje Z.

Fuente: (ROMI, 2016)

2.4.4. Equipos opcionales

Tabla 4-2: Equipos opcionales

Aire acondicionado para el panel eléctrico	Pintura especial según padrón Munsell o Ra
Autotransformador para red de 200 - 250 Vca o de 360 - 480 Vca, 30 kVa	Separador de aceite / refrigerante (oil skimmer)
Bomba de alta presión para refrigeración por el centro del husillo de 7 bar, 20 bar o 70 bar (B)	Extractor de niebla

Encoder angular para eje “B” (ROMI DCM 620-5F)	Sistema de medición / inspección de piezas
Encoder angular para eje “C” (ROMI DCM 620-5F)	Sistema laser de seteo de las herramientas
Cerramiento del techo del área de mecanizado (C)	Transductor lineal de posición (regla óptica) ejes X y Y
Filtro para el sistema extractor de niebla	Transportador de virutas de cinta articulada metálica (TCE) (A)
Transportador de virutas de cinta de arrastre (TCA) (A)	

Fuente: (ROMI, 2016)

Donde:

A: Opcional de elección obligatoria

B: Para bomba de 20 bar y 70 bar, requiere compra del opcional cerramiento del techo del área de mecanizado.

C: Es recomendable la instalación del opcional extractor de niebla

2.4.5. Características del CNC ROMI DCM 620-5X-SIEMENS 840D

Tabla 5-2: Características del CNC ROMI DCM 620-5X-SIEMENS 840D

Funciones y desempeño del CNC	
Pantalla 19".	Advanced surface para aplicaciones de moldes y matrices.
Precisión 80bit nanofp.	Tiempo para procesamiento del bloque - 0,5.
Bloques del look ahead = 250.	Aceleración con limitación jerk control.
Compensación de error del segmento.	Interpolación spline.
Acciones síncronas y función de salida auxiliar de alta velocidad.	Transformación cilíndrica con compensación del radio de herramientas para ranuras paralelas.
Interfaz USB.	Interfaz Ethernet.
Paquete cinco ejes	
Interpolación cinco ejes simultáneos	Advanced surface - Step II
Atenuante de cambio de orientación – ORISON	Interpolación spline
Memoria de usuario en la tarjeta CF	Ciclos de medición automática
Llamada de subprograma	Shopmill/Shopturn - programación por pasos
Transformación cilíndrica / Transmit	Detección residual de material
Simulación 3D / Simulación en tiempo real	Compensación de radio 3D

Intérprete built-in del código ISO	Programación de mecanizado Shopmill: eficiencia en la programación de piezas individuales y piezas de grupos pequeños
Medición automática de la cinemática de la máquina	Programación vía punto de centro de la herramienta – TRAORI
Paquete del mecanizado - cinco ejes	
Funciones de programación	
Programguide: ciclo de soporte tecnológico para programas sinumerik en código G	Programación en código g sinumerik con comandos en alto nivel para programación
Número del programa	Ciclos de mecanizado para contorno de pockets / spigots con islas
Sub-programa	Nombre del programa
Edición expandida	Busca de bloque n de programa
Número de programas en la memoria = 500	Edición de programas en background
Creación / Edición de programas	Espacio de memoria atribuida para el usuario = 3MB
Función de referencia	Control de programas
Funciones de avance	
Avance en mm/min o pol/min	Avance en mm/rot o pol/rot
Tiempo de espera	Control del avance en las esquinas
Parada exacta	Modo de roscado continuo para machos
Modo de corte	Modo de parada exacta
Funciones gráficas	
Elementos animados - soporte dinámico a ciclos	Simulación 3D / Simulación en tiempo real
Detección residual de material	Ciclos de medición automática
Vista rápida moldes y matrices	Simulación 3D para el mecanizado multieje
Sistemas de coordenadas	
Sistema de coordenada de trabajo local	Sistema de coordenada de máquina
Sistema de coordenadas de la pieza	Rotación del sistema de coordenadas
Reseteado del sistema de coordenadas de la pieza	
Valores de coordenadas y dimensiones	
Programación con punto decimal	Medidas y velocidad de envío en pulgadas o métricas.

Programación en modo absoluto e incremental	Coordenada polar
Fator de escala	Función espejo de la pieza
Entrada de datos programable	
Funciones del husillo	
Designación del husillo en rpm (código S)	Posicionamiento angular del husillo
Funciones aplicadas a la herramienta	
Compensación del radio de punta de la herramienta.	Corredores de herramienta para longitud y diámetro.
Medición automática programada de longitud de la herramienta.	Medición manual de longitud de la herramienta.
Administración de herramientas con lectura del nombre de las herramientas.	Función de carga / descarga para simple distribución de magazine.
Macro	
Variables del sistema	Programación paramétrica
Funciones para simplificación del programa	
Ciclos fijos de perforado, mandrinado y roscado	Ciclo fijo de roscado con macho rígido
Achaflanado y redondeado de esquinas	Interpolación cilíndrica
Programación en imagen de espejo	
Formato de programación - serie 828d	
Formato de programación ISO para el comando 840D	
Operaciones de ejecución	
Modo MDA	Modo en automático
Modo bloque a bloque	Modo parado del programa
Modo parado opcional de programa	Modo omisión del bloque (/)
Modo reinicio de la ejecución del programa	Selección de bloques de ejecución
Funciones de mantenimiento	
Funciones de alarma y diagnósticos	Parada de emergencia
Sistema de control de potencia	
• Control Energy - Operación eficiente de la máquina	

Fuente: (ROMI, 2016)

2.5. Accesorios de sujeción para elementos a mecanizar en CNC

Debido a que la eficiencia de una máquina herramienta CNC, en su mayoría depende del tipo de dispositivo porta piezas que se esté utilizando; Para el caso del centro de mecanizado ROMI DCM

620-5X-SIEMENS 840D posee varios modelos, dependiendo la longitud de apertura de las muelas.

Los cuales mencionaremos a continuación:

V75100X con unas dimensiones de 75mm x 100mm x 56mm



Figura 14-2: V75100X

Fuente: (Evolved 5th AXIS, s.f.)

V75150X con unas dimensiones de 75mm x 150mm x 56mm



Figura 15-2: V75150X

Fuente: (Evolved 5th AXIS, s.f.)

V562X con unas dimensiones de 125.7mm x 152.4mm x 73.6mm



Figura 16-2: V562X

Fuente: (Evolved 5th AXIS, s.f.)

V510X con unas dimensiones de 125.7mm x 254mm x 73.6mm



Figura 17-2: V510X

Fuente: (Evolved 5th AXIS, s.f.)

Para el desarrollo de nuestro proyecto nos centraremos en el diseño y construcción del modelo V510X, ya que posee un rango mayor de trabajo, revisar Anexo-A.

2.6. Accesorios de sujeción para bancada y mordaza.

Para la selección de dicho accesorio se debe tomar en cuenta la posición y el tipo de trabajo que se esté realizando es decir mecanizado vertical, horizontal y multifuncional.

2.6.1. Base para mecanizado vertical

Se lo utiliza cuando el husillo se encuentra de forma perpendicular a la mesa de trabajo. Es decir, la herramienta se acerca a la pieza de trabajo desde la parte superior hasta abajo; Para mejorar la eficiencia de dicho mecanizado se utilizan porta piezas con base paralela a la bancada, la misma utiliza una mordaza para reducir el tiempo de cambio de pieza. Como se muestra en la figura 18-2.



Figura 18-2: Base para mecanizado vertical

Fuente: (Evolved 5thAXIS, 2004)

2.6.2. Base para mecanizado horizontal

Se lo utiliza cuando el husillo se encuentra de forma paralela a la mesa de trabajo. es decir con un eje posicionado horizontalmente, las herramientas sobresalen del lado del portaherramientas y sobrepasan el lado de una pieza de trabajo, provocando la caída de virutas sobre la mesa.

Para mejorar la eficiencia de dicho mecanizado se utilizan porta piezas con base perpendicular a la bancada, la misma utiliza una mordaza para reducir el tiempo de cambio de pieza. Como se muestra en la figura 19-2.



Figura 19-2: Base para mecanizado horizontal

Fuente: (Evolved 5thAXIS, 2004)

2.6.3. Base para mecanizado multifuncional

Se lo utiliza cuando el husillo se encuentra a una cierta inclinación de trabajo con relación a la bancada de la maquina o cuando se necesita realizar el mecanizado de piezas que posean un cierto desbaste de manera diagonal. Para mejorar la eficiencia de dicho mecanizado se utilizan porta piezas con base piramidal, la cual garantiza la máxima flexibilidad de trabajo; Una de las desventajas de dicha base es que cuenta con bases circulares a manera de soporte lo cual representa un mayor coste de construcción y adquisición de materia prima. (Evolved, 2004)



Figura 20-2: Base para mecanizado multifuncional

Fuente: (Evolved 5thAXIS, 2004)

Para el diseño y construcción de dicha base, se tomará en cuenta el costo y complejidad de construcción y adquisición de materia prima. Por lo cual nos centraremos en una base para mecanizado vertical tipo RL96A-3613S1, tomado del catálogo 5th AXIS workholding evolved volumen 4.

2.6.4. Montaje total del sistema

El accesorio en su totalidad debe constar de los siguientes elementos: Mordaza, sujetadores y base anclada a la bancada de la máquina, como se muestra en la figura 21-2.



Figura 21-2: Montaje total del sistema

Fuente: (Evolved 5thAXIS, 2004)

2.7. ¿Qué es la fabricación aditiva?

Para (Jorquera, 2017), la “fabricación aditiva es del nombre técnico que engloba todas las tecnologías de impresión 3D se trata de la fabricación de objetos tridimensionales por aportación de material en vez de sustracción. En impresión 3D, partiendo de un archivo digital (modelo 3D) se utilizan diferentes procesos adictivos en los que se aplican capas sucesivas de material para crear un objeto tangible.

Existen diferentes formas de abordar el problema y cada tecnología tiene sus virtudes e inconvenientes.”

2.7.1. ¿Qué es una impresora 3D?

“Una impresora 3D es una maquina controlada por ordenador capaz de fabricar cualquier forma o geometria por muy compleja que sea, es decir no entiende de diferencias en cuanto a la complejidad de una forma, le cuesta el mismo esfuerzo fabricar un simple prisma de seis caras que algo que desde un punto de vista humano se considera mucho más complejo como la réplica de un adorno barroco de la fachada de una iglesia. Está libertad de creación no tiene precedentes en la historia ya que hasta ahora para fabricar objetos hemos dependido siempre de las limitaciones de forma que impone el uso de moldes o herramientas de corte y desbaste como una fresadora, además una impresora 3D no solo es capaz de fabricar formas complejas sino que también es capaz de fabricar un objeto dentro de otro, como por ejemplo fabricar un silbato con la bola dentro esto significa que una impresora 3D es capaz de fabricar objetos complejos que no requieren de pasos posteriores de ensamble.” (Jorquera, 2017)

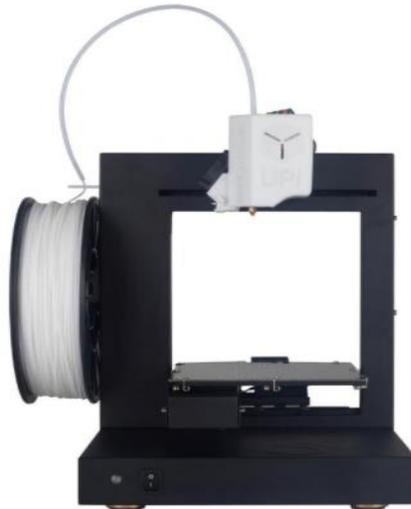


Figura 22-2: Impresora 3D

Fuente: (Jorquera , 2017)

2.8. ¿Qué es un proceso de soldadura?

Según la American Welding Society (como se citó en (Larry Jeffus, 2009)), “define una soldadura como una coalescencia localizada, la fusión o unión de la estructura de granos de los materiales que se están soldando, de metales o no metales, producida mediante el calentamiento de los materiales a las temperaturas de soldadura requeridas, con o sin la aplicación de presión o mediante la aplicación de presión sola y con o sin el uso de material de aportación”.

Según (Larry Jeffus, 2009). Los procesos de soldadura más populares son:

- OAW: Soldadura con oxiacetileno
- SMAW: Soldadura por arco metálico protegido o soldadura con electrodo
- GTAW: Soldadura por arco bajo gas protector con electrodo de tungsteno
- GMAW: Soldadura por arco bajo gas protector metálico
- FCAW: Soldadura por arco con núcleo fundente
- TB: Soldadura fuerte con soplete

CAPÍTULO III

En este capítulo se realiza el estudio sistemático de las partes y el funcionamiento que debe tener un diseño correcto de un accesorio de sujeción de materia prima, para lo cual se perpetro el análisis del proyecto mediante un QFD o casa de la calidad y así obtener el modelo final. Seguidamente se hizo su modelado y simulación en SolidWorks y ANSYS. Además, se planteó una explicación detallada del proceso de manufactura que se debe emplear para cada elemento, así como también su codificación CNC.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Parámetros funcionales del accesorio

3.1.1. *Requerimientos básicos en el diseño de dispositivos porta piezas*

Según (Cordoba, 1991), la “eficacia operativa de las máquinas herramientas CNC en buena medida depende del tipo de dispositivo porta piezas”. Por lo cual los requerimientos funcionales básicos en el diseño de los dispositivos portan piezas son:

- Realización precisa del esquema establecido para el basamento posicional tecnológico de la pieza.
- Invariabilidad de la referenciación y la orientación posicional de la pieza durante el maquinado.
- Precisión en el patronamiento de la pieza con relación a las coordenadas de la máquina herramienta.
- Logro de la productividad requerida en el proceso de manufactura.

Además, la materialización constructiva del dispositivo se relaciona con:

- Acertada selección de la forma y la ubicación de los elementos utilizados para la colocación y la referenciación tecnológica.
- Adecuada selección de los elementos de apriete o de agarre al igual que la definición del valor óptimo y del punto de aplicación de las fuerzas de sujeción.
- Elevada optimización del modo de ubicación de los elementos de localización tecnológica y de los actuadores de apriete en la estructura mejorada del dispositivo.
- Gradual asimilación de la automatización en el manejo y la operación del dispositivo con el criterio de alta flexibilidad tecnológica.

Cabe recalcar que entre los requerimientos planteados anteriormente el más sobresaliente y decisivo en el diseño es:

La realización precisa del esquema establecido de localización y referenciación tecnológica de la pieza maquinada; según (Cordoba, 1991), “este principio fundamental del diseño de dispositivos comúnmente no es bien interpretado. Más bien, se interpreta como la dominante existencia de una amplísima variedad en los modos de colocación de referenciación tecnológica de las piezas, lo

cual induce al diseño y la fabricación de una elevada e inoficiosa variedad constructiva de dispositivos deficientes.”

De esta manera se ha determinado que la referenciación y la localización de la pieza en el sistema de coordenadas de la máquina herramienta, es configurada con la síntesis combinatoria de tres elementos geométricos básicos como son: El plano, la línea y el punto.

Además, el principio modular del diseño de los dispositivos posibilita eliminar la diversidad inoficiosa de versiones constructivas. El carácter modular de los dispositivos es originado por las combinaciones de los tres tipos de bases geométricas que permiten reproducir la referenciación y el reglaje de la pieza. (Cordoba, 1991)

3.1.2. Planteamientos básicos en el diseño de dispositivos porta piezas

Debido a que la colocación y los ajustes técnicos permiten obtener la correcta orientación de la herramienta con respecto a la pieza de trabajo, continuamos con el proceso de fabricación; Los errores de colocación son los siguientes:

- EB: Error del basamiento y la referenciación tecnológica de la pieza en el dispositivo.
- ES: Error por sujeción o apriete de la pieza.
- ED: Error sumatorio proveniente por la disposición de la pieza en el dispositivo y en virtud del desgaste de los elementos de trabajo del aditamento tecnológico.

Las cuales por general según (Cordoba, 1991), “se originan por la no coincidencia entre las bases de lectura de medidas y la superficie tecnológica de referenciación.”, además se las toma como medidas de distancias límites tanto máximas como mínimas, tomando como base la lectura dimensional y la referencia del ajuste cero piezas.

Tomando como base las consideraciones anteriores la metalmecánica se estructura en dos principios tecnológicos que son:

- Unificación del sistema de localización
- Permanencia del sistema de localización

3.1.2.1. Unificación del sistema de localización

Incluye la integración de un conjunto completo de fundamentos relacionados en un sistema. Con el diseño y fabricación de productos, a saber:

- Bases de diseño
- Bases constructivas
- Base de lectura de medidas
- Bases tecnológicas

3.1.2.2. Permanencia del sistema de localización

Tiene que ver con la determinación de un sistema de bases geométricas para la referenciación tecnológica de la pieza, de tal forma que se mantenga inmodificable durante toda la manufactura del producto. Este principio es muy importante cuando es imposible satisfacer el postulado

anterior de unificación del sistema de localización. La expresión técnica del principio de la permanencia del sistema de referenciación, se ha materializado en el diseño de la nueva categoría de las máquinas herramientas, tales como: los centros de maquinado y los sistemas flexibles de manufactura. (Cordoba, 1991)

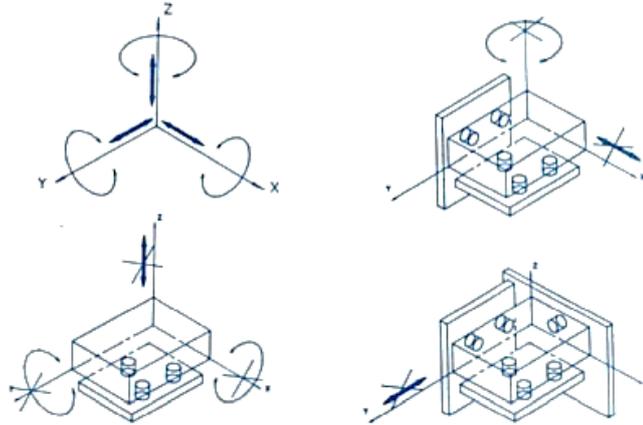


Figura 1-3: Esquema representativo de la supresión de los grados de libertad.

Fuente: (Cordoba , 1991)

“Una pieza en el espacio es libre de moverse en cualquier dirección y tiene 12 posibilidades de movimiento dados por sus 6 grados de libertad. Se puede mover linealmente en cualquiera de los dos sentidos de los tres ejes coordenados X, Y, Z, y puede rotar sobre ellos también, tanto en sentido positivo como negativo” (Cordoba, 1991)

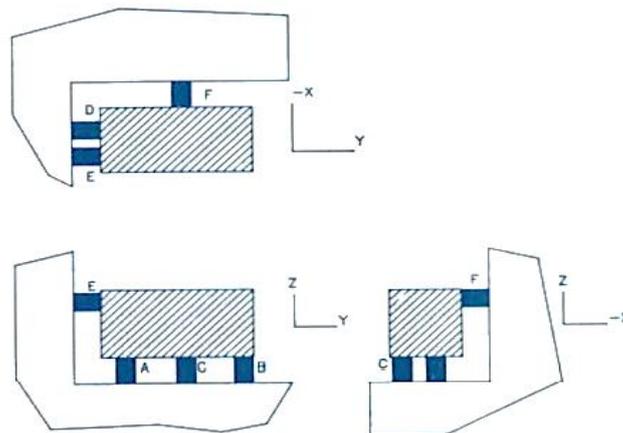


Figura 2-3: Seis grados de libertad aplicados a un sólido.

Fuente: (Cordoba , 1991)

3.1.3. Permanencia del sistema de localización

En la práctica por lo general según (Cordoba, 1991), “se deben considerar tres principios básicos: La precisa localización, orientación, apoyo y sujeción de las piezas en el dispositivo.”

3.1.3.1. Principio de los puntos localizadores mínimos

Hay que recordar que no se debe emplear más puntos de sujeción de los necesarios para asegurar una colocación en cualquier plano. El método 3-2-1 o plano-línea-punto determina el número mínimo requerido.

3.1.3.2. Principio de la posición extrema

Según (Cordoba, 1991), “los puntos localizadores, orientadores, de apoyo y de sujeción, deben ser dispuestos tan separados como sea posible sobre cualquier superficie de la pieza. Así para un desplazamiento dado (x o y), desde un punto a otro, la desviación resultante, disminuye según aumente la distancia entre los puntos por efecto de la proyección del error, como se ilustra en la figura 3-2.

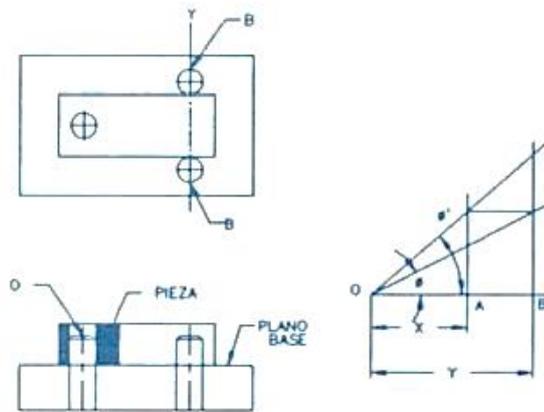


Figura 3-3: Puntos de localización en base al sistema cero piezas.

Fuente: (Cordoba, 1991)

Cabe recalcar que la materia prima que se utilizara por lo general es de forma rectangular por lo cual adoptaremos dichos principios planteados anteriormente.

3.1.4. Tratamientos aplicados y prácticos en el diseño de accesorios de sujeción

Según (Cordoba, 1991), “se debe garantizar con el accesorio las siguientes características:”

- Diversidad de productos a fabricar.
- Calidad en el maquinado.
- Conjugación con el parque instalado de máquinas herramientas.
- Colocación.
- Orientación y direccionamiento.
- Apoyo.
- Sujeción.
- Reajustamiento (distintos tamaños de piezas).
- Repatronamiento (cambio de posición tecnológica de la pieza en la máquina herramienta).
- Modo operativo del dispositivo (manual, motorizado, automático y programado).

Además, hay que tomar en cuenta que la eficiencia de las máquinas herramientas depende de los dispositivos, en cuanto a los siguientes aspectos:

- Reglaje y orientación tecnológica en el espacio geométrico de la máquina herramienta.
- Invariabilidad de la referenciación tecnológica de la pieza durante el maquinado.
- Precisión de la posición de las bases de reglaje tecnológico con relación al sistema de coordenadas de la máquina.
- Productividad de maquinado.

3.1.4.1. *Requerimientos tecnológicos del accesorio*

Según (Cordoba, 1991), “las condiciones de operación del accesorio en base a los requerimientos tecnológicos son los siguientes”:

- **Versatilidad:** Debe permitir el trabajo de cuatro o cinco caras de la pieza mediante un giro relativo en el dispositivo.
- **Intercambiabilidad y modularidad:** Se introduce la posibilidad de ampliar el uso del dispositivo hacia una gama mayor de familias de piezas. La modularidad e intercambiabilidad se relacionan con la diversidad de los elementos constitutivos del accesorio.
- **Definición de la zona de trabajo:** Sujeto a un peso portante determinado de la pieza (máximo 50 kg) y restringido a unas dimensiones máximas y mínimas de la pieza.
- **Tamaño del dispositivo:** Está en función del volumen de accionamiento o del campo de acción y dada la modularidad del dispositivo, es un factor importante en el diseño.
- **Rigidez:** Cada uno de los elementos que lo conforman y del conjunto en general, debe tener una buena rigidez, ya que determina en buena medida la precisión de maquinado.

3.1.4.2. *Consideraciones importantes para disminuir el error en el diseño del accesorio*

Existen 3 consideraciones a tomar en cuenta para obtener un diseño exitoso del accesorio los cuales son:

- **Forma y uso finales del accesorio.**

Según (Cordoba, 1991), “Conociendo el diseño y el uso final del producto o pieza, se puede determinar su forma, tamaño, peso, durabilidad, material, acabado y tolerancias. Esos factores influyen en la clase de dispositivo requerido.

También es importante conocer el estado en que se encuentra la pieza, (puede estar en bruto o parcialmente trabajada), a fin de lograr un correcto posicionamiento y fijación de la misma. Cuando la pieza tiene una parte parcialmente trabajada se procura que la fijación y centrado de la pieza en diferentes fases de fabricación sea siempre la misma y, si es posible, orientarla por esta superficie preelaborada. Si la pieza está en bruto debe decidirse, antes de efectuar la operación de mecanizado si se requiere un desbaste previo para que resulte un montaje eficaz, sencillo y seguro”.

- **Secuencia de montaje.**

Según (Cordoba, 1991), “El uso de dispositivos de fijación para efectuar las operaciones de montaje no requiere de una secuencia única ni inmodificable. Esta secuencia depende más de la necesidad de garantizar elevada calidad y precisión de la pieza e igualmente de la exigencia de alta productividad. Sin embargo, sea cual fuere la secuencia de montaje, esta debe obedecer a criterios de importancia como son la precisión, la simplificación de trabajo y la seguridad.”

- **El costo de elaboración.**

Hay que tomar en cuenta que el costo de elaboración del accesorio debe ser el más bajo posible, pero sin dejar de lado el factor de calidad y seguridad a la hora de utilizarlo.

3.1.4.3. Componentes y elementos constructivos de los accesorios de sujeción

“Cabe recalcar que los dispositivos portan piezas se componen de varios elementos que les permiten llevar a cabo el posicionamiento de la pieza en una relación definida con respecto a la herramienta de corte.” (Cordoba, 1991)

Los elementos constitutivos de un accesorio de sujeción son los siguientes:

- Los elementos localizadores, que sitúan la pieza en una posición exacta y precisa en el espacio respecto a la herramienta.
- Los elementos direccionadores que pueden orientar la pieza respecto a los movimientos de la herramienta.
- La estructura o cuerpo del dispositivo que soporta las fuerzas y absorbe las vibraciones generadas durante el maquinado.
- Los elementos de sujeción, que agarran la pieza al dispositivo y fijan también el dispositivo a la máquina; actuando contra las fuerzas de corte.
- Los elementos de patronamiento, que permiten el recambio sencillo y preciso, tanto de la posición de la pieza en el dispositivo como del dispositivo en la máquina.
- Los elementos de transmisión de potencia, que permiten el movimiento solidario de la pieza con el dispositivo, pero sin variar su colocación tecnológica.
- Los elementos de apoyo, que brindan rigidez a la pieza en caso que las fuerzas de corte tiendan a deflectarla.

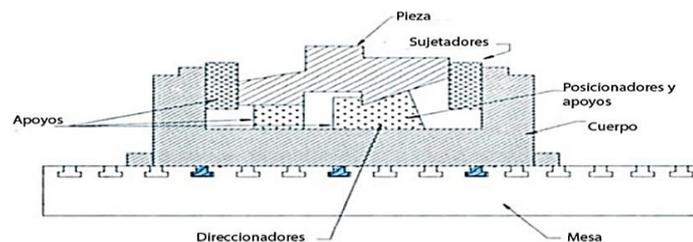


Figura 4-3: Elementos constitutivos de un accesorio de sujeción.

Fuente: (Cordoba , 1991)

Cabe recalcar que los elementos constitutivos que se muestran en la figura 4-2 concuerdan con el montaje total de nuestro sistema planteado en el capítulo 2.

3.1.4.4. *Diseño modular*

Según (Cordoba, 1991), “El problema consiste en definir el procedimiento para fijar las piezas metalmecánicas en máquinas herramientas CNC. Por ello es necesario pensar en dispositivos modulares y con los cuales se puede cubrir una amplia gama de tamaños y formas. De acuerdo con las especificaciones tecnológicas fundamentales que deben satisfacer los dispositivos, es posible configurar las respectivas etapas de su diseño.”

Tabla 1-3: Especificaciones generales del diseño de dispositivos modulares

ESPECIFICACIONES GENERALES DEL DISEÑO DE DISPOSITIVOS MODULARES	
Modularidad	Colocación y basamento
Universalidad	Precisión
Posibilidad de modificaciones	Materiales a utilizar de adecuadas propiedades
Posibilidad de montaje de varias piezas •	Agarre seguro
Elevada rigidez	Posibilidad de automatización
Evita vibraciones	Facilidad de repatronamiento
Intercambiabilidad	Mínimo error
Capacidad de variar condiciones de trabajo	Garantía de cierre de anillo de fuerzas
Reducción del tiempo de trabajo	

Fuente: (Cordoba, 1991)

Según (Córdoba, 1991), “un dispositivo porta piezas para máquinas herramientas CNC, debe cumplir con las características de universalidad, modularidad y repatronamiento para servir apropiadamente al nivel de esta tecnología. Además, todos los elementos constitutivos del sistema modular son cementados, templados y rectificadas; tienen un error máximo de fabricación de 0.01 mm; Para la sujeción de la pieza se utilizan actuadores excéntricos y roscados.”

3.1.5. *Métodos de fijación del dispositivo usados en máquinas herramientas CNC*

3.1.5.1. *Sistema de fijación “MORETTI”*

Según (Cordoba, 1991), “Los sistemas modulares están configurados por: Módulos porta piezas, elementos de fijación de acción vertical u horizontal, prolongación del campo de fijación, elementos de soporte y posicionamiento, elementos separadores, prismas y otras piezas, elementos reticulados para el reglaje del dispositivo con la ayuda de esferas o pasadores guías. Los agujeros de la retícula están ubicados a 40 o 50 mm. y sirven como punto de referencia y punto de anclaje. Consta de un manguito de centrado (cementado/templado) de una porta rosca de acero inoxidable, un tapón hermético que protege el manguito no usado y las tolerancias entre agujeros son de mm.”

Además, garantiza centrado de los puntos de la cuadrícula con tolerancias +/- 0.01 mm.

3.1.5.2. Sistema de fijación y orientación "FORKARDT"

"Consiste en agujeros cónicos, tanto en el elemento a fijar como en el módulo donde se va a colocar. Cuando por medio de tornillos son sujetos los dos cuerpos modulares, se elimina el juego existente entre ellos y con ella se produce un perfecto centrado. La precisión por posicionamiento repetitivo de un elemento es de ± 0.001 mm." (Cordoba, 1991)

Debido a la deformación de las paredes del agujero se obtiene las siguientes ventajas con dicho sistema de fijación:

- Compensación de las tolerancias del agujero de posicionamiento.
- Juego interno cero.
- Reducción de las tolerancias de espaciamiento entre los múltiples agujeros de referenciación de los diferentes elementos.
- Endurecimiento del material por deformación.
- Gran precisión de orientación del dispositivo en la máquina herramienta.

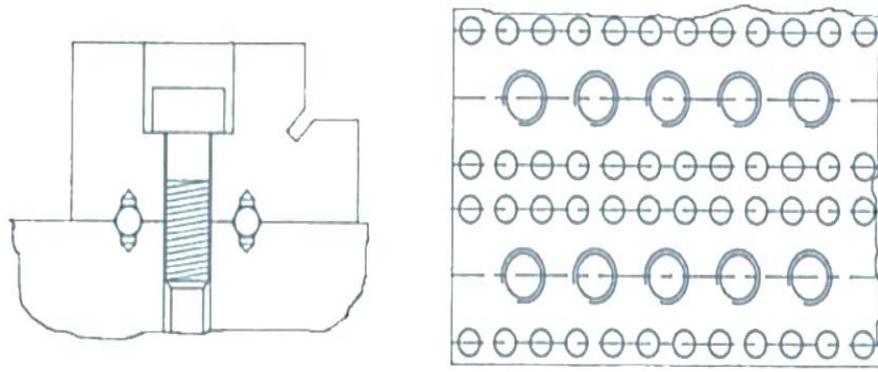


Figura 5-3: Sistema de fijación y orientación "FORKARDT".

Fuente: (Cordoba , 1991)

3.1.6. Algoritmo para el diseño de accesorios de sujeción con ayuda del computador

Según (Cordoba Ernesto, 1991), "Un buen diseño de accesorios porta piezas debe cumplir con el siguiente algoritmo:"

1. **Datos de diseño de la pieza:** Forma, dimensiones, material, peso, rugosidad, No. de piezas a fabricar.
2. **Fases del proceso tecnológico de maquinado:** Especificación de las herramientas de corte, régimen de corte, condiciones de operación de la máquina herramienta.
3. **Esquema de referenciación y basamento tecnológico:** Determinación del error de colocación tecnológica mediante la utilización de los datos estadísticos almacenados para los esquemas típicos de basamento y sujeción. El error de colocación tecnológica depende del esquema de basamento y de la variación de las medidas y forma de la pieza, como también está determinado por la ubicación de las bases tecnológicas en la pieza.

En la magnitud del error es determinante el valor y el punto de aplicación de las fuerzas de sujeción o de agarre de la pieza.

4. **Composición básica del diseño funcional del dispositivo:** Consulta bases de datos preestablecidas.
5. **Selección de los componentes constructivos del dispositivo:** Consulta de Base de Datos sobre elementos modulares y ajustables.
6. **Análisis del error de colocación tecnológica:** Consulta de programas expertos.
7. **Definición de la necesidad de modificar el esquema de basamento.**
8. **Cálculo de las fuerzas de maquinado:** Datos sobre las herramientas y las condiciones de maquinado.
9. **Determinación de la magnitud y del sitio de aplicación de la fuerza de sujeción.**
10. **Valoración del error por la acción de la fuerza de sujeción.**
11. **Cuantificación del error generado en la fase de maquinado.**
12. **Adopción de cambios en el diseño funcional y constructivo en el dispositivo.**
13. **Organización de la información técnica necesaria para el ensamble operativo del dispositivo modular reajutable y repatronable.**

3.2. Diseño conceptual del accesorio

Para la realización de dicho proyecto se aplicará la metodología QFD, por lo cual se elaborarán diagramas y gráficos, que nos permitirán una correcta ejecución del mismo, de una forma más estructurada, organizada y controlada.

3.2.1. Requerimientos del usuario

Mediante la investigación sistemática realizada en el capítulo 3.1 y la guía del tutor, se identificó las necesidades o expectativas que tiene que cumplir un accesorio de sujeción eficiente de manera detallada, por lo que para el desarrollo de esta temática se los organizara de acuerdo con los requerimientos de la matriz de planificación del producto.

Las características lógicas de análisis fueron las siguientes:

- Costos
- Funcionalidad
- Operación
- Seguridad

3.2.1.1. Costos

Son aquellos que están relacionados con la adquisición de materia prima y manufactura de la misma, así como también de elementos que formaran el accesorio final.

- **Color**

La protección del equipo por medio de la pintura implica que se eleven los costos de producción; optimizar el uso de estos materiales sin disminuir la vida útil, garantizara un producto de calidad.

- **Materiales de fabricación**

La optimización en el uso de materiales, manteniendo los requisitos necesarios para un accesorio de sujeción eficiente, conllevará a un bajo costo de fabricación.

- **Fabricación del producto**

Un buen diseño en base a una estructura sencilla pero funcional, garantizará un producto con bajo costo de inversión, pero con alto factor de seguridad y eficiencia.

3.2.1.2. *Funcionalidad*

- **Dimensiones:** Deben cumplir con los estándares referenciales para la libertad de movimiento de la herramienta de desbaste, así como también las dimensiones de la materia prima en condiciones de trabajo.

- **Accesibilidad:** De geometría adaptable a diferentes disposiciones de la bancada.

- **Capacidad de carga:** Debe soportar el peso de la materia prima sin exceder la capacidad máxima de carga de la maquinaria

- **Peso propio:** El peso del accesorio debe ser el menor posible sin comprometer su resistencia.

- **Durabilidad:** Es importante que el material de fabricación cumpla con las mismas propiedades durante su tiempo de vida.

- **Montaje y desmontaje:** Es necesario que el accesorio pueda ser montado y desmontado con facilidad en el área de trabajo.

3.2.1.3. *Operación*

- **Alcance**

Es importante que el diseño cuente con un rango de trabajo es decir una variedad de materia prima a utilizar. En base a dimensiones de material disponible en el mercado.

- **Control de sujeción**

Debe ser accesible y de fácil manipulación

- **Reducción del tiempo de trabajo**

El accesorio debe disminuir el tiempo de trabajo en el mecanizado, para evitar tiempos muertos y un trabajo con la menor intervención manual del operario.

3.2.1.4. *Seguridad*

- **Sujeción de la materia prima**

Debe cumplir con un agarre seguro para garantizar un trabajo de calidad, así como también la integridad del operario y la maquinaria.

- **Sujeción del accesorio a la bancada**

Debe cumplir con una sujeción eficiente de tal manera que pueda resistir las fuerzas de corte que serán emitidas por la maquinaria, así como también garantizar la estabilidad del accesorio.

Mediante una garantía del cierre de anillo de fuerzas.

- **Rigidez**

Debe tener una gran rigidez, pero con un bajo peso, para de esta manera aumentar su eficiencia.

- **Evitar vibraciones**

El accesorio debe disminuir las vibraciones, puesto que puede darse el caso de entrar en resonancia, lo que sería perjudicial para la integridad del mismo, así como también de la máquina.

En este análisis según los requerimientos se clasifican en:

- O= Obligatorio
- E = Esencial
- B = Básico

Tabla 2-3: Requisitos del usuario

TABLA DE REQUERIMIENTOS DEL USUARIO		
VOZ DEL USUARIO		Prioridad
COSTOS	Color.	B
	Materiales de fabricación.	E
	Fabricación del producto.	O
FUNCIONALIDAD	Dimensiones.	E
	Accesibilidad.	E
	Capacidad de carga.	O
	Peso propio.	O
	Durabilidad.	E
	Montaje y desmontaje.	B
OPERACIÓN	Alcance.	O
	Control de sujeción	O
	Reducción del tiempo de trabajo.	E
SEGURIDAD	Sujeción de la materia prima.	O
	Sujeción del accesorio a la bancada.	O
	Rigidez.	E
	Evitar vibraciones	E

Realizado por: Moreta Christian, 2022

3.2.2. Análisis de prototipos existentes en el mercado

3.2.2.1. Proveedor principal

Empresa 5 th Axis con su modelo V510X de dimensiones 125.7mm x 254 mm x 73.6 mm, mediante sujeción de mordazas con una fuerza de sujeción y un mecanismo de tornillo de potencia con una fuerza admisible de 25.1 KN. Además, el V510X está construido de acero endurecido y rectificado de la serie 4100, para garantizar la precisión y repetibilidad. El cual tiene un precio de \$1800 sin los elementos de anclaje a la bancada de la CNC.



Figura 6-3: V510X de la marca 5th AXIS

Fuente: (Evolved 5thAXIS, 2004)

3.2.2.2. Proveedor secundario

La empresa Norelem con su dispositivo de sujeción de 5 ejes 41300 con las siguientes características:

- Placas base y mordazas de acero de cementación.
- Mordaza de sujeción de acero para herramientas.
- Versión: Mordaza bruñida y mordaza de sujeción con acabado natural.
- La excelente accesibilidad a la pieza de trabajo permite instalar herramientas estándar cortas. De este modo, los gastos en herramientas se reducen considerablemente.
- Se admiten anchos de sujeción de 20 mm a 320 mm.
- Fuerza de tracción máxima de 52 KN.

Con un costo estimado con los accesorios auxiliares de \$2500.

Revisar el Anexo-B.



Figura 7-3: Dispositivo de sujeción de 5 ejes 41300 marca Norelem.

Fuente: (Norelem, s.f)

En el análisis de la competencia se utiliza un rango de valores donde 5 = Satisface Plenamente, 4 = Satisface Básicamente, 3 = Satisface, 2 = Cumple y 1 = No Satisface.

Tabla 3-3: Evaluación de los proveedores

TABLA DE REQUERIMIENTOS DEL USUARIO			A	B	C
			Datos requeridos	Proveedor principal	Proveedor secundario
VOZ DEL USUARIO		Prioridad			
COSTOS	Color.	B	2	5	3
	Materiales de fabricación.	E	4	5	4
	Fabricación del producto.	O	4	5	4
FUNCIONALIDAD	Dimensiones.	E	4	5	4
	Accesibilidad .	E	4	5	5
	Capacidad de carga.	O	4	5	4
	Peso propio.	O	5	4	3
	Durabilidad.	E	4	5	4
	Montaje y desmontaje.	B	4	5	4
OPERACIÓN	Alcance.	O	5	5	4
	Control de sujeción	O	4	5	5
	Reducción del tiempo de trabajo.	E	4	5	4
SEGURIDAD	Sujeción de la materia prima.	O	5	5	5
	Sujeción del accesorio a la bancada.	O	4	5	4
	Rigidez.	E	5	5	4
	Evitar vibraciones	E	5	5	5

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Gracias a esta evaluación es posible tomar en cuenta los puntos fuertes y débiles de la competencia, haciendo una relación con nuestro objetivo, el índice de mejora, el factor de venta y la ponderación.

Tabla 4-3: Análisis de los proveedores

TABLA DE REQUERIMIENTOS DEL USUARIO			A	B	C	D	E	F	G	H	I
VOZ DEL USUARIO		Prioridad	Datos requeridos	Proveedor principal	Proveedor secundario	Objetivo	Índice de mejora	Factor de venta	Importancia	Ponderación	% Ponderación
COSTOS	Color.	B	2	5	3	3	1,50	1,2	2	3,60	3,5%
	Materiales de fabricación.	E	4	5	4	5	1,25	1,5	5	9,38	9,1%
	Fabricación del producto.	O	4	5	4	5	1,25	1,2	5	7,50	7,3%
FUNCIONALIDAD	Dimensiones.	E	4	5	4	4	1,00	1,5	5	7,50	7,3%
	Accesibilidad .	E	4	5	5	4	1,00	1,2	4	4,80	4,7%
	Capacidad de carga.	O	4	5	4	4	1,00	1,5	5	7,50	7,3%
	Peso propio.	O	5	4	3	5	1,00	1,2	5	6,00	5,8%
	Durabilidad.	E	4	5	4	5	1,25	1,5	4	7,50	7,3%
	Montaje y desmontaje.	B	4	5	4	5	1,25	1,5	4	7,50	7,3%
OPERACIÓN	Alcance.	O	5	5	4	5	1,00	1,2	5	6,00	5,8%
	Control de sujeción	O	4	5	5	5	1,25	1,2	4	6,00	5,8%
	Reducción del tiempo de trabajo.	E	4	5	4	4	1,00	1	4	4,00	3,9%
SEGURIDAD	Sujeción de la materia prima.	O	5	5	5	5	1,00	1,2	5	6,00	5,8%
	Sujeción del accesorio a la bancada.	O	4	5	4	4	1,00	1,2	4	4,80	4,7%
	Rigidez.	E	5	5	4	5	1,00	1,5	5	7,50	7,3%
	Evitar vibraciones	E	5	5	5	5	1,00	1,5	5	7,50	7,3%
										103,08	100%

Realizado por: Moreta Christian, 2022

El índice de mejora se calcula dividiendo los objetivos para la propia empresa, mediante la siguiente formula:

$$\text{Índice de mejora} = \frac{\text{Objetivos}}{\text{Propia empresa}}$$

Según el análisis del factor de venta de los proveedores teniendo un rango de: Fuerte = 1.5, Posible = 1.2 y Ninguno 1. La ponderación va a ser el producto de importancia por el índice de mejora y el factor de venta, para según esto identificar el porcentaje de ponderación y saber cuáles son las características más relevantes del producto desde el punto de vista del usuario.

$$\text{Ponderación} = G * E * F$$

$$\% \text{Ponderación} = \frac{\text{Ponderación}}{\sum \text{Ponderaciones}} * 100\%$$

Obteniendo como resultado que para el usuario y un correcto funcionamiento los puntos fuertes de análisis dentro de nuestro diseño serán:

- Materiales de fabricación.
- Fabricación del producto.
- Dimensiones.
- Capacidad de carga.
- Rigidez.
- Evitar vibraciones.

3.2.3. Desarrollo del QFD

3.2.3.1. Voz del ingeniero

Después del análisis de las demandas por parte del usuario del accesorio de sujeción, se ha procedido a traducir dichas necesidades en parámetros técnicos y asignar a cada uno de ellos un valor de referencia.

Tabla 5-3: Voz del ingeniero

VOZ DEL INGENIERO															
Durabilidad	Materiales a utilizar de acuerdo a sus propiedades	Posibilidad de modificaciones	Posibilidad de montaje de varias piezas	Intercambiabilidad	Mínimo error en el mecanizado	Modularidad	Posibilidad de automatización	Colocación y basamiento	Universalidad	Precisión	Reducción del tiempo de trabajo	Agarre seguro	Rigidez para evitar vibraciones	Facilidad de reparatamiento	Garantía de cierre del anillo de fuerzas

Realizado por: Moreta Christian, 2022

3.2.3.2. Correlaciones

En esta sección se desarrolla el cuerpo de la casa de la calidad ya que muestra las características técnicas para satisfacer al cliente en cada una de sus demandas. La siguiente tabla es la que ayuda a identificar los valores del factor de incidencia, donde no exista relación se debe dejar el espacio en blanco.

Tabla 6-3: Factores de incidencia

Factores de incidencia	
☐	Fuerte=9
○	Media=3
-	Baja=1

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Tabla 7-3: Correlaciones

TABLA DE REQUERIMIENTOS DEL USUARIO			VOZ DEL INGENIERO															
			Durabilidad	Materiales a utilizar de acuerdo a sus propiedades	Possibilidad de modificaciones	Possibilidad de montaje de varias piezas	Intercambiabilidad	Mínimo error en el mecanizado	Modularidad	Possibilidad de automatización	Colección y basamento	Universalidad	Precisión	Reducción del tiempo de trabajo	Agarre seguro	Rigidez para evitar vibraciones	Facilidad de reparatamiento	Garantía de cierre del anillo de fuerzas
VOZ DEL USUARIO		Prioridad																
COSTOS	Color.	B	○															
	Materiales de fabricación.	E	○	☐				○	○		☐	○	○		○	☐	○	
	Fabricación del producto.	O		☐	○		○	☐	○	○	○	○	☐	○		-	○	
FUNCIONALIDAD	Dimensiones.	E	-		○	☐	○	○	○	-	○	☐	-		-	○	-	☐
	Accesibilidad .	E			○	☐	☐	-	○	○		○					☐	
	Capacidad de carga.	O		☐	○	☐			○		○				-			○
	Peso propio.	O		☐		☐			☐		○	○				○	○	-
	Durabilidad.	E	☐	☐	-												○	
	Montaje y desmontaje.	B				☐	☐		○	-	☐	○	-	○			○	
OPERACIÓN	Alcance.	O		○	○	○	○		○	○		☐					☐	
	Control de sujeción	O			○	○	-		☐	○		○	☐		☐	○	○	☐
	Reducción del tiempo de trabajo.	E					○	-					-	☐				
SEGURIDAD	Sujeción de la materia prima.	O			-	○		☐		○		○	☐		☐	○		☐
	Sujeción del accesorio a la bancada.	O		○	☐	○	○		○	-	○	○	☐		☐	☐		☐
	Rigidez.	E		☐	-	○		○	○		-		○		○	☐	☐	☐
	Evitar vibraciones	E		○					○		○				○	☐		☐

Realizado por: Moreta Christian, 2022

3.2.4. Especificaciones técnicas

Son aquellas características evaluadas por el equipo de diseño para la correcta selección de las características de diseño.

3.2.4.1. Prioridades técnicas

Son aquellas que nos ayuda a determinar el grado de incidencia que tiene cada una de las características ya que se analiza con la sumatoria de las correlaciones con las ponderaciones, de esta manera se determina el porcentaje de incidencia y como ingenieros se puede saber cuáles son las características técnicas más importantes, para que en la fase de diseño las más altas serán las que más se cumplan.

Tabla 8-3: Prioridades técnicas

Diseño propuesto	5	5	4	4	5	5	4	4	4	4	5	4	4	2	5	4	
Proveedor principal	5	5	3	4	5	5	4	5	3	4	5	5	5	3	5	5	
Proveedor secundaria	5	5	3	4	5	5	4	5	4	5	4	4	5	1	5	5	
Incidencia	113,9	463,28	182,1	390,6	206,1	203,4	317,9	110,7	281,775	284,9	288,3	81	239,3	346,6	275,7	410,325	4196
Incidencia %	2,7%	11,0%	4,3%	9,3%	4,9%	4,8%	7,6%	2,6%	6,7%	6,8%	6,9%	1,9%	5,7%	8,3%	6,6%	9,8%	100%
	Durabilidad	Materiales a utilizar de acuerdo a sus propiedades	Posibilidad de modificaciones	Posibilidad de montaje de varias piezas	Intercambiabilidad	Mínimo error en el mecanizado	Modularidad	Posibilidad de automatización	Colocación y basamiento	Universalidad	Precisión	Reducción del tiempo de trabajo	Agarre seguro	Rigidez para evitar vibraciones	Facilidad de reparonamiento	Garantía de cierre del anillo de fuerzas	

Realizado por: Moreta Christian, 2022

3.2.4.2. Referencias competitivas

Son aquellos valores cuantificables que tienen los proveedores, tomados como referencia para determinar cada una de las características que presente el diseño del accesorio de sujeción.

Tabla 9-3: Referencias competitivas

Evaluación Técnica		
Proveedor	Proveedor Principal	
Buena	Excelente	Durabilidad
Acero para	Acero endurecido y	Materiales a utilizar de acuerdo a sus
Normal	Elevado	Posibilidad de modificaciones
Básico	Excelente	Posibilidad de montaje de varias piezas
Limitada	Excelente	Intercambiabilidad
90%	100%	Mínimo error en el mecanizado
Cumple	Cumple	Modularidad
Limitada	Limitada	Posibilidad de automatización
Mediante pernos	Mediante pernos	Colocación y basamiento
Cumple	Cumple	Universalidad
Buena	Excelente	Precisión
Si	SI	Reducción del tiempo de trabajo
Si	Si	Agarre seguro
Buena	Excelente	Rigidez para evitar vibraciones
Cumple	Cumple	Facilidad de repatronamiento
Si	Si	Garantía de cierre del anillo de fuerzas

Realizado por: Moreta Christian, 2022

3.2.4.3. Especificaciones del producto

Son las especificaciones que deseamos que tenga nuestro producto, estas características son medibles y al momento de realizar el diseño del producto verificaremos que estas se cumplan.

Tabla 10-3: Especificaciones del producto

Valor	Objetivo
Buena	Durabilidad
Duraluminio	Materiales a utilizar de acuerdo a sus
Normal	Posibilidad de modificaciones
Normal	Posibilidad de montaje de varias piezas
Buena	Intercambiabilidad
95%	Mínimo error en el mecanizado
Cumple	Modularidad
Aceptable	Posibilidad de automatización
Mediante pernos	Colocación y basamiento
Cumple	Universalidad
Buena	Precisión
Si	Reducción del tiempo de trabajo
Si	Agarre seguro
Buena	Rigidez para evitar vibraciones
Cumple	Facilidad de repatronamiento
Si	Garantía de cierre del anillo de fuerzas

Realizado por: Moreta Christian, 2022

3.2.4.4. *Compromisos técnicos*

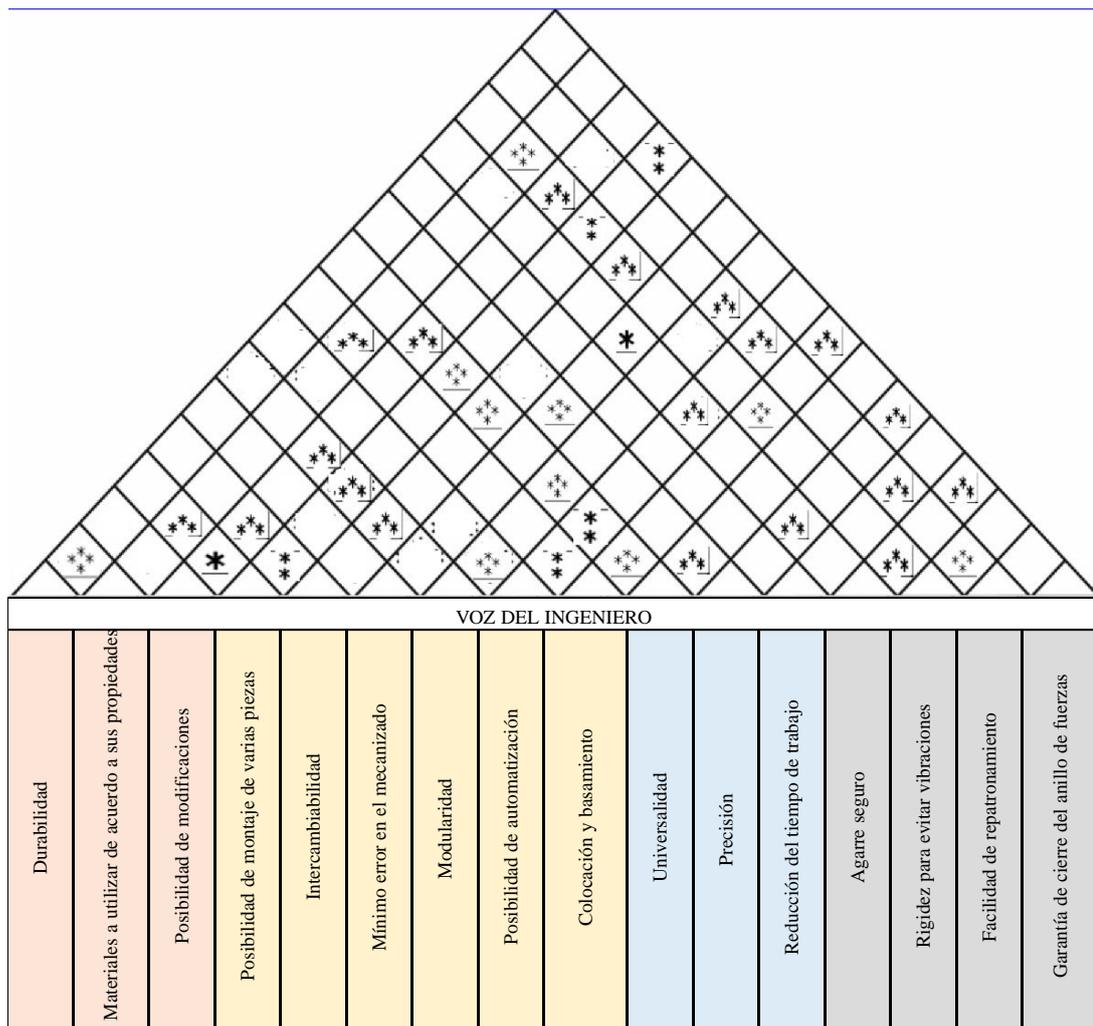
Es el techo de la casa de la calidad contiene los distintos compromisos entra las características técnicas del producto que la empresa debe tener y para ser competitiva en el mercado. Aquí se establecen niveles de correlación: Muy negativa, negativa, positiva y muy positiva los cuales se identifican en la siguiente tabla:

Tabla 11-3: Especificaciones del producto

Correlación	
***	Muy positiva
**	Positiva
*	Negativa
*	Muy negativa

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Tabla 12-3: Compromisos técnicos



Realizado por: Moreta Christian, 2022

Las prioridades técnicas que más se tomarán en cuenta en el diseño según los análisis de las correlaciones de la casa de la calidad son:

- Material a utilizar de acuerdo a sus propiedades
- Posibilidad de montaje de varias piezas
- Modularidad
- Rigidez para evitar vibraciones
- Garantía del cierre del anillo de fuerzas.

Para visualizar la casa de la calidad completa revisar el Anexo-C.

3.2.4.5. Análisis funcional modular

La principal función de este equipo es sujetar materia prima a mecanizar en la CNC de cinco ejes marca ROMI; En el nivel cero se va a realizar un análisis de los flujos de entrada con los flujos de salida. No obstante, esta presentación esquemática es muy general para obtener una representación más precisa.



Gráfico 1-3: Nivel cero para el análisis funcional modular

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Para el diseño del accesorio de sujeción por la parte izquierda del gráfico 1-2, ingresa una señal de entrada: Material y energía, para que por el lado derecho nos dé como resultado un accesorio y la sujeción, garantizando la estética de la materia prima y la eficiencia en su mecanizado.

3.2.4.6. Definición de módulos

Como ya se analizó anteriormente, la función principal no muestra en detalle los subsistemas del accesorio por lo que se debe desarrollar el primer nivel de la estructura funcional tomando en cuenta todos los detalles que permitan cumplir con el nivel cero.

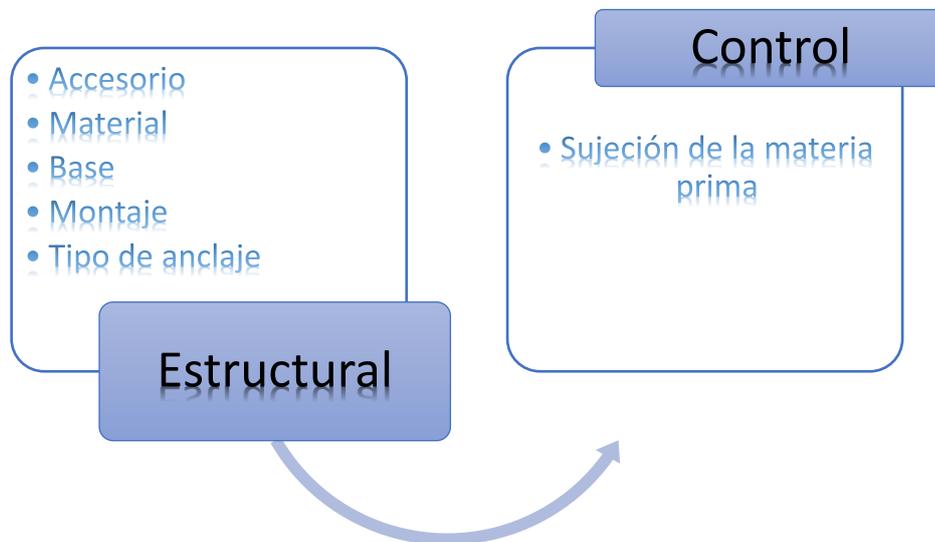


Gráfico 2-3: Diagrama de procesos

Realizado por: Moreta Christian, 2022

En el diseño del accesorio de sujeción, permite que el proceso entero se desarrolló en dos módulos el módulo estructural y el módulo de control, dado que así es como se realizara correctamente la sujeción de la materia prima a mecanizar.

3.2.5. Matriz morfológica y generación de alternativas

El análisis de la matriz morfológica se realizará por cada módulo los cuales se dividen en dos módulos que son: Módulo estructural y Módulo de control; basándonos en la experiencia del tutor, innovación y modelos existentes en el mercado, se identificaron las posibles soluciones.

3.2.5.1. Módulo 1 (Módulo estructural)

Tabla 13-3: Módulo 1 (Módulo estructural)

Acabados de los sujetadores	A		B		
	C	Accesorio de tipo modular	D	Accesorio de tipo fijo	
Material de la estructura	E	Acero endurecido y rectificado 4100	F	Acero para herramientas	G
	H	Tipo Moretti	I	Tipo forkardt adaptado	Materiales según diseño

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Soluciones posibles de nuestro accesorio en base al módulo 1

Según lo analizado se generaron cuatro posibles alternativas las cuales serán analizadas para determinar cuál es la mejor opción de diseño.

Alternativa A

A-C-G-I

Alternativa B

A-D-G-I

Alternativa C

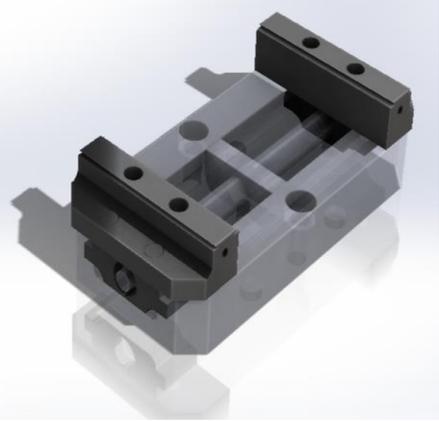
A-C-E-H

Alternativa D

B-D-F-H

3.2.5.2. Módulo 2 (Módulo de control)

Tabla 14-3: Módulo 2 (Módulo de control)

Método de sujeción	J	Tornillo de potencia	K	Neumática
				

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Soluciones posibles de nuestro accesorio en base al módulo 2

Según lo analizado se generaron dos posibles alternativas las cuales serán analizadas para determinar cuál es la mejor opción de diseño.

Alternativa A

K

Alternativa B

J

3.2.6. Evaluación de alternativas

En todas las etapas del proceso de diseño, después de cada selección de alternativas, se debe realizar una evaluación de estas que sirvan para una correcta toma de decisiones. En este análisis se debe realizar una comparación con respecto a todos los criterios más importantes.

3.2.6.1. Criterios de evaluación

Para la evaluación con las alternativas se tuvieron 4 criterios que son: Funcionalidad, costos, operación y seguridad ya que así se podrá realizar la correcta ponderación entre criterios y alternativas.

- **Funcionalidad:** Debe ser lo más exequible para diferentes tipos de estructuras cumpliendo con las geometrías dadas por los catálogos y que brinde la mayor comodidad al usuario para que realice su trabajo.
- **Costos:** Debe ser de bajo costo, pero de alta eficiencia.
- **Operación:** Debe facilitar al usuario su utilización, donde no implique mucho esfuerzo físico en montaje y desmontaje del sistema.

- Seguridad: Es indispensable para estas condiciones de trabajo ya que el usuario debe tener todas las garantías para su utilización; Hay que tomar en cuenta la siguiente analogía para tomar una buena decisión en base a las ponderaciones.

$$\text{Funcionalidad} = \text{Seguridad} > \text{Operación} > \text{Costo}$$

Tabla 15-3: Criterios de evaluación

Criterio	Funcionalidad	Costos	Operación	Seguridad	Sumatoria	Ponderación
Funcionalidad		1	1	0,5	3,5	0,35
Costos	0		0	0	1	0,1
Operación	0	1		0	2	0,2
Seguridad	0,5	1	1		3,5	0,35
					10	

Realizado por: Moreta Christian, 2022

3.2.6.2. Evaluación módulo 1 (Modulo estructural)

Se presentan cuatro alternativas para ser analizadas y comparadas para encontrar la más viables:

Alternativa A

Acabados similares al modelo V510X de 5thAXIS tipo modular, mecanizado en duraluminio y con anclaje tipo forkardt adaptado.

Alternativa B

Acabados similares al modelo V510X de 5thAXIS tipo fijo, mecanizado en duraluminio y con anclaje tipo forkardt adaptado.

Alternativa C

Acabados similares al modelo V510X de 5thAXIS tipo modular, mecanizado en acero endurecido y rectificado 4100 y con anclaje tipo Moretti.

Alternativa D

Acabados similares al modelo de la empresa Norelem con su dispositivo de sujeción de 5 ejes 41300 tipo fijo, mecanizado en acero para herramientas y con anclaje tipo Moretti.

Una vez obtenidos las alternativas y criterios se procede a realizar las respectivas ponderaciones y encontrar la opción más viable.

Evaluación de funcionalidad del criterio funcionalidad.

Alternativa A > Alternativa B > Alternativa C > Alternativa D

Tabla 16-3: Ponderación de funcionalidad

Funcionalidad	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D	Sumatoria	Ponderación
Alternativa A		1	1	1	4	40%
Alternativa B	0		1	1	3	30%
Alternativa C	0	0		1	2	20%
Alternativa D	0	0	0		1	10%
					10	

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Evaluación de funcionalidad del criterio costos

Alternativa B > Alternativa C > Alternativa A = Alternativa D

Tabla 17-3: Ponderación de costos

Costos	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D	Sumatoria	Ponderación
Alternativa A		0	0	0,5	1,5	15%
Alternativa B	1		1	1	4	40%
Alternativa C	1	0		1	3	30%
Alternativa D	0,5	0	0		1,5	15%
					10	

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Evaluación de funcionalidad del criterio seguridad

Alternativa A > Alternativa C = Alternativa D > Alternativa B

Tabla 18-3: Ponderación de seguridad

Seguridad	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D	Sumatoria	Ponderación
Alternativa A		1	1	1	4	40%
Alternativa B	0		0	0	1	10%
Alternativa C	0	1		0,5	2,5	25%
Alternativa D	0	1	0,5		2,5	25%
					10	

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Una vez analizado esto y con las respectivas ponderaciones se procede a realizar la tabla de conclusiones, obteniendo:

Tabla 19-3: Prioridades de solución módulo 1

Conclusión	Funcionalidad	Costos	Operación	Seguridad	Sumatoria	Prioridad
Solución A	0,140	0,015	0	0,14	0,295	1
Solución B	0,105	0,04	0	0,035	0,180	3
Solución C	0,070	0,03	0	0,0875	0,188	2
Solución D	0,035	0,015	0	0,0875	0,138	4

Realizado por: Moreta Christian, 2022

En el módulo 1 una vez realizadas las ponderaciones se determinó que la solución A es la más viable, seguida de la solución C y como tercera la Solución B.

3.2.6.3. Evaluación módulo 2 (Módulo de control)

Se presentan dos alternativas con respecto al tipo de elevación para encontrar la más viable:

- Alternativa A

Esta alternativa es una sujeción de la materia prima mediante un sistema neumático que el usuario solo presione un botón para encenderlo y hacerlo funcionar, es decir agarre o afloje el mismo.

- Alternativa B

Esta alternativa es una sujeción de la materia prima mediante un tornillo de potencia.

Evaluación de funcionalidad del criterio funcionalidad

Solución B > Solución A

Tabla 20-3: Ponderación de funcionalidad

Funcionalidad	Solución A	Solución B	Sumatoria	Ponderación
Solución A		0	1	33%
Solución B	1		2	67%
			3	

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Evaluación de funcionalidad del criterio costos

Solución A > Solución B

Tabla 21-3: Ponderación de costos

Costos	Solución A	Solución B	Sumatoria	Ponderación
Solución A		1	2	67%
Solución B	0		1	33%
			3	

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Evaluación de funcionalidad del criterio operación

Solución B > Solución A

Tabla 22-3: Ponderación de operación

Operación	Solución A	Solución B	Sumatoria	Ponderación
Solución A		0	1	33%
Solución B	1		2	67%
			3	

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Evaluación de funcionalidad del criterio seguridad

Solución B > Solución A

Tabla 23-3: Ponderación de seguridad

Seguridad	Solución A	Solución B	Sumatoria	Ponderación
Solución A		0	1	33%
Solución B	1		2	67%
			3	

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Una vez analizado las soluciones y con las respectivas ponderaciones se procede a realizar la tabla de conclusiones, obteniendo:

Tabla 24-3: Prioridades de solución módulo 2

Conclusión	Funcionalidad	Costos	Operación	Seguridad	Sumatoria	Prioridad
Solución A	0,117	0,067	0,067	0,117	0,367	2
Solución B	0,233	0,033	0,133	0,233	0,633	1

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Después del análisis entre las soluciones y los criterios se determinó que la más viable es la Solución B. Puesto que contará con diferentes materiales en base al impacto de carga que tendrá cada accesorio.

3.2.7. Alternativa de diseño obtenida

Con el análisis de los módulos se puede ver cuál es la solución más factible para el diseño del accesorio de sujeción de materia prima a mecanizar en un CNC de 5 ejes, por lo que se tiene un accesorio mecanizado en diferentes aceros, modular y con anclaje tipo forkardt adaptado, la cual presenta sujeción y afloje de la misma, mediante un tornillo de potencia, con una fuerza de apriete de 40 KN.

Sin embargo, se preguntarán porque no optar por un diseño automático mediante sujeción neumática es debido al costo que tendrá.

Además, con el diseño obtenido se logrará satisfacer las necesidades tanto del usuario como los criterios técnicos que son:

- Material a utilizar de acuerdo con sus propiedades
- Posibilidad de montaje de varias piezas
- Modularidad
- Rigidez para evitar vibraciones
- Garantía del cierre del anillo de fuerzas.

3.3. Diseño de elementos críticos del accesorio, materialización mediante software CAD y validación mediante CAE

3.3.1. Diseño de elementos del accesorio mediante cálculos matemáticos

Para diseñar los elementos de dicho accesorio se procederá a realizar los cálculos de los elementos críticos y los cuales se dificulta realizar su simulación en el programa CAE, puesto que debido a los detalles que posee, la generación de la malla no tendrá una buena calidad, por lo que se procedió a diseñar los pernos Allen de anclaje y el tornillo de potencia.

3.3.1.1. Diseño de los pernos Allen

Para el cálculo de los esfuerzos y el factor de seguridad se utilizaron las fórmulas planteadas en el libro “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley-8va Edición” y buenos criterios de delineación en lo que se refiere a las distancias de colocación en nuestro accesorio. Para lo cual se siguieron los siguientes pasos:

- Se procedió a transportar la fuerza de aplicación en las mordazas al centro de gravedad de la disposición de los pernos, tomando como críticos los pernos de anclaje a la base del CNC, puesto que ahí existirá el mayor momento flector.

Fuerza de aplicación en las mordazas:

$$Fz = 40 \text{ KN}$$

Longitud desde el centro de gravedad de los pernos hasta el centro de las muelas:

Para dichas medidas revisar el anexo-planos.

$$Ly = 159 - 15$$

$$Ly = 144 \text{ mm}$$

Cálculo del momento flector.

$$MFz = \begin{bmatrix} i & j & k \\ 0 & 144 & 0 \\ 0 & 0 & 40 \times 10^3 \end{bmatrix}$$

$$MFz = 5,76 \times 10^6 \text{ N.mm } \vec{i}$$

- Se procedió a asumir una medida de perno, cantidad de pernos y el grado del mismo.

Perno asumido: M12X1,75X35; Grado 8

Numero de pernos: 4

- Analizamos el tipo de esfuerzo que se producirá debido a la fuerza y el momento aplicado en el punto.

Fz: Producirá corte primario, puesto que es una fuerza paralela a la cara del perno.

MFz: Producirá tracción secundaria, puesto que es un momento flector producido en el eje x.

- Realizamos el cálculo de los esfuerzos producidos por Fz y MFz.

Análisis a corte

$$Vz1' = Vz2' = Vz3' = Vz4'$$

Donde:

$$Vz1' = \frac{Fz}{\# \text{ pernos}}$$

Ecuación 1

Debido a que no existe corte secundario producido por un momento torsor, la carga de corte total será igual a la carga de corte en el perno.

$$Vz1' = Vtz$$

Esfuerzo

$$\tau = n \frac{V}{Ar}$$

Ecuación 2

Donde:

$$\frac{At}{Ar} = 1,15$$

Ecuación 3

Para el cálculo de At para un perno M12 revisar el anexo-medidas pernos.

$$At = 84,3$$

Análisis a tracción secundaria

De igual manera para el cálculo de r1 y r2 revisar el anexo-planos.

$$r1 = 254 - 38$$

$$r1 = 216 \text{ mm}$$

$$r2 = 254 - 178 - 38$$

$$r2 = 38 \text{ mm}$$

$$Ff = \frac{Mxr}{\sum r^2}$$

Ecuación 4

$$F = \frac{Ff}{\# \text{ pernos en la fila}}$$

Ecuación 5

Esfuerzo

$$\varphi = \frac{Fi}{At} + \frac{nxCxP}{At}$$

Ecuación 6

Donde:

C: Es el coeficiente de la junta que generalmente va de 0,3 a 0,4 en empaque confinado.

At: Área de esfuerzo a la tensión.

Fi: La fuerza de pretensión la cual depende del tipo de conexión que se esté analizando.

Debido a que el montaje del accesorio es una conexión reutilizable, puesto que se desmontará y montará en base a las necesidades del operario, el valor de Fi será el siguiente:

$$Fi = 0,75xSp \times At$$

Ecuación 7

Donde:

Sp: Resistencia de prueba mínima.

Para un perno M12 grado 8 tendremos las siguientes propiedades mecánicas, revisar anexo-propiedades pernos.

$$Sy = 420 \text{ MPA}$$

$$Sut = 520 \text{ MPA}$$

$$Sp = 380 \text{ MPA}$$

Revisar Anexo-D

Cálculo del factor de seguridad mediante la aplicación de esfuerzos combinados.

$$\sqrt{\sigma^2 + (3)(\tau^2)} = S_y$$

Ecuación 8

3.3.1.2. Diseño del tornillo de potencia

Diseño del tornillo de potencia

Para el diseño del tornillo de potencia en rosca ACME, se realizó una hoja de cálculo en Excel, revisar Anexo-E, para facilitar las iteraciones en base a criterios de diseño del diámetro exterior y # de roscas por pulgada. Además, se utilizó las fórmulas planteadas en el libro “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley-8va Edición”, para el cálculo de esfuerzos y el factor de seguridad en el mismo, además se validó mediante ANSYS su funcionamiento. Para las medidas se asumió valores en base a un buen criterio de diseño.

Se realizó mediante los siguientes pasos:

- Se asumió un diámetro exterior y un # de roscas por pulgada en base al anexo-Dimensiones tornillo.

$$\phi_{ext} = 3/4$$

$$\# \text{ roscas por pulgada} = 6$$

- Se calculó las propiedades del tornillo

Paso

$$p = \frac{1}{\# \text{ roscas por pulgada}}$$

Ecuación 9

Avance

$$\rho = \text{tipo} - \text{roscaxp}$$

Ecuación 10

Donde:

Tipo-rosca: Será triple para garantizar una sujeción más eficiente de la materia prima y un factor de seguridad más alto, siendo igual a 3.

Diámetro medio

$$\phi_m = \phi_{ext} - \frac{p}{2}$$

Ecuación 11

Diámetro de raíz

$$\phi_n: \phi_m - \frac{p}{2}$$

Ecuación 12

- Se va a diseñar en base a un torque máximo de 75 N.m o 663,806 lbf.in, la misma que se especifica en el catálogo de 5th-AXIS-Volumen4.

- Seguidamente se procedió a asumir los valores de coeficiente de rozamiento del tornillo y del collarín, así como también las dimensiones del mismo en base a los datos planteados en catálogos y recomendaciones de diseño planteado en el libro de Shigley-8va Edición.

Collarín

Tornillo-Tuerca:

$$\mu_{\text{tornillo}} = 0,15$$

$$\mu_{\text{collarin}} = 0,06$$

$$\phi_{\text{collarin}} = 1,5x\text{dm}$$

Ecuación 13

- Seguidamente se procedió a calcular la fuerza de subida debido el torque aplicado de 663,806 lbf.in, ya que se asume que el accesorio está apretando con carga, lo que sería lo más crítico de nuestro sistema.

$$T_s = \frac{F_x \phi_m}{2} x \left(\frac{\mu_x \pi x \phi_m x \sec 14,5 + \rho}{\pi x \phi_m - \mu_x \rho x \sec 14,5} \right) + \left(\frac{F_x d c x \mu c}{2} \right)$$

Ecuación 14

Reemplazando los valores correspondiste se obtiene un valor de F=3992,52 lb, como se observa en la figura 8-3.

- Finalmente se calculó la eficiencia del tornillo

$$e = \frac{T_o}{T_s}$$

Ecuación 15

Donde:

To: Torque inicial

$$T_o = \frac{F_x \rho}{2\pi}$$

Ecuación 16

Diseño de la tuerca

A cizalla:

$$\frac{2xF}{\pi x \phi_{ext} x H} = \frac{S_{sy}}{n}$$

Ecuación 17

Donde:

$$S_{sy} = \frac{S_y}{2}$$

Ecuación 18

Sy: Limite de fluencia del material utilizado igual a 36 Ksi.

A aplastamiento:

$$\frac{4x\rho xF}{\pi x(\phi ext^2 - \phi n^2)xH} = \frac{Sy}{n}$$

Ecuación 19

A flexión:

$$\frac{6xF}{\pi x\phi mxH} = \frac{Sy}{n}$$

Ecuación 20

3.3.2. *Diseño de materialización mediante SolidWorks*

La solución seleccionada para el diseño de un accesorio de sujeción de materia prima a mecanizar en un centro CNC, cumple con los requerimientos manifestados por el usuario. Dichas peticiones se transformaron en criterios técnicos mediante los cuales se elaboró el diseño en el software SolidWorks.

El accesorio será tipo modular y con anclaje tipo forkardt adaptado, la cual presenta sujeción y afloje de la materia prima, mediante un tornillo de potencia.

Para el modelado del accesorio en SolidWorks se realizaron los siguientes pasos:

- Se procedió a desglosar nuestro accesorio en piezas.
- Una vez identificado las piezas que conformaran el accesorio, se procedió a modelar cada elemento.
- Para el modelado de cada elemento se realizó su respectivo árbol de diseño como lo son: croquis y detalles que tendrán como: roscas, chaflanes y redondeos; Sin dejar de lado su funcionalidad.
- Una vez realizado cada pieza se procedió a desarrollar su ensamble mediante la utilización de pernos Allien, que en su mayoría fueron sacados de la biblioteca de SolidWorks, ya que eran elementos de catálogo.

3.3.3. *Validación mediante ANSYS*

Para la validación mediante ANSYS, se utilizó los materiales existentes en el mercado para su construcción ya que, si se realiza una simulación en base al material utilizado en la impresión 3D, no se obtendrán valores reales puesto que los elementos impresos tendrán una resistencia mucho menor a la de los aceros planteados para su construcción.

Para simulación del accesorio en ANSYS se realizaron los siguientes pasos:

- Simplificación de la geometría del modelo
- Asignación de materiales
- Configuración de contactos entre elementos
- Mallado
- Controladores globales y locales
- Proceso de análisis
- Análisis de resultados

3.3.3.1. Análisis de las mordazas

Simplificar la geometría del modelo

Una vez importado el archivo CAD al entorno de ANSYS workmench, se procede a realizar la simplificación en el modelo mediante la extensión de space clean, con un valor de $2.25E-8 \text{ mm}^2$.

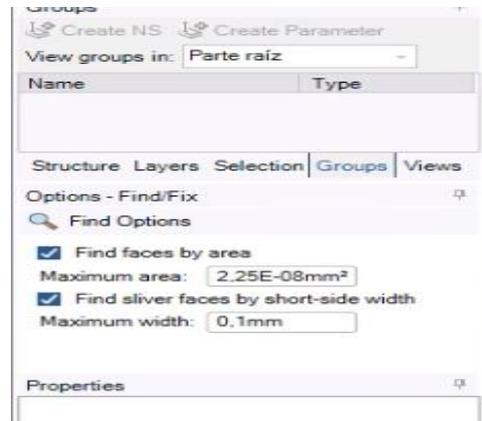


Figura 8-3: Configuración de parámetros space clean.

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Asignación de materiales

Para proceder a la simulación del accesorio se ingresó las propiedades mecánicas de los materiales de construcción, como son los siguientes materiales: ASTM A36, AISI 1018, ASTM A131 GRADO A, ya que se necesita de gran resistencia.

Características del acero ASTM A36

Los aceros ASTM A36 son aceros al carbono estructurales para la construcción de puentes y el sector de la construcción en general que cumplen los requisitos de las normas ASTM A36/ A36M. El cual tienes las siguientes composiciones químicas y propiedades mecánicas:

- $C \leq 0.25$, $Si \leq 0.40$, $S \leq 0.05$, $P \leq 0.04$, $CU \leq 0.20$
- Limite elástico: 250 MPA
- Límite de resistencia: 400-550 MPA
- Módulo de Young: 2×10^{11} PA
- Poisson: 0,3

Además, son utilizados en la fabricación de estructuras de acero soldadas y atornilladas para la construcción industrial y civil, así como para la construcción de puentes. El acero laminado ASTM A36 también se utiliza en la fabricación de artículos y piezas para usos generales del sector de la construcción y la ingeniería. (METINVEST, 2006)

Revisar Anexo-F

Características del acero AISI 1018

Como la mayoría de los grados de acero, 1018 se puede fabricar en formas estiradas en frío o en caliente. Aunque proporcionamos información tanto en las formas estiradas en frío como en las laminadas en caliente, 1018 se compra normalmente en su forma estirada en frío.

Debido a que las propiedades mecánicas cambiarán con los diferentes procesos de fabricación, usaremos números para acero de grado 1018 estirado en frío. 1018 viene en muchos tamaños y formas diferentes según el propósito y el uso del acero, incluidos cuadrados, hexágonos, rondas y planos. (Corpmetal, 2022)

El cual tienes las siguientes composiciones químicas y propiedades mecánicas:

- Hierro: 98.81-99.26 %
- Carbono: 0.18%
- Manganeso: 0.6-0.9 %
- Fosforo: 0.04%
- Azufre: 0.05%
- Resistencia a la tracción: 64,000 psi
- Fuerza de rendimiento: 54,000 psi
- Módulo de Young: $2,05 \times 10^{11}$ PA
- Poisson: 0,3
- Alargamiento (2 “): 15%
- Reducción de Área: 40%
- Dureza Brinell: 126

Revisar Anexo-G

Características del acero ASTM A131 GRADO A

Acero utilizado casi exclusivamente en la industria de la construcción naval. Este grado se define como resistencia ordinaria con una fluencia mínima especificada de 34 KSI. Entre sus aplicaciones se incluyen barcasas, equipos marinos y construcción de buques. Estos grados también tienen certificación de la American Bureau of Shipping (ABS). (Chapel Steel Corp., 2018)

Pero se deberá utilizar en la construcción de las mordazas ya que se necesita de un material altamente resistente y que sea susceptible a cementación y tratamiento térmico.

El cual tienes las siguientes composiciones químicas y propiedades mecánicas:

- Carbono: 0.18% máx.
- Manganeso: 2.5% máx.
- Silicio: 0.5 % máx.
- Fosforo: 0.035% máx.
- Azufre: 0.035% máx.
- Límite de fluencia: 235 MPA
- Resistencia a la tracción: 450-520 MPA

- Módulo de Young: $1,9 \times 10^{11}$ PA
- Poisson: 0,27

Elongación en probeta de 2 in: 24% min. Revisar Anexo-H

Características del cobre

Revisar Anexo-I

Configuración de contactos entre elementos

Dentro del contacto se mantuvo la configuración por defecto tomando en cuenta que target es a donde se va a trasladar las cargas y contact es el elemento que genera las cargas, lo cual se realizó a todos los elementos del accesorio.

Mallado

Para obtener una simulación aceptable se utilizó un tamaño de malla por defecto de 5 mm con un radio de crecimiento de 1,2 hasta un máximo de 8 mm, como se representa en la gráfica 9-3.

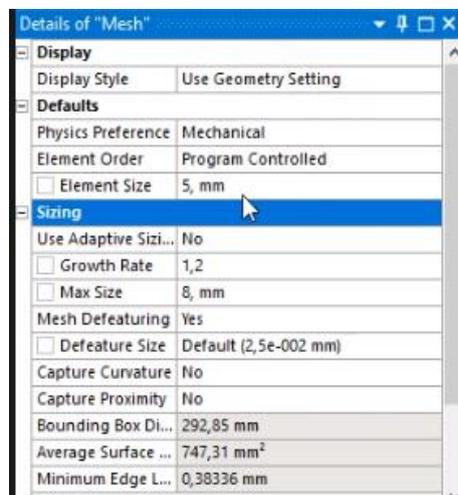


Figura 9-3: Características principales del mallado en el accesorio

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Controladores globales

Patch conforming

Este controlador nos ayuda a vigilar las geometrías irregulares, la cual malla de adentro hacia fuera; Se aplico en los siguientes elementos:

- Base
- Mordazas
- Carros para las mordazas
- Bloque central

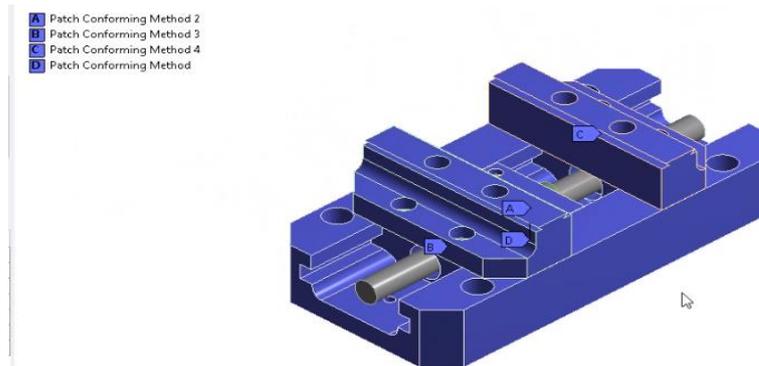


Figura 10-3: Elementos aplicados el controlador global “patch conforming”

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Sweep Method

Este controlador se utiliza para elementos generados por revolución, lo cual controlara una malla de calidad en los bujes de los carros para las mordazas.

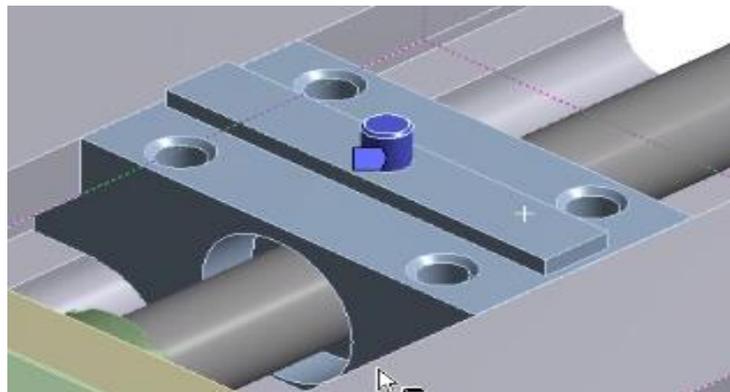


Figura 11-3: Elementos aplicados el controlador global “sweep method”

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Multizone

Este controlador se utiliza para inspeccionar el mallado en elementos que tengan dos zonas distintas de construcción como es el caso del tornillo de plomo, puesto que un lado esta roscado a izquierdas y el otro a derechas, para garantizar el cierre de las mordazas al aplicar el torque de apriete.

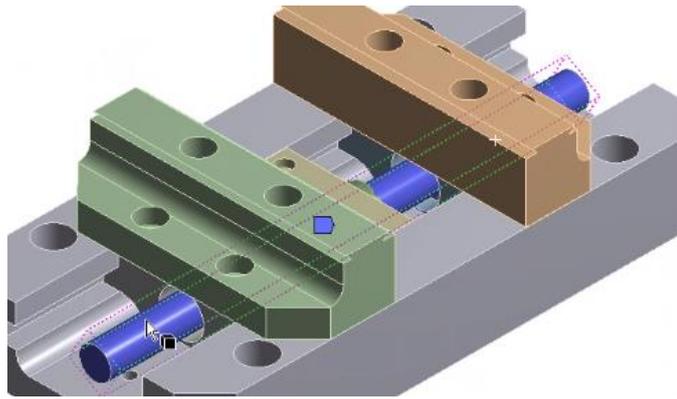


Figura 12-3: Elemento aplicado el controlador global “multizone”

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Controladores locales

Se aplico los controladores body sizing y fase sizing a diferentes partes del accesorio con la finalidad de mejorar la calidad de malla, el cual se utiliza en una parte especifica de un elemento.

Inflation

Este controlador local se utilizado para generar una malla que inspeccione las superficies cercanas a un agujero y así garantizar un mallado de calidad.

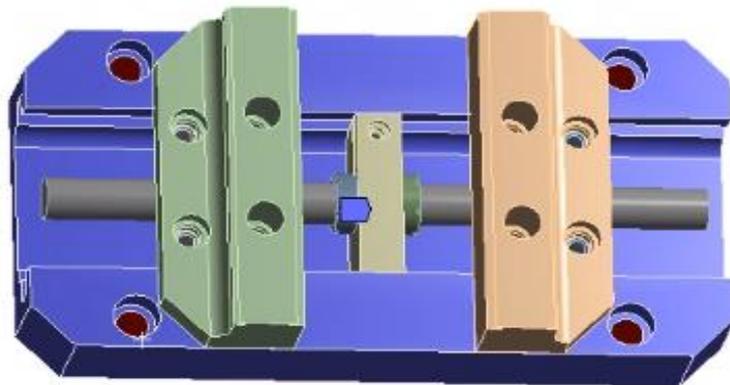


Figura 13-3: Elemento aplicado el controlador local “inflation”

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Proceso de análisis

Se utilizo un análisis estático puesto nuestro elemento debe garantizar la estabilidad de la materia prima a mecanizar, para lo cual se utilizó apoyos fijos en la cara inferior de la base

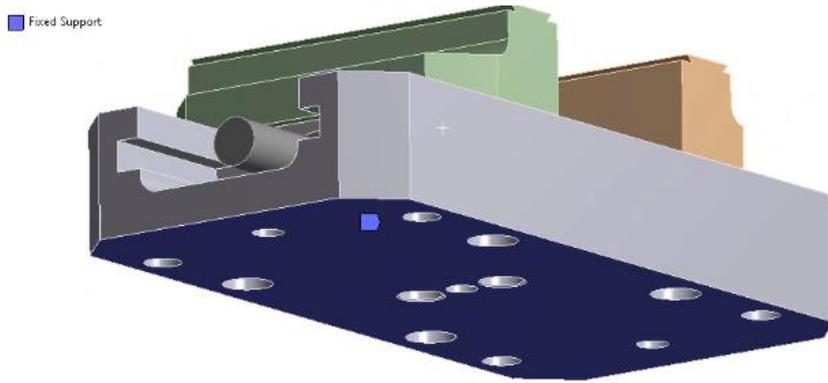


Figura 14-3: Apoyo fijo aplicado a la base del accesorio

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Seguidamente se aplicó una fuerza distribuida perpendicular de 40 KN tanto en la mordaza izquierda y derecha, la cual será la fuerza de sujeción máxima que dotará las mordazas al momento de sujetar la materia prima a mecanizar.

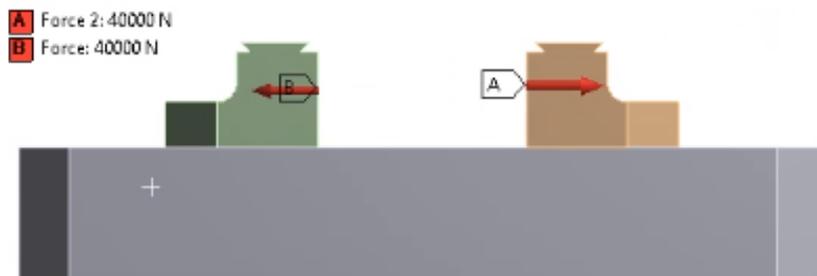


Figura 15-3: Fuerzas distribuidas de 40 KN sobre las mordazas

Realizado por: Moreta Christian, 2022

3.3.3.2. Análisis de esfuerzos en los puntos de anclaje mediante pernos Allen

Para el análisis de esfuerzos en los puntos de anclaje se utilizó el mismo modelo de análisis aplicado en la simulación de las mordazas, puesto que se debía analizar como un elemento ya ensamblado y en funcionamiento.

3.3.3.3. Análisis de esfuerzos en el tornillo de potencia

Para el análisis de esfuerzos en el tornillo de potencia se utilizó el mismo modelo de análisis aplicado en la simulación de las mordazas, puesto que se debía analizar como un elemento ya ensamblado y en funcionamiento.

3.3.3.4. Análisis de la base

Para la simulación de la base se realizó los mismos pasos planteados en la simulación de las mordazas para su mallado a diferencia que en la base se aplicara una fuerza de compresión de 50 Kg debido al peso de la materia prima.

Mallado

Para obtener una simulación aceptable se utilizó un tamaño de malla por defecto de 3 mm con un radio de crecimiento de 1,85 hasta un máximo de 10 mm, como se representa en la gráfica 12-3.

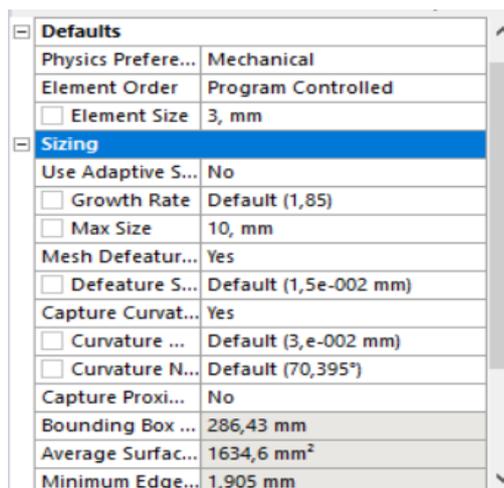


Figura 16-3: Características principales del mallado en la base

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Controladores globales

Patch conforming

Este controlador nos ayuda a vigilar las geometrías irregulares, la cual malla de adentro hacia fuera; Se aplico a todo el elemento.

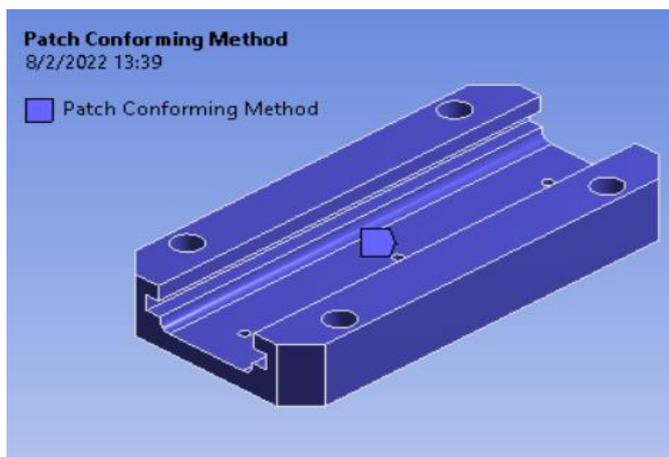


Figura 17-3: Base aplicado el controlador global “patch conforming”

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Controladores locales

Se aplico los controladores body sizing y fase sizing a diferentes partes del accesorio con la finalidad de mejorar la calidad de malla, el cual se utiliza en una parte especifica de un elemento.

Inflation

Este controlador local se utilizado para generar una malla que inspeccione las superficies cercanas a un agujero y así garantizar un mallado de calidad.

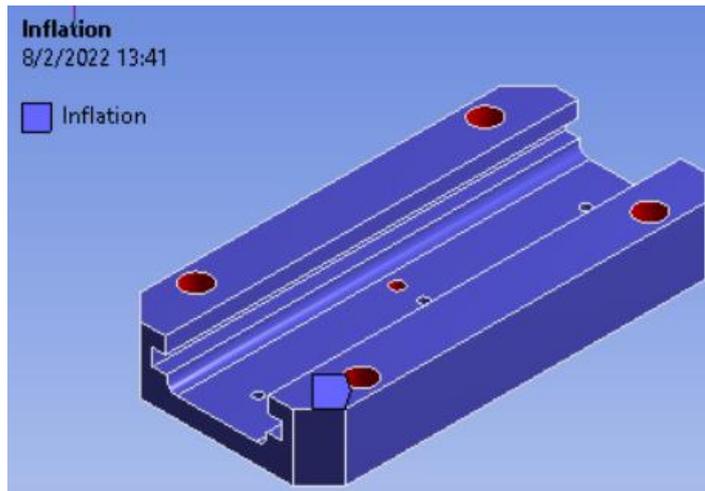


Figura 18-3: Base alta aplicado el controlador local “inflation”

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Proceso de análisis

Se utilizó un análisis estático puesto nuestro elemento debe garantizar la estabilidad de la base, para lo cual se utilizó apoyos fijos en la cara inferior de la base.

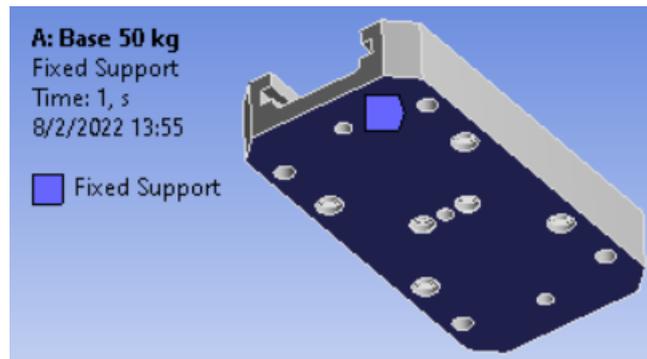


Figura 19-3: Apoyo fijo aplicado a la base

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Seguidamente se aplicó una fuerza distribuida perpendicular a la base de 50 Kg la cual corresponde al peso de la prima a mecanizar.



Figura 20-3 Fuerzas distribuidas de 50 Kg sobre la base del accesorio

Realizado por: Moreta Christian, 2022

3.3.3.5. Análisis de la base alta

Para la simulación de la base se realizó los mismos pasos planteados en la simulación de las mordazas para su mallado a diferencia que en la base alta se aplicara una fuerza y momento resultante en relación a su centro de gravedad con la fuerza aplicada en las mordazas.

Mallado

Para obtener una simulación aceptable se utilizó un tamaño de malla por defecto de 3 mm con un radio de crecimiento de 1,85 hasta un máximo de 10 mm, como se representa en la gráfica 9-3.

[-] Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
<input type="checkbox"/> Element Size	3, mm
[-] Sizing	
Use Adaptive Sizing	No
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,85)
<input type="checkbox"/> Max Size	10, mm
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (1,5e-002 mm)
Capture Curvature	Yes
<input type="checkbox"/> Curvature Min Size	Default (3,e-002 mm)
<input type="checkbox"/> Curvature Normal ...	Default (70,395°)
Capture Proximity	No
Bounding Box Diago...	286,43 mm
Average Surface Area	1634,6 mm ²
Minimum Edge Length	1,905 mm

Figura 21-3: Características principales del mallado en la base

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Controladores globales

Patch conforming

Este controlador nos ayuda a vigilar las geometrías irregulares, la cual malla de adentro hacia fuera; Se aplico a todo el elemento.

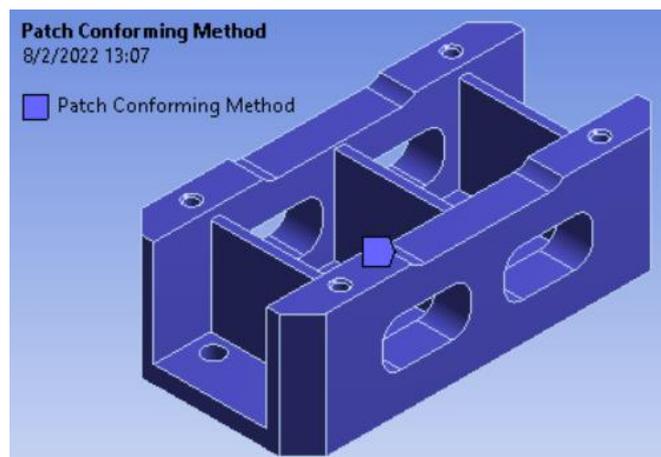


Figura 22-3: Base alta aplicado el controlador global “patch conforming”

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Controladores locales

Se aplico los controladores body sizing y fase sizing a diferentes partes del accesorio con la finalidad de mejorar la calidad de malla, el cual se utiliza en una parte especifica de un elemento.

Inflation

Este controlador local se utilizado para generar una malla que inspeccione las superficies cercanas a un agujero y así garantizar un mallado de calidad.

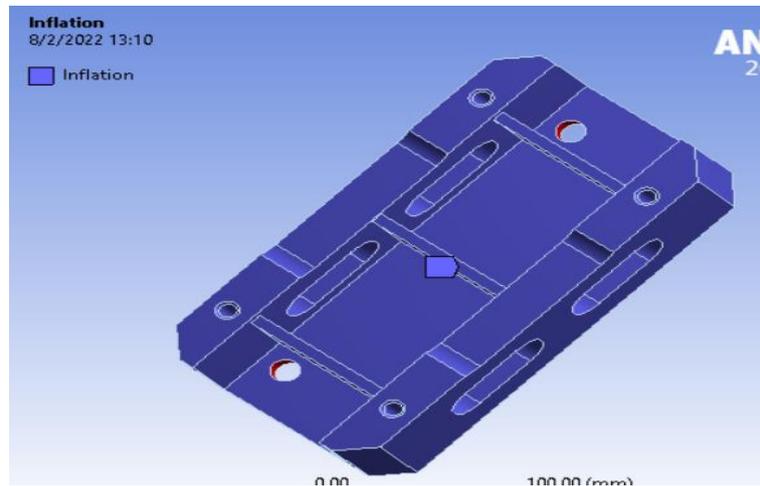


Figura 23-3: Base alta aplicado el controlador local “inflation”

Realizado por: Moreta Christian, 2022

3.3.3.5.1. Proceso de análisis

Se utilizo un análisis estático puesto nuestro elemento debe garantizar la estabilidad de la base, para lo cual se utilizó apoyos fijos en la cara inferior de la base alta.

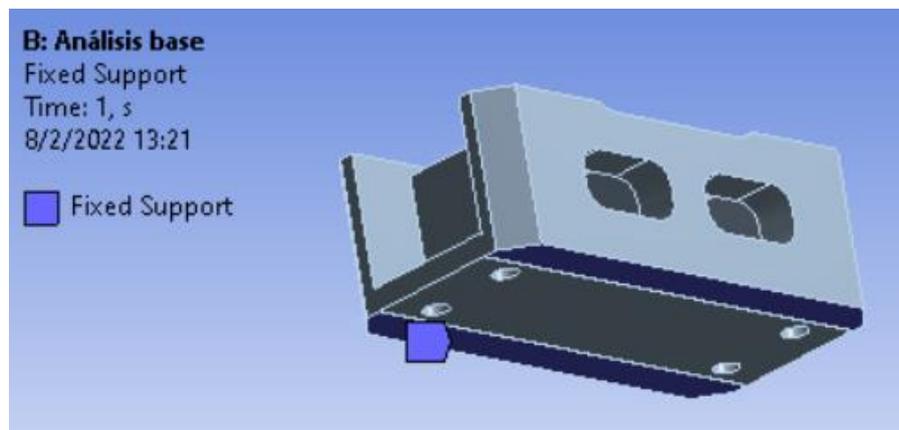


Figura 24-3: Apoyo fijo aplicado a la base alta

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Seguidamente se trasladó las fuerzas de las mordazas al centro de gravedad de la base alta, mediante la aplicación de estática, de esta manera se garantizará un resultado más optimo puesto que la calidad de malla es mejor para un solo elemento.

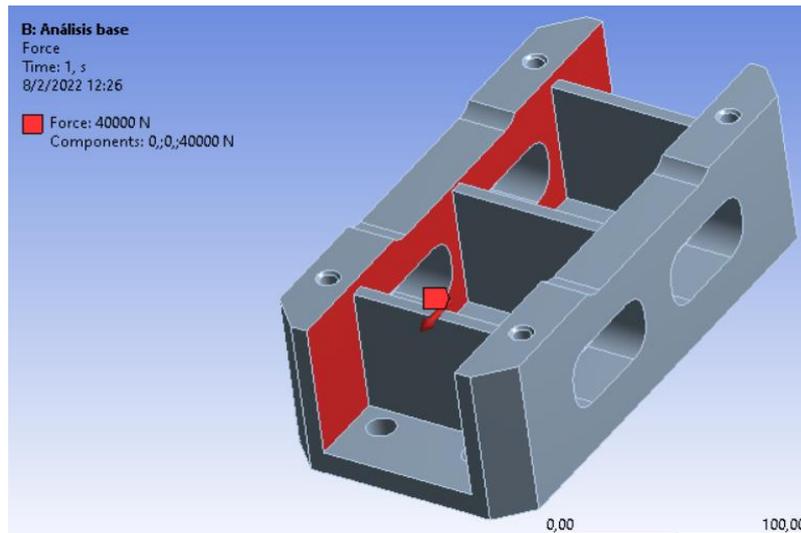


Figura 25-3: Fuerza resultante

Realizado por: Moreta Christian, 2022

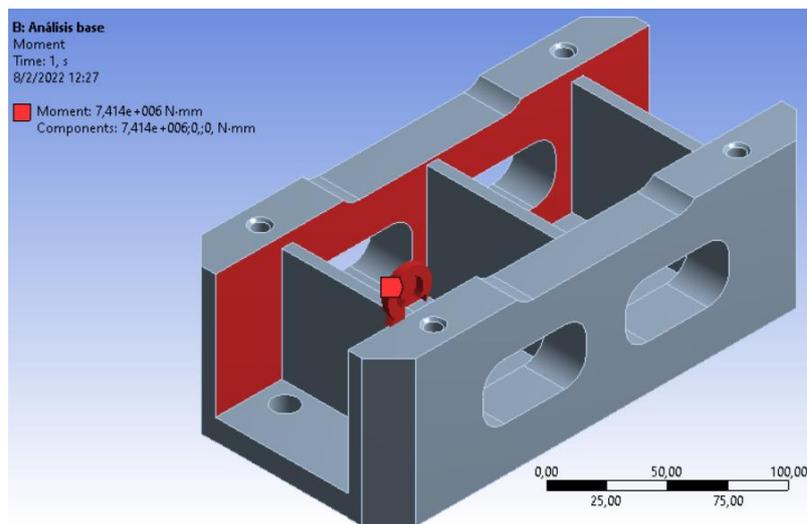


Figura 26-3: Momento resultante

Realizado por: Moreta Christian, 2022

3.4. Impresión 3D del accesorio

Para el desarrollo del sistema de sujeción, se utilizó una impresora marca Ender 3 pro, sin mejoras, con accesorios estándar; Anexo-J. El material a usar es un PLA de alta resistencia al cual se le trabajará a una temperatura en el extrusor de 200° y en la cama caliente de 60°, no se utiliza ningún otro complemento para la cama caliente por consiguiente se tiene la serie de pasos y consideraciones para poder realizar la impresión.

1. Para este primer paso es necesario convertir todos los archivos de SolidWorks a un formato. STL el cual nos permitirá realizar el código G para poder imprimirlo posteriormente.

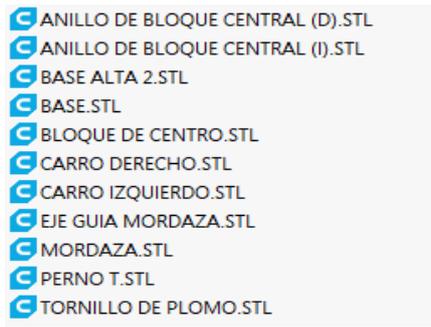


Figura 27-3: Piezas en formato. STL

Realizado por: Moreta Christian, 2022

2. Para la siguiente parte procedemos a pasar los archivos a imprimir, al programa Cura en este caso la versión 4.12.1, la cual nos muestra diferentes tipos de rellenos respecto a las elecciones anteriores y a su vez una gran variedad de soportes en tipo árbol, para lo cual es muy importante conocer, que para cada pieza se debe considerar un tipo de configuración, las cuales se muestran a continuación.

- Para piezas en movimiento como lo son: El anillo de bloque central, el perno, el tornillo se debe considerar una expansión horizontal de -0.1, esto es porque al ser piezas que van a embonar, necesitan un espacio para poder realizar el trabajo, si nosotros ponemos una expansión horizontal de 0 se necesitaría hacer un post procesado en el cual se perderían partes completamente redondas o a su vez partes completamente planas, con este tipo de configuración se logra mantener un margen de error del 0.1 mm.

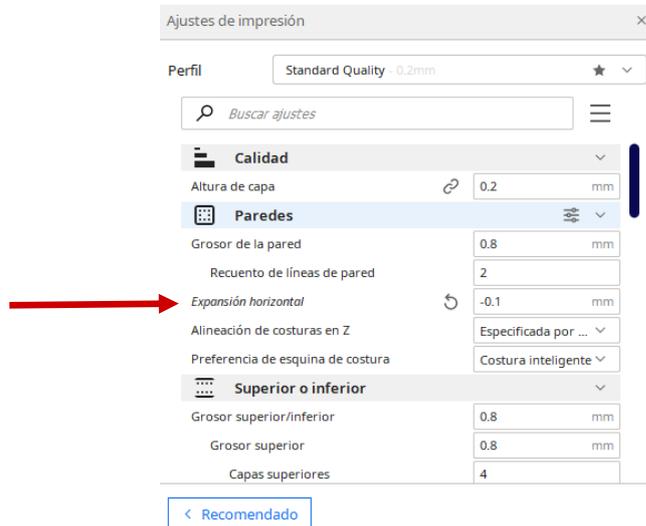


Figura 28-3: Configuración de la expansión horizontal

Realizado por: Moreta Christian, 2022

- Se debe también considerar las dimensiones de trabajo y la relación con las piezas a imprimir, en este caso existen varias piezas las cuales es necesario realizar un corte para

posteriormente poderlas unir ya que la impresora no cuenta con las medidas necesarias de impresión, en este caso al ser piezas más grandes se puede variar un poco la configuración de impresión de velocidad ya que al tener una base amplia la cual no se despegaría fácilmente se podría incrementar unos 10 mm/s de su velocidad, esto no afectaría ni dimensiones, resistencia ya que respectivamente se configuraría su flujo de depósito de material.

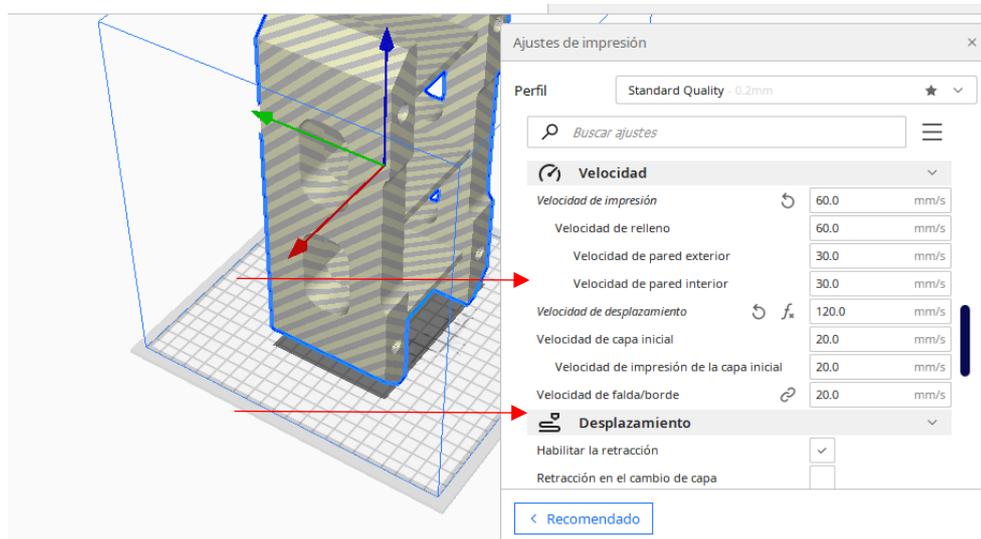


Figura 29-3: Configuración de la velocidad de impresión y desplazamiento

Realizado por: Moreta Christian, 2022

- Una de las consideraciones más importantes, es la posición a la cual se va a realizar la impresión, ya que no es lo mismo imprimir una sección circular de manera horizontal que de manera vertical, puesto que en este caso tenemos varias roscas las cuales se achacarían si la imprimimos de manera vertical, para lo cual se consideraría este tipo de disposición para poder tener partes lo más definidas posibles.

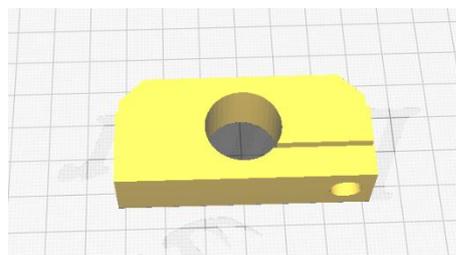


Figura 30-3: Configuración de la posición de impresión.

Realizado por: Moreta Christian, 2022

- Otra consideración muy importante también es el tipo de adherencia a la cama caliente, ya que para ciertas piezas al ser pequeñas, es necesario colocar una cierta capa extra para que pueda adherirse a la cama y en otros casos es un poco desperdicio de material, para este caso se usó un tipo de adherencia de borde de 8 capas, con esto proporcionándonos una exactitud en la

parte de las esquinas, ya que en ciertas ocasiones si usamos otro tipo de adherencia no nos va a brindar capas completas en los finales de la primera capa.

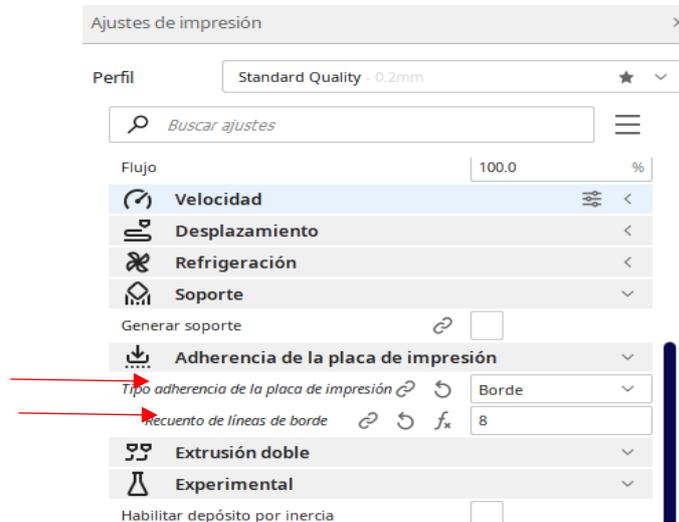


Figura 31-3: Configuración del tipo de adherencia

Realizado por: Moreta Christian, 2022

- Al momento de imprimir piezas altas es necesario tener en cuenta la refrigeración de capa, ya que en las primeras capas se necesita una mayor refrigeración por el motivo que están más cerca de la cama caliente y de esta manera no se endurecen a la velocidad requerida. Para este caso se activa la refrigeración por capa comenzando en un 100% la cual irá disminuyendo en un lapso de cuatro capas, con esto se logra proporcionar una figura completamente recta y a su vez sin deformaciones.

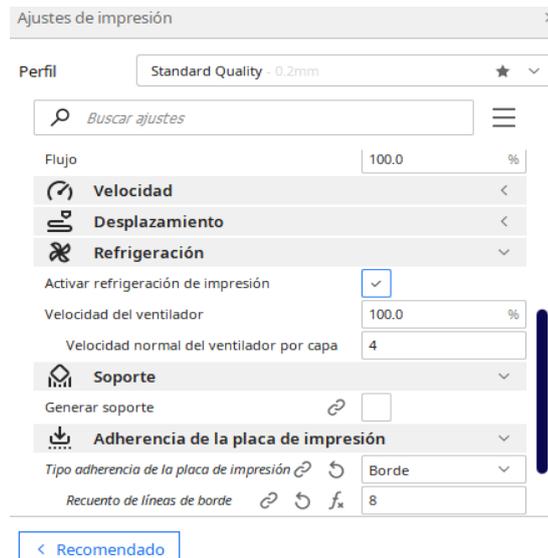


Figura 32-3: Configuración de la refrigeración de impresión

Realizado por: Moreta Christian, 2022

- En el desplazamiento se debe considerar sus retracciones de manera estándar, ya que al ser la última versión de cura nos proporciona mejoras en las configuraciones para este tipo de impresora, pero usamos el modo peinado, ya que nos ayuda a la parte de desplazamiento en las zonas que ya estaban impresas, lo cual puede afectar mucho ya que si no se considera en todas las zonas impresas la punta del extrusor, pasaría por zonas de empresa y al estar a más de 200° afectaría no sólo a la máquina, sino que también dañaría partes impresas; En esta configuración también se toma en cuenta las retracciones del material en las partes de la capa externa, así al tener una pequeña retracción del material al momento de hacer el cambio de una capa el material de exceso, se depositaría en el inicio de la siguiente capa y de esta manera evitaremos hilillos e incluso exceso de material como puntos en las capas externas.

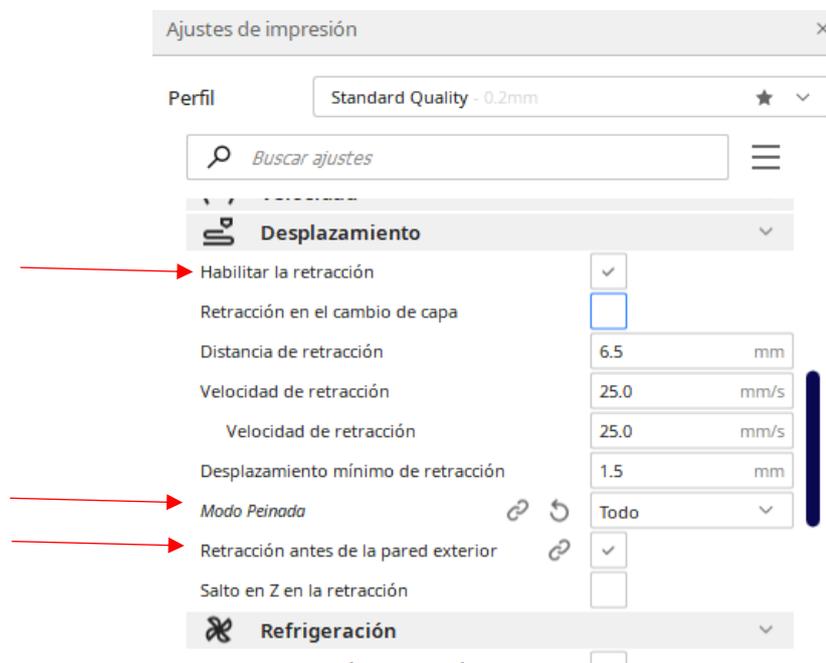


Figura 33-3: Configuración del desplazamiento

Realizado por: Moreta Christian, 2022

3. Para este paso luego de haber verificado todas las consideraciones anteriormente mencionadas, se procede a realizar el laminado, en este caso se usaría una altura de capa de 0.2, un relleno del 15%, el diámetro del material de 1.75mm con una boquilla de 0.4 mm, para lo cual es necesario verificar el laminado capa por capa de una manera a inspección general ya que en ciertos casos al momento de convertir nuestros archivos al formato .STL existen errores los cuales son producidos por el programa de diseño.

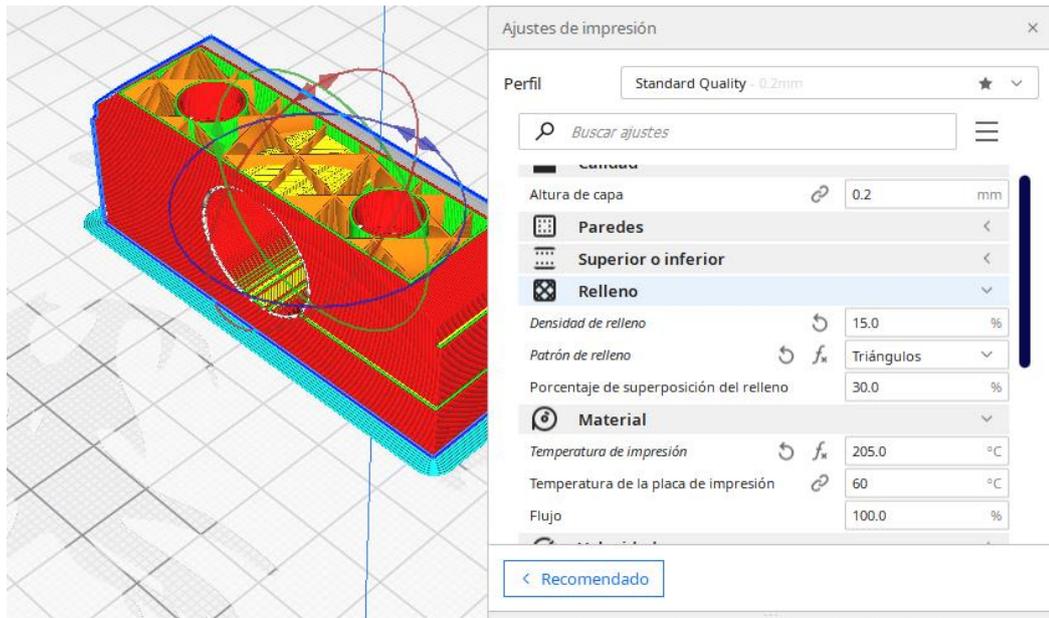


Figura 34-3: Configuración del relleno de impresión

Realizado por: Moreta Christian, 2022

4. Otra consideración que se puede tener en cuenta es la velocidad de impresión, que al momento de observar piezas que se van a unir en cierto punto y no se desea usar soportes, se podría configurar lo que es el flujo mediante el motor del extrusor y a su vez imprimiéndolo a una velocidad no mayor de 30 mm/s. Cabe recalcar que esto no afectará sus resultados ya que sería otra opción de imprimir ciertas piezas.

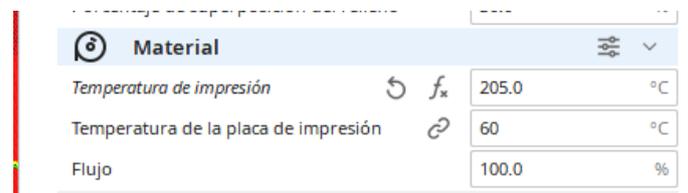


Figura 35-3: Flujo de impresión

Realizado por: Moreta Christian, 2022

5. Luego de haber analizado posición y el tipo de pieza trabajo que vaya a realizar, se procede a preparar la máquina, en este caso se revisa la cama caliente que no tenga residuos de anteriores impresiones, de existir se debe retirar la cama caliente y limpiar. Además, al ser magnética es de fácil manejo y de limpieza.

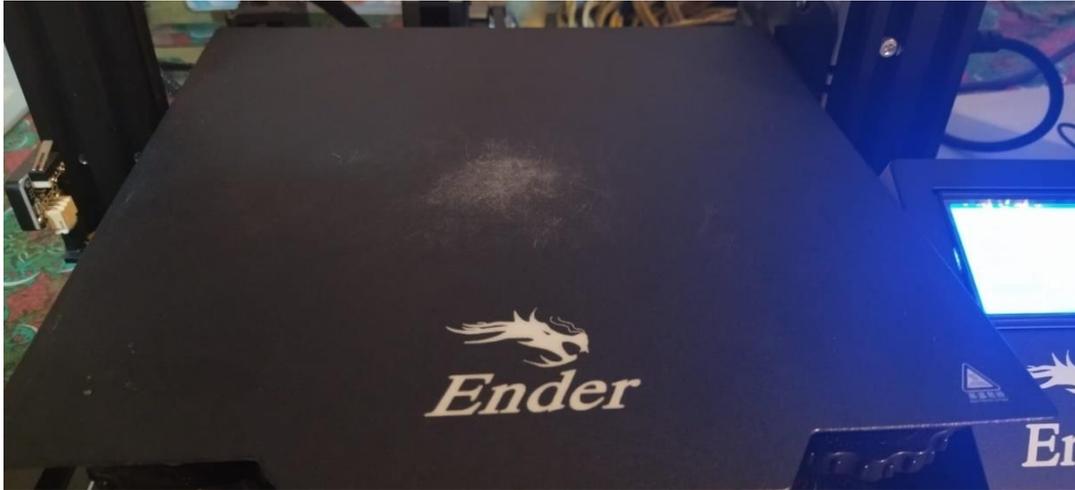


Figura 36-3: Cama de impresión

Realizado por: Moreta Christian, 2022

6. En este caso se procede a revisar el extrusor, al ser una instrucción indirecta se debe verificar que el tubo de teflón no tenga ninguna interrupción y a su vez del engrane del motor paso a paso esté completamente limpio para que tenga un agarre total del material.



Figura 37-3: Revisión del extrusor

Realizado por: Moreta Christian, 2022

7. Considerando las partes móviles, se procede a precalentar extrusor y cama caliente, teniendo ya listo esto, se puede colocar el material, se recomienda en este paso empujarlo de manera manual o por él mismo panel de control de la impresora, para poder limpiar residuos e incluso que el flujo de material no tenga ninguna variación.



Figura 38-3: Preparación del extrusor

Realizado por: Moreta Christian, 2022

8. En este caso ya teniendo todo listo y preparado se procede a colocar el archivo generado en Cura, para imprimir se recomienda permanecer las 3 primeras capas de impresión que se peguen bien a la cama caliente, ya que si existe una variación en la primera capa esta no se pegará y no se logrará una buena impresión; En el caso de que la cama caliente no se pegue, es necesario realizar un nivelado manual mediante una hoja de papel, en la cual la boquilla se la coloca en el origen respecto a la cama caliente deshabilitando los motores, se procede hacer un movimiento manual en cada esquina verificando que la hoja de papel pase sin dificultad pero exista una cierta presión entre la cama caliente y la boquilla, al tener todo nivelado y verificado se podría verificar la impresión cada cierto número de horas y mucho más importante si éste tiene soportes, ya que en ciertos casos el flujo no soporte puede variar y no se puede imprimir completamente lo que provocaría una inestabilidad en la parte de la impresión y se requiera modificar el parámetro en la parte de los soportes. Siendo este caso se podría aumentar su densidad OA o a su vez incrementar un poco el flujo, es decir igualarlo a lo que es en la parte sólida con la parte del objeto, con este tipo de consideraciones se podría obtener la impresión más exacta posible.

3.4.1. Material para la impresión 3D

Para el material se utilizará PLA con las siguientes características:

- Temperatura de impresión: 180-220 °C
- Marca: Flythinking
- Diámetro: 1.75 mm
- Temperatura de impresión recomendada: 200 °C
- Temperatura de la cama: 50-80 °C
- Peso: 1 Kg
- Peso neto: 1.35 Kg

CAPÍTULO IV

En este capítulo se realiza el análisis sistemático de los resultados de diseño, simulación y prototipado 3D del accesorio de sujeción de materia prima en su totalidad, además se emitirá conclusiones que se obtuvieron a lo largo del desarrollo del tema y recomendaciones que se deberán adoptar para trabajos similares, puesto que se expondrán la experiencia adquirida en el desarrollo del mismo.

4. RESULTADOS

4.1. Diseño de los pernos Allien “base alta-bancada CNC”

4.1.1. Análisis a corte

Remplazando valores en la ecuación 1 se obtiene lo siguiente.

$$V_{z1'} = \frac{40 \times 10^3}{4}$$

$$V_{z1'} = 10 \times 10^3 \text{ N}$$

Debido a que no existe corte secundario producido por un momento torsor, la carga de corte total será igual a la carga de corte primario en el perno.

$$V_{z1'} = V_{tz}$$

$$V = 10 \times 10^3 \text{ N}$$

Esfuerzo

Remplazando la ecuación 3 en la ecuación 2 y el valor de la carga de corte, se obtiene lo siguiente:

$$\tau = n \frac{(1,15)(10 \times 10^3)}{84,3}$$

Dicho valor de esfuerzo cortante se utilizará para el cálculo del factor de seguridad mediante esfuerzos combinados.

4.1.2. Análisis a tracción

Cálculo de la carga en la fila 1 y 2

Para el cálculo de la carga en la fila 1 y 2, se reemplazó los valores correspondientes en la ecuación 4, así como también se reemplazó dicho valor en la ecuación 5, obteniendo los siguientes resultados.

$$F_{f1'} = \frac{(5,76 \times 10^6)(216)}{(216)^2 + (38)^2}$$

$$F_{f1'} = 25,87 \times 10^3 \text{ N}$$

$$F_1 = \frac{25,87 \times 10^3}{2}$$

$$F1 = 12935 \text{ N}$$

$$Ff2'' = \frac{(5,76 \times 10^6)(38)}{(216)^2 + (38)^2}$$

$$Ff2'' = 4550,52 \text{ N}$$

$$F2 = \frac{4550,52}{2}$$

$$F2 = 2275,26 \text{ N}$$

Como podemos observar la carga en la fila 1 es mayor a la de la fila 2, por lo que se tomara como valor crítico para el cálculo del esfuerzo, la de la fila 1.

$$P = 12935 \text{ N}$$

Esfuerzo

Para el cálculo del esfuerzo se resolvió la ecuación 7 y reemplazo en la ecuación 6 entonces:

$$Fi = (0,75)(380)$$

$$Fi = 285$$

Además, tomando en cuenta que al reemplazar la ecuación 6 en la 7, el valor de At se simplificaría en la formula del esfuerzo, quedando de la siguiente manera.

$$\varphi = 285 + \frac{nx0,3x12935}{84,3}$$

4.1.3. Cálculo del factor de seguridad

Reemplazando los valores en la ecuación 8 se obtiene lo siguiente:

$$\sqrt{\left(285 + \frac{nx0,3x12935}{84,3}\right)^2 + (3)\left(\left(n \frac{(1,15)(10 \times 10^3)}{84,3}\right)^2\right)} = 420 \text{ MPA}$$

$$n = 1,075$$

Como podemos observar se tiene un factor de seguridad mayor a 1, por lo que el elemento tendrá vida infinita y no fallará durante su operación.

4.1.4. Medidas de diseño del perno

Perno Allen: M12X1,75X35; Grado 8; n=1,1

Para el cálculo de los pernos faltantes se tomará como base, pernos Allen de medidas inferiores al M12 y se validará su factor de seguridad mediante ANSYS. Puesto que el momento flector en dichos pernos será menor al calculado, se obtendrá un factor de seguridad mayor a 1,1, por lo que funcionarían de manera adecuada en su montaje. Obteniendo como resultado lo siguiente:

Esfuerzo equivalente de Von-Mises

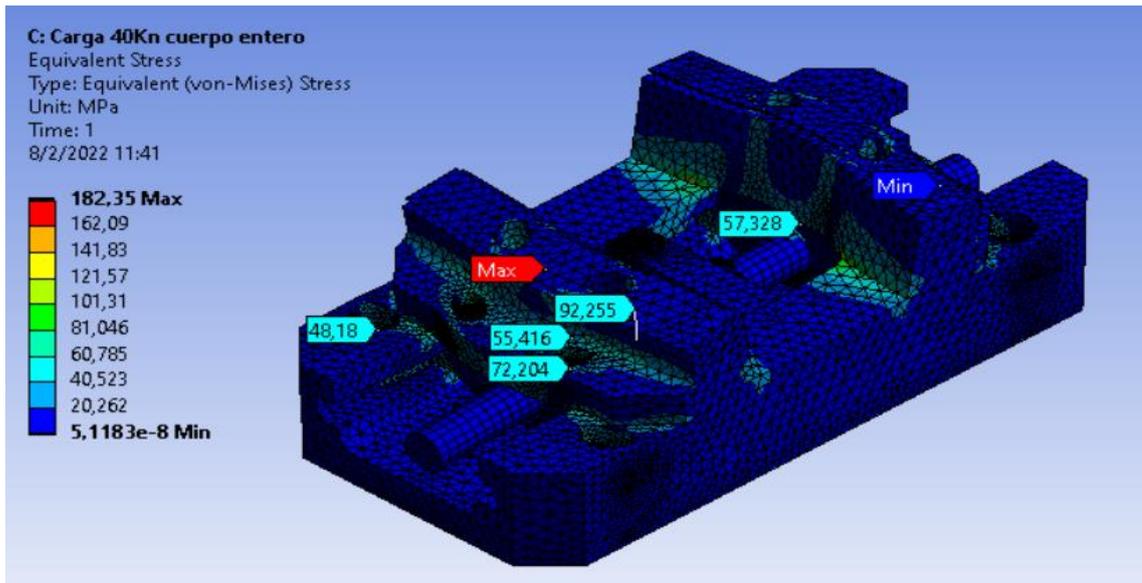


Figura 1-4: Esfuerzo equivalentes en los puntos de anclaje

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Factor de seguridad

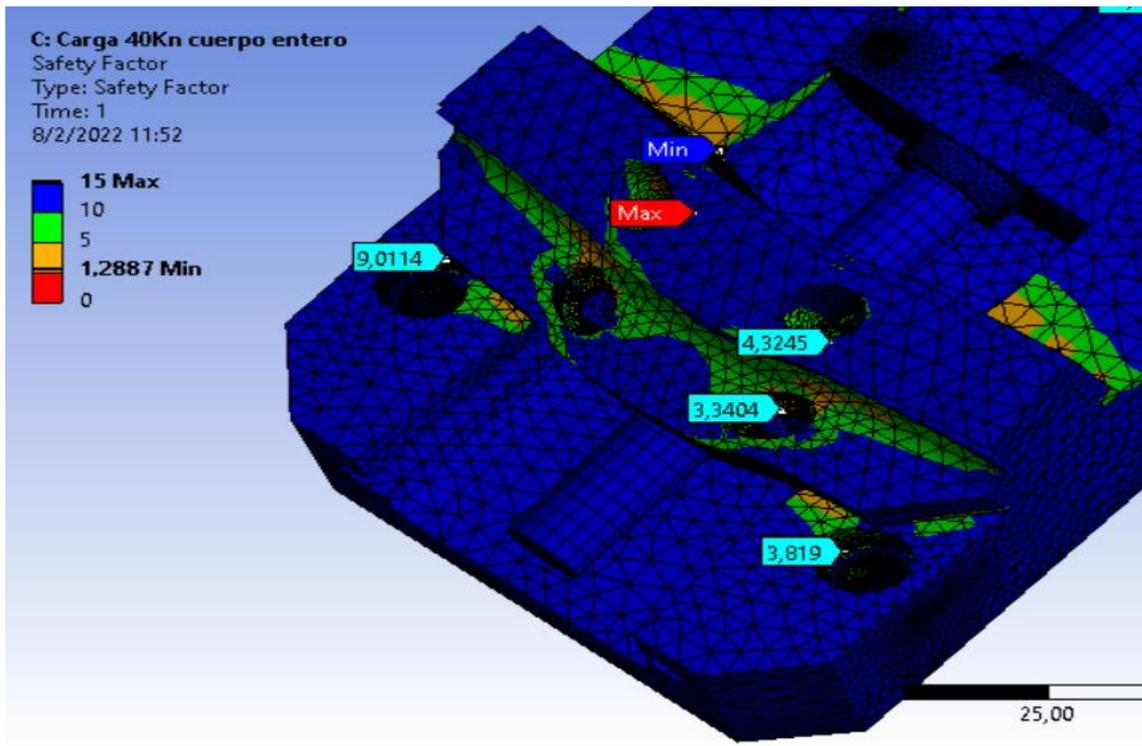


Figura 2-4: Esfuerzo equivalentes en los puntos de anclaje

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Como se puede observar en la figura 20-3 los valores de 48.18, 55.416, 72.204 y 92.255 MPa, corresponden a los valores de esfuerzo en cada punto de anclaje.

Debido a que en el diseño se utilizó pernos Allen de grado 8.8 con un esfuerzo mínimo a la fluencia de 660 Mpa y los valores obtenidos en nuestro modelo no superan los 100 MPa, se

concluye que el accesorio cumple con los criterios de diseño y las condiciones de trabajo son óptimas. Además, se tendrá un factor de seguridad mínimo en los pernos de 1,075 por lo cual el elemento tendrá vida infinita y no fallará en condiciones de operación.

Tabla 1-4: Factores de seguridad en los pernos de anclaje del accesorio

DESIGNACIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD
Pernos Allien M12 sujeción “base alta-bancada CNC”	1,075
Pernos Allien M10 sujeción “base alta-base carros”	3,8
Pernos Allien M8 sujeción “carros-mordaza”	3,34 y 4,32

Realizado por: Moreta Christian, 2022

4.2. Diseño del tornillo de potencia

4.2.1. Dimensionamiento y análisis del tornillo de potencia rosca ACME

Remplazando los valores respectivos desde la ecuación 9 a la 16 se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 2-4: Dimensiones del tornillo de potencia rosca ACME

DESIGNACIÓN	VALOR	UNIDADES
Paso	1/6	plg
Avance	1/2	plg
Diámetro externo	3/4	plg
Diámetro medio	2/3	plg
Diámetro de raíz	7/12	plg
Diámetro del collarín	1	plg
Torque de diseño	663,806	lbf. plg
Torque de subida con carga	663,81	Lbf. plg
Fuerza de subida con carga	3992,52	lbf
Torque inicial	317,715	lbf. plg

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Esfuerzo equivalente de Von-Mises

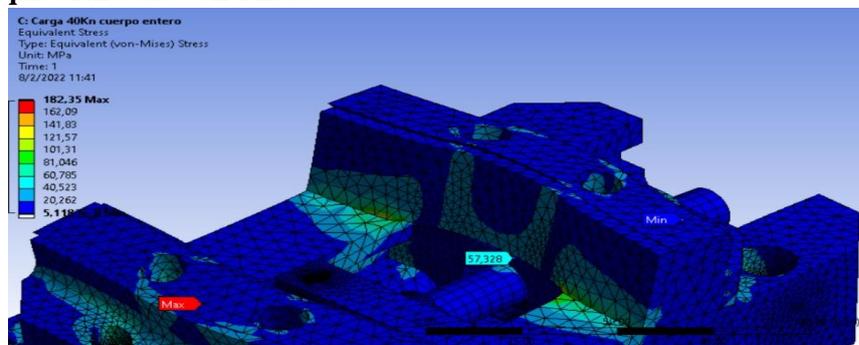


Figura 3-4: Esfuerzo equivalente máximo en el tornillo de plomo

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Factor de seguridad

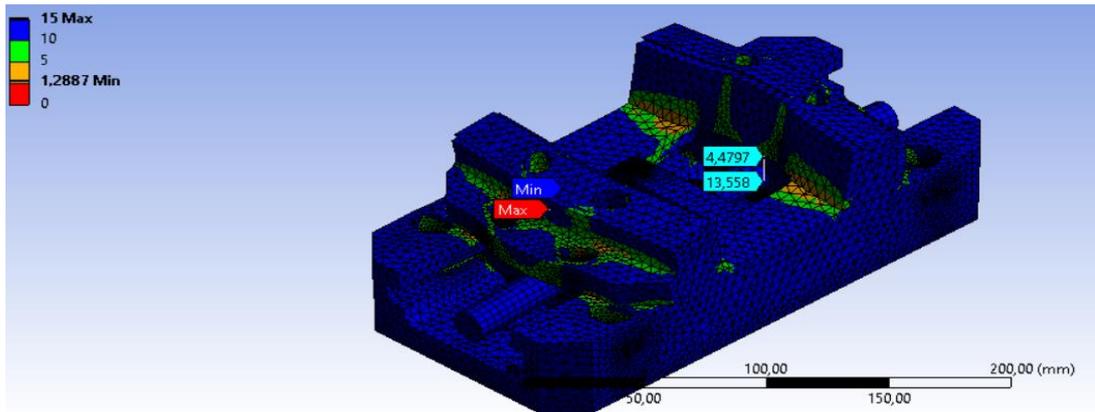


Figura 4-4: Factor de seguridad del tornillo de potencia rosca ACME a una carga de 40KN

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Tabla 3-4: Esfuerzo equivalente de Von Mises, eficiencia y factor de seguridad del tornillo de potencia.

DESIGNACIÓN	VALOR	UNIDADES
Esfuerzo equivalente de Von Mises	57,328	MPA
Eficiencia	0,49	----
Factor de seguridad	4,49	----

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Como se puede observar en la tabla de resumen 17-3 el valor de 57,328 MPA, corresponden al valor máximo de esfuerzo combinado de Von Mises en el tornillo de potencia y un factor de seguridad mínimo de 4,49, se concluye que el tornillo de potencia rosca ACME cumple con los criterios de diseño y las condiciones de trabajo son óptimas. Además, el elemento tendrá vida infinita y no fallará en condiciones de operación. Sin embargo, el valor de e es menor a 1 lo que quiere decir que en el valor máximo de trabajo funcionará con una eficiencia del 50 % aproximadamente, lo que significa que en valores crítico seguirá funcionando de manera correcta, mas no a su capacidad total. Muy importante no confundir la eficiencia con el factor de seguridad.

4.2.2. Cálculo de los factores de seguridad en la tuerca del tornillo de potencia

Remplazando los valores respectivos desde la ecuación 17 a la 20 se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 4-4: Factores de seguridad obtenidos en el diseño de la tuerca

DESIGNACIÓN	VALOR
A cizalla	2,66
A aplastamiento	4,72
A flexión	1,57

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Como se puede observar los valores de factor de seguridad son mayores a 1 por lo que el diseño estaría correcto.

Tabla 5-4: Datos de diseño del tornillo de potencia rosca ACME

DESIGNACIÓN	VALOR	UNIDADES
Diámetro exterior	3/4	plg
Diámetro medio	2/3	plg
Diámetro de raíz	7/12	plg
Paso	1/6	plg
Tipo de entrada	Triple entrada	-----

Realizado por: Moreta Christian, 2022

4.3. Diseño del accesorio mediante SolidWorks

Mediante la realización de los pasos secuenciales planteados en el apartado 3.3.2 se obtuvo el siguiente ensamble final.



Figura 5-4: Isometría del sistema total realizado en SolidWorks

Realizado por: Moreta Christian, 2022

4.4. Validación mediante ANSYS

4.4.1. Análisis de las mordazas

Mediante la eliminación de aristas pronunciadas, combinación de superficies, eliminación de superficies pequeñas tomando como máximo 2.25E-8 mm², se obtuvo como resultado el modelo presentado en el gráfico 6-3:

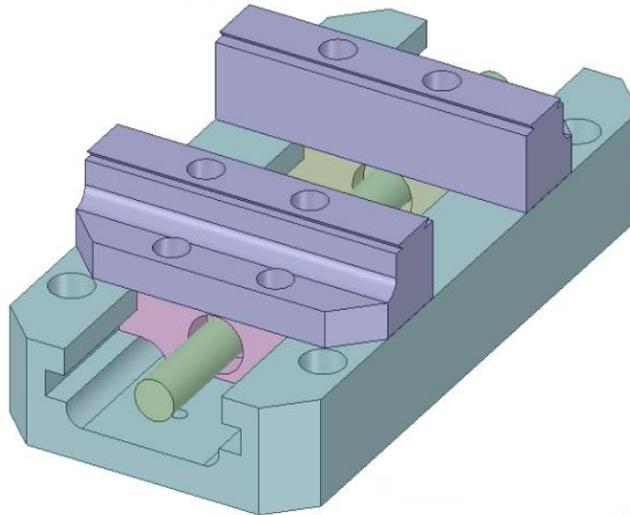


Figura 6-4: Geometría simplificada del modelo mediante ANSYS workmench.

Realizado por: Moreta Christian, 2022

4.4.1.1. Asignación de los materiales

Acero naval “A131”

Tabla 6-4: Propiedades mecánicas del acero naval “A131”-(ANSYS)

Properties of Outline Row 3: A131				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7800	kg m ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
6	Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's Modu...		
8	Young's Modulus	1,9E+11	Pa	
9	Poisson's Ratio	0,27		
10	Bulk Modulus	1,3768E+11	Pa	
11	Shear Modulus	7,4803E+10	Pa	
12	Strain-Life Parameters			
20	S-N Curve	Tabular		
24	Tensile Yield Strength	2,35E+08	Pa	
25	Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa	
26	Tensile Ultimate Strength	4E+08	Pa	
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa	

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Acero de transmisión “AISI 1018”

Tabla 7-4: Propiedades mecánicas del acero de transmisión “AISI 1018”-(ANSYS)

Properties of Outline Row 4: Aisi 1018				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	 
2	 Material Field Variables	Table		
3	 Density	7870	kg m ⁻³	  
4	 Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			 
6	 Isotropic Elasticity			 
7	Derive from	Young's Modu...		
8	Young's Modulus	2,05E+11	Pa	  
9	Poisson's Ratio	0,3		 
10	Bulk Modulus	1,7083E+11	Pa	 
11	Shear Modulus	7,8846E+10	Pa	 
12	 Strain-Life Parameters			 
20	 S-N Curve	Tabular		 
24	 Tensile Yield Strength	3,7E+08	Pa	  
25	 Compressive Yield Strength	3,7E+08	Pa	  
26	 Tensile Ultimate Strength	4,4E+08	Pa	  
27	 Compressive Ultimate Strength	0	Pa	  

Realizado por: Moreta Christian, 2022

BRONCE

Tabla 8-4: Propiedades mecánicas del bronce-(ANSYS)

Properties of Outline Row 5: Bronze, cast				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	 
2	 Density	8810	kg m ⁻³	  
3	 Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			 
5	 Isotropic Elasticity			 
6	Derive from	Young's Modu...		
7	Young's Modulus	8E+10	Pa	  
8	Poisson's Ratio	0,345		 
9	Bulk Modulus	8,6022E+10	Pa	 
10	Shear Modulus	2,974E+10	Pa	 
11	 Tensile Yield Strength	1,44E+08	Pa	  
12	 Tensile Ultimate Strength	2,67E+08	Pa	  

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Acero al carbono “SAE 1010”

Tabla 9-4: Propiedades mecánicas del acero al carbono “SAE 1010”-(ANSYS)

Properties of Outline Row 6: Sae 1010				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7900	kg m ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
6	Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's Modu...		
8	Young's Modulus	1,9E+11	Pa	
9	Poisson's Ratio	0,29		
10	Bulk Modulus	1,5079E+11	Pa	
11	Shear Modulus	7,3643E+10	Pa	
12	Strain-Life Parameters			
20	S-N Curve	Tabular		
24	Tensile Yield Strength	1,9E+08	Pa	
25	Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa	
26	Tensile Ultimate Strength	3,5E+08	Pa	
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa	

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Acero estructural “A36”

Tabla 10-4: Propiedades mecánicas del acero estructural “A36”-(ANSYS)

Properties of Outline Row 7: Structural Steel				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7850	kg m ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
6	Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's Modu...		
8	Young's Modulus	2E+11	Pa	
9	Poisson's Ratio	0,3		
10	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa	
11	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa	
12	Strain-Life Parameters			
20	S-N Curve	Tabular		
24	Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa	
25	Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa	
26	Tensile Ultimate Strength	4,6E+08	Pa	
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa	

Realizado por: Moreta Christian, 2022

4.4.1.2. Configuración de contactos entre elementos

Planteado la configuración recomendada en el capítulo 3, se obtuvo como resultado lo planteado en la figura 7-4.

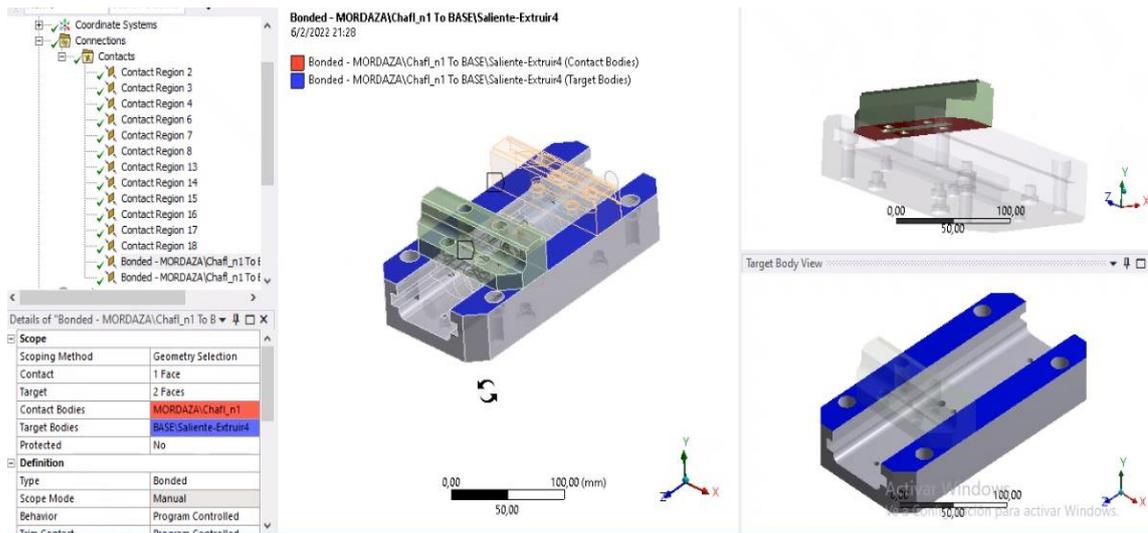


Figura 7-4: Configuración de contactos entre elementos

Realizado por: Moreta Christian, 2022

4.4.1.3. Mallado

Una vez configurado los controladores tanto globales como locales se obtuvo como resultado lo siguiente:

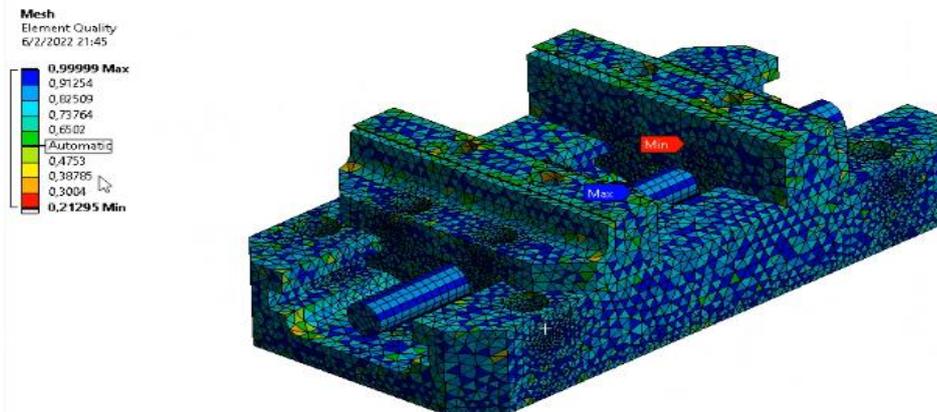


Figura 8-4: Mallado final del accesorio.

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Como se puede observar en la figura 14-3 se obtuvo como mínimo un 0.2129 el cual está dentro del valor mínimo establecido para análisis estructural. Además, el promedio de malla debe ser mayor o igual a 0.8 planteado en average y con una calidad mínima de 0.2, como se representa en el gráfico 10-3 y 11-3.

Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	0,21295
<input type="checkbox"/> Max	0,99999
<input type="checkbox"/> Average	0,81239
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,11415

Gráfico 1-4: Datos del mallado

Realizado por: Moreta Christian, 2022

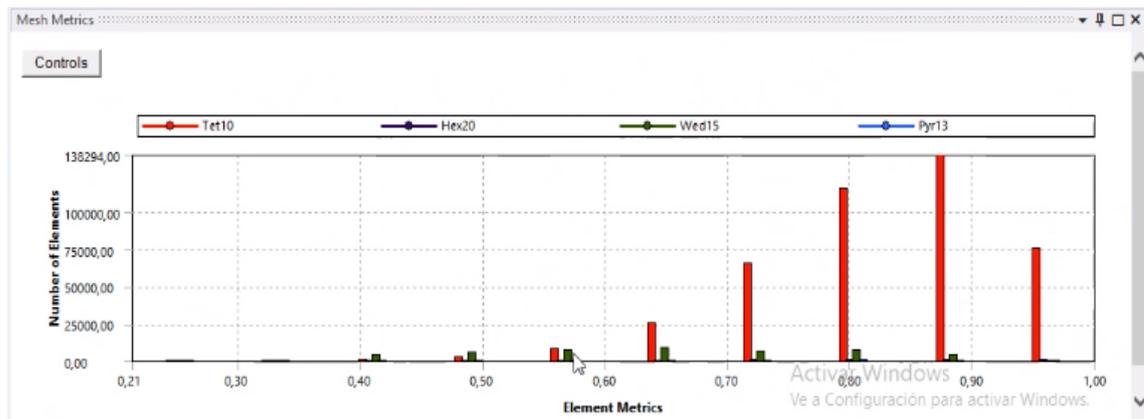


Gráfico 2-4: Diagrama de barras de los valores de mallado en relación al número de elementos generados en la misma.

Realizado por: Moreta Christian, 2022

4.4.1.4. Análisis de resultados

Para el análisis de resultados se planteó los siguientes parámetros:

- Total deformation-deformación total
- Equivalent stress-Esfuerzo equivalente de VON MISES
- Stress tool-Factor de seguridad



Figura 9-4: Parámetros de análisis del accesorio

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Deformación total en el accesorio

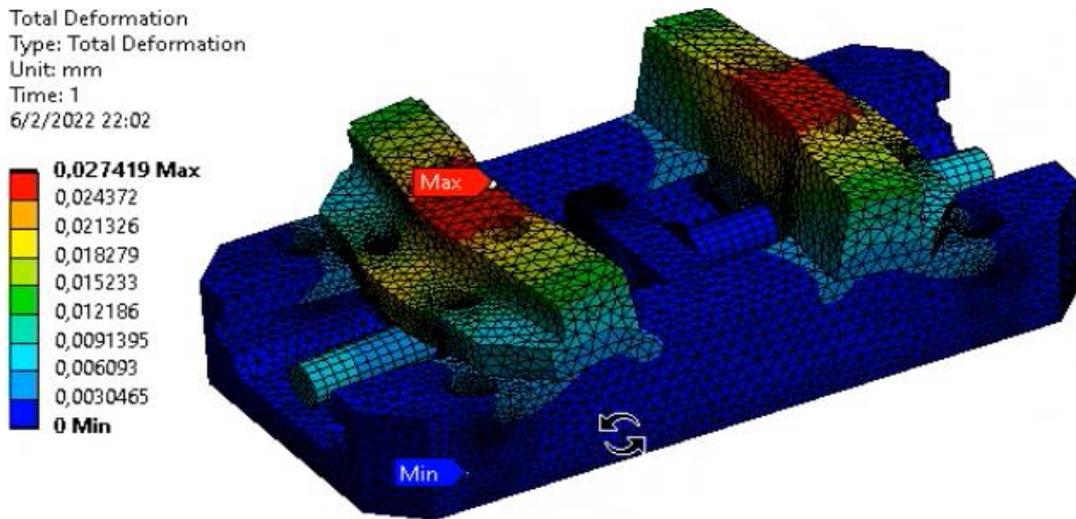


Figura 10-4: Deformación máxima en el accesorio debido a una carga de 40kN

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Esfuerzo equivalente de Von-Mises

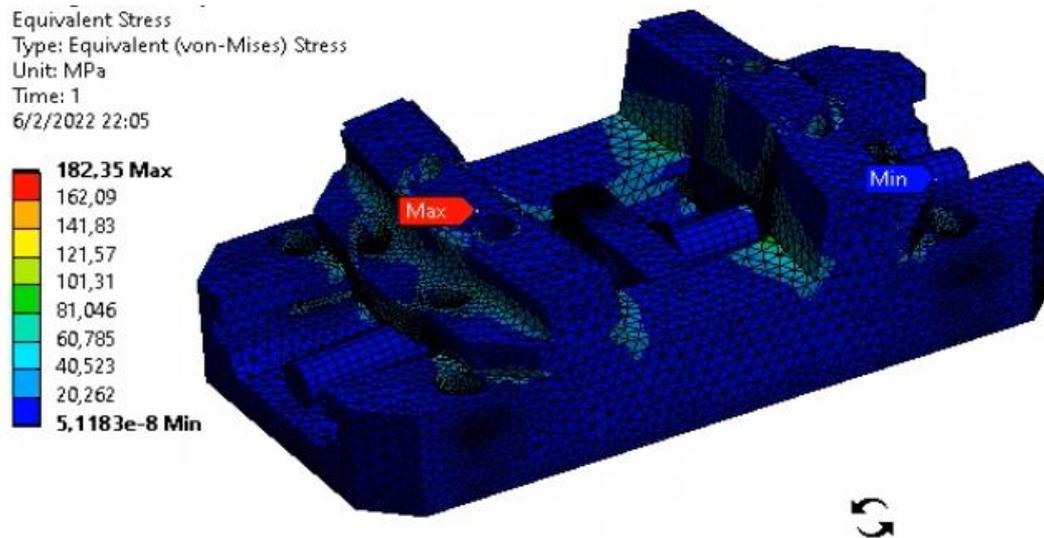


Figura 11-4: Esfuerzo equivalente máximo y mínimo en el accesorio debido a una carga de 40kN

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Factor de seguridad

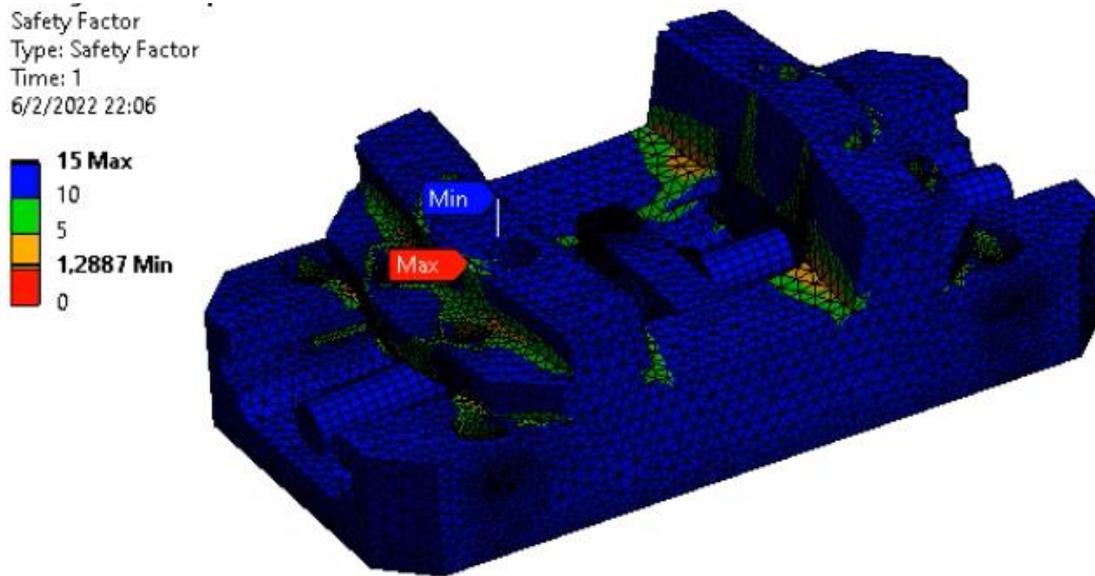


Figura 12-4: Factor de seguridad en el accesorio debido a una carga de 40KN

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Tabla 6-4: Valores de deformación, esfuerzo y factor de seguridad en las mordazas

DESIGNACIÓN	VALOR	UNIDADES
Deformación	0,027	mm
Esfuerzo equivalente de Von Mises	182,35	MPA
Factor de seguridad	1,28	----

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Como se observa en la tabla 17-3 se obtuvo un factor de seguridad de 1,28 lo que significa que nuestro accesorio tendrá vida infinita y cumplirá con los requerimientos de construcción y funcionamiento.

4.4.2. Análisis de la base

4.4.2.1. Mallado

Una vez configurado los controladores tanto globales como locales se obtuvo como resultado lo siguiente:

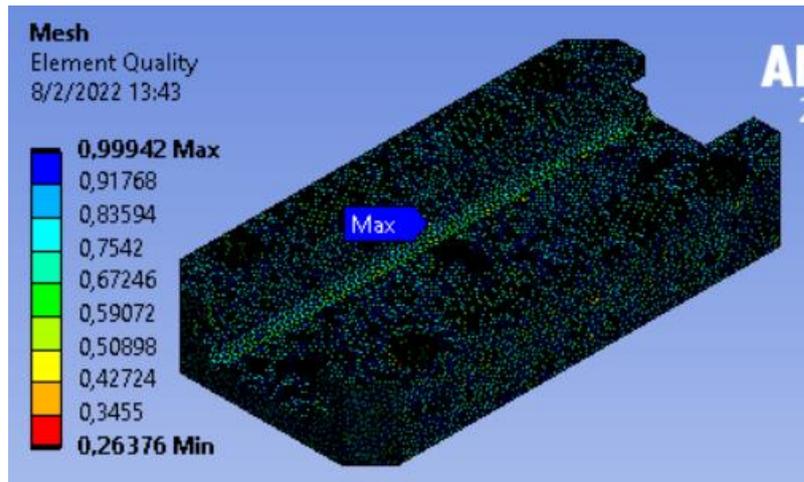


Figura 13-4: Mallado final de la base.

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Como se puede observar en la figura 26-3 se obtuvo como mínimo un 0.2638 el cual está dentro del valor mínimo establecido para análisis estructural. Además, el promedio de malla debe ser mayor o igual a 0.8 planteado en average y con una calidad mínima de 0.2, como se representa en el gráfico 13-3.

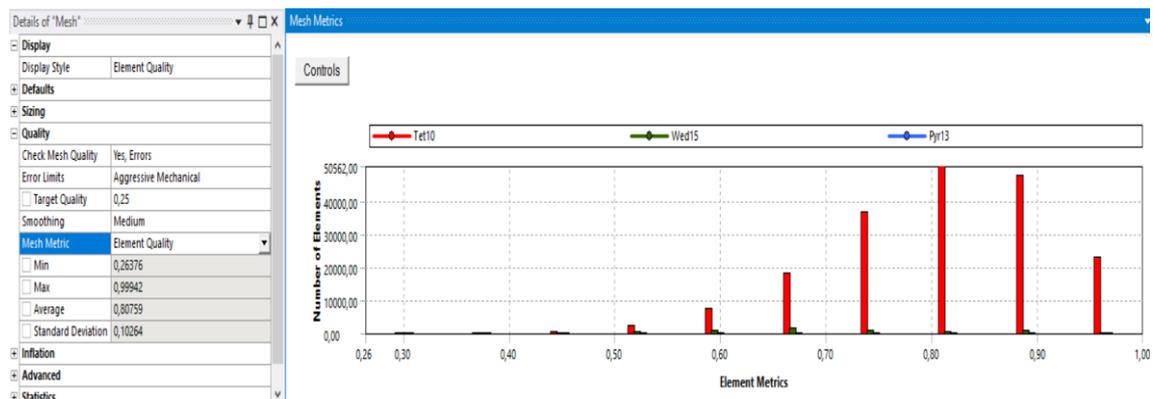


Gráfico 3-4: Diagrama de barras de los valores de mallado en relación con el número de elementos generados en la misma.

Realizado por: Moreta Christian, 2022

4.4.2.2. Análisis de resultados

Una vez realizado toda la configuración correspondiente planteado en el capítulo 3 se obtiene los siguientes resultados:

Deformación total

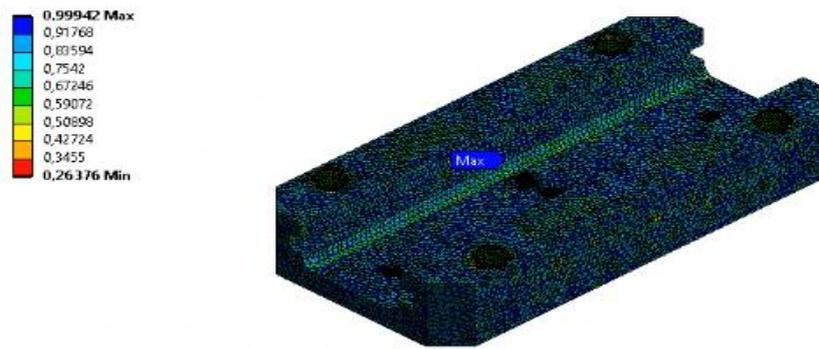


Figura 14-4: Deformación máxima en la base debido a una carga de 50 Kg

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Esfuerzo equivalente de Von-Mises

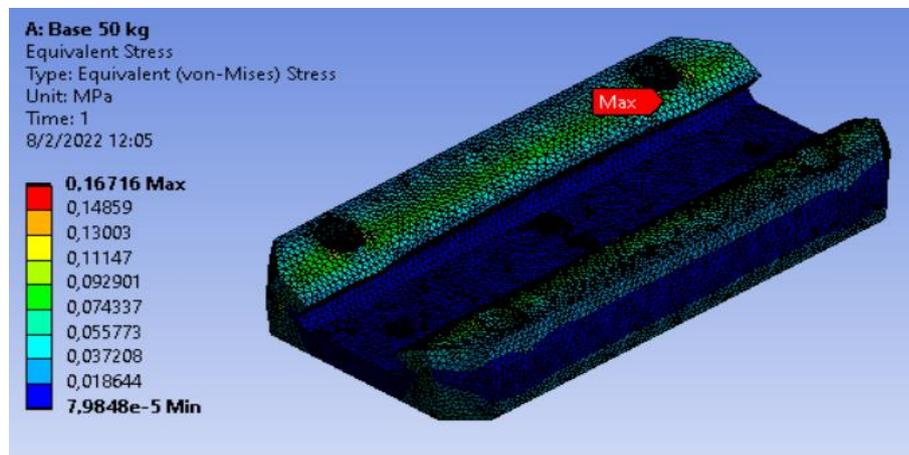


Figura 15-4: Esfuerzo equivalente máximo y mínimo en la base debido a una carga de 50Kg

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Factor de seguridad

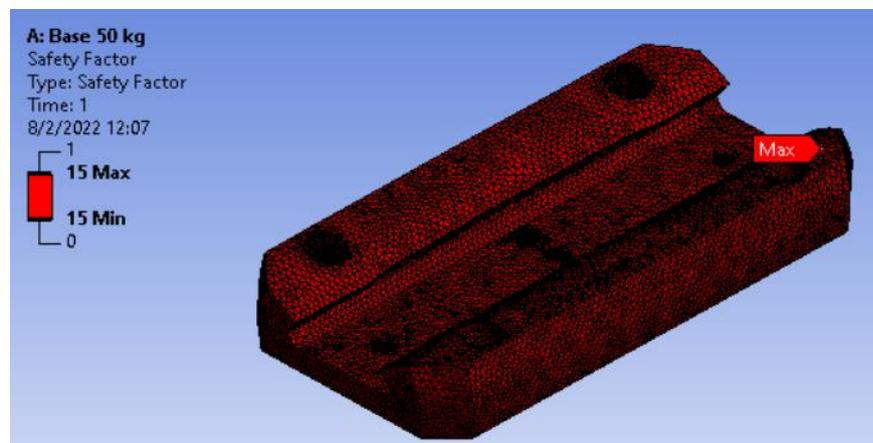


Figura 16-4 Factor de seguridad en la base a una carga de 50 Kg

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Tabla 7-4: Valores de deformación, esfuerzo y factor de seguridad en la base

DESIGNACIÓN	VALOR	UNIDADES
Deformación	0,99	mm
Esfuerzo equivalente de Von Mises	0,18	MPA
Factor de seguridad	15	----

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Como se puede observar en los valores anteriores no tendrá un esfuerzo y deformación representativa debido a las altas propiedades mecánicas que posee el elemento, además tendrá un factor de seguridad de 15 por lo cual el elemento tendrá vida infinita y no fallará en condiciones de operación.

4.4.3. Análisis de la base

4.4.3.1. Mallado

Una vez configurado los controladores tanto globales como locales se obtuvo como resultado lo siguiente:

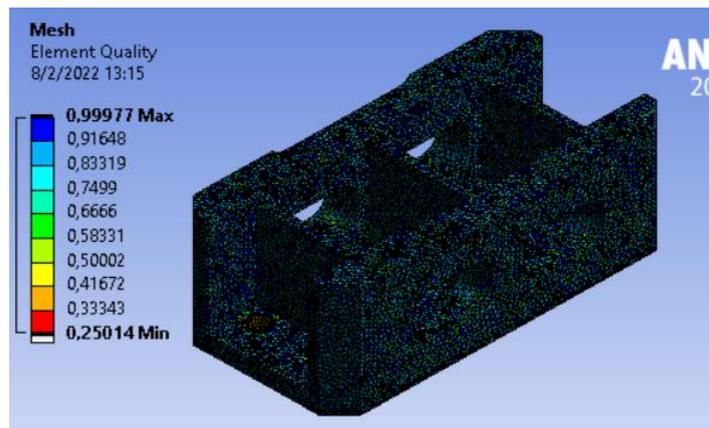


Figura 17-4: Mallado final del accesorio.

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Como se puede observar en la figura 26-3 se obtuvo como mínimo un 0.2501 el cual está dentro del valor mínimo establecido para análisis estructural. Además, el promedio de malla debe ser mayor o igual a 0.8 planteado en average y con una calidad mínima de 0.2, como se representa en el gráfico 13-3.

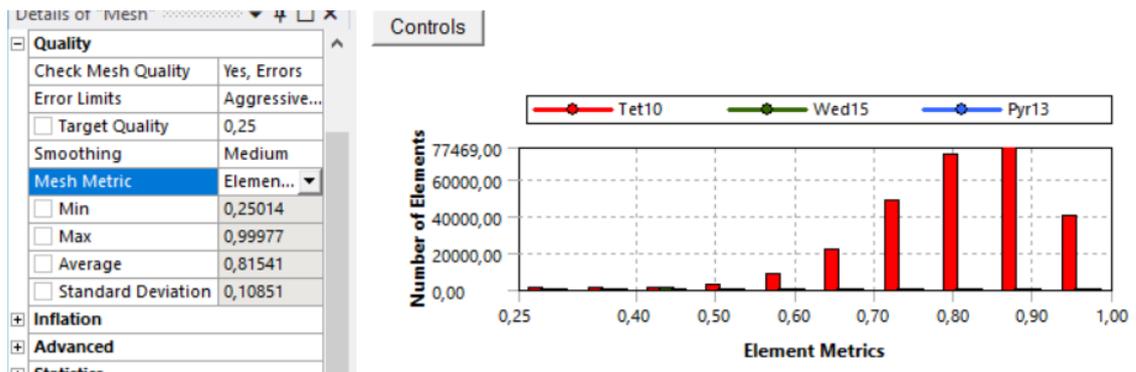


Gráfico 4-4: Diagrama de barras de los valores de mallado en relación al número de elementos generados en la misma.

Realizado por: Moreta Christian, 2022

4.4.3.2. Análisis de resultados

Una vez realizado toda la configuración correspondiente planteado en el capítulo 3 se obtiene los siguientes resultados:

Deformación total en el accesorio

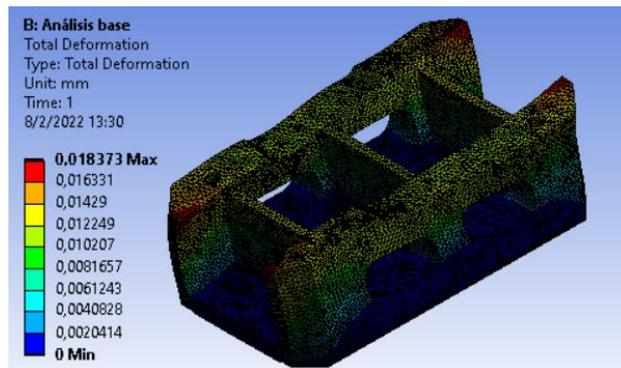


Figura 18-4: Deformación máxima en la base alta

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Esfuerzo equivalente de Von-Mises

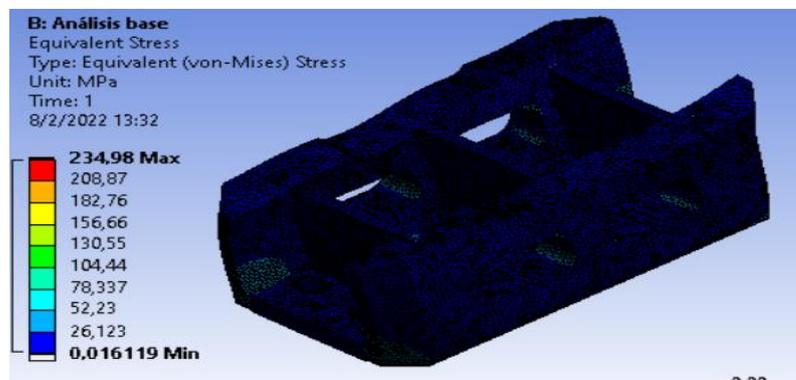


Figura 19-4: Esfuerzo equivalente máximo y mínimo en la base alta

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Factor de seguridad

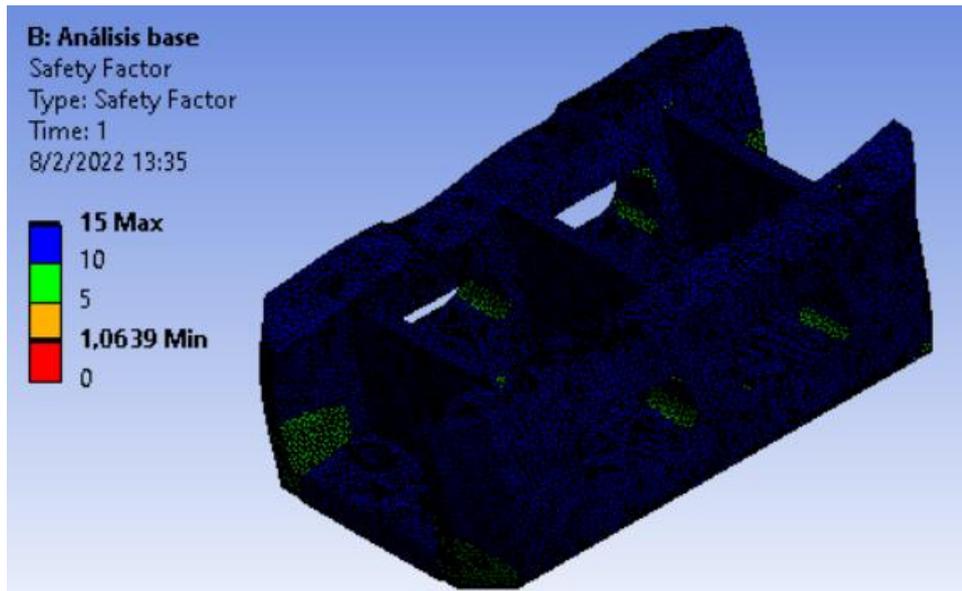


Figura 20-4: Factor de seguridad en el elemento

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Tabla 8-4: Valores de deformación, esfuerzo y factor de seguridad

DESIGNACIÓN	VALOR	UNIDADES
Deformación	0,018	mm
Esfuerzo equivalente de Von Mises	234,98	MPA
Factor de seguridad	1,06	----

Realizado por: Moreta Christian, 2022

Como se observa se obtuvo un factor de seguridad de 1,06 lo que significa que nuestro accesorio tendrá vida infinita y cumplirá con los requerimientos de construcción y funcionamiento.

4.5. Impresión 3D

Una vez configurado de manera correcta la impresora 3D Ender 3 pro se obtuvo como resultado lo siguiente:



Figura 21-4: Accesorio de sujeción M125X200XZ

Realizado por: Moreta Christian, 2022

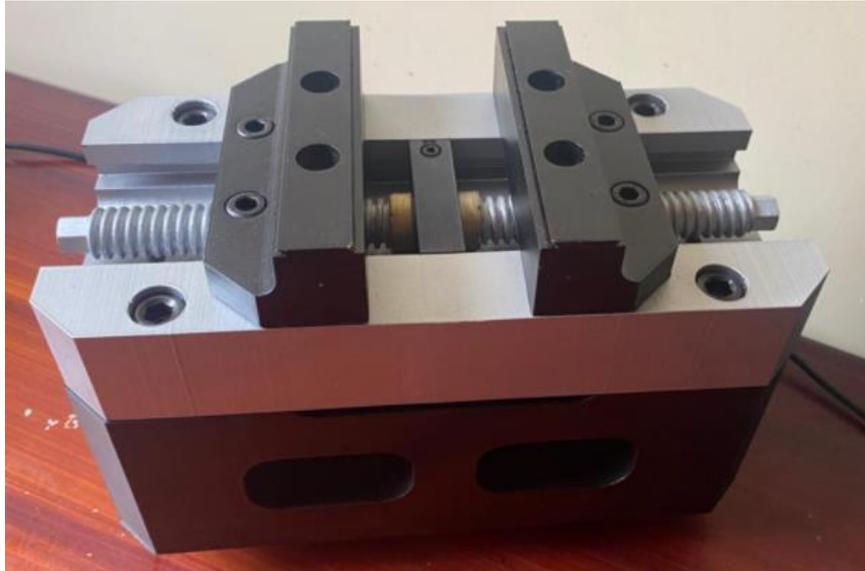


Figura 22-4: Ensamble total del accesorio de sujeción M125X200XZ

Realizado por: Moreta Christian, 2022

CONCLUSIONES

- Frente a la investigación sistemática del tema, se estableció los diferentes tipos de accesorios de sujeción de materia prima a mecanizar y como mejora la eficiencia cuando se los utiliza de manera adecuada, permitiendo así, realizar piezas de alta complejidad dentro del CNC de cinco ejes. Por consiguiente, este es un factor importante para el diseño y análisis de dicho sistema.
- Al realizar la metodología QFD, se concluye que, para una mejor sujeción de las piezas, en el centro de mecanizado marca ROMI de cinco ejes, el mecanismo de un tornillo de potencia es el más adecuado, si se toma en cuenta el costo, mantenimiento y montaje en comparación con otros sistemas.
- Mediante la utilización de SolidWorks, se consiguió una mayor seguridad en el diseño, así como también, este fue un paso requerido para la simulación en ANSYS. En este último se obtuvo un factor de seguridad de 1,08 en condiciones de operación extremas, por lo que se concluye que el accesorio cumplió con los parámetros de diseño, así como también con la eficacia requerida.
- En última instancia mediante la impresión 3D del modelo M125X200XZ, se comprobó las dimensiones de diseño y tolerancias aplicadas al modelo, así como también su funcionamiento, además se comprobó los ajustes y tolerancia aplicados en los elementos de unión.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda un análisis mef específico bajo las condiciones establecidas, que permita conocer correctamente los parámetros de diseño del accesorio de sujeción M125X200XZ, puesto que son factores que influyen directamente en el dimensionamiento en base a la estabilidad y el diseño conceptual, conjuntamente desarrollado mediante la voz del usuario e ingeniero, con el fin de mejorar la eficiencia del accesorio tanto en su simulación, impresión y futura construcción.
- Es recomendable que, para futuros trabajos de referencia, se analice a mayor profundidad los tipos de pedestales de sujeción, puesto que es un factor que aumenta la eficiencia y disminuye el tiempo de mecanizado de la materia prima, así como también garantiza un trabajo de calidad y permite la realización de piezas complejas.
- Desarrollar el diseño, la simulación, impresión y su construcción en base a ensayos con carga y sin carga de trabajo, que satisfaga los requerimientos básicos de las condiciones de esfuerzos y deformaciones, para de esta manera en el caso de que exista fallo, mejorar sus características y tecnología, con el fin de obtener un accesorio más económico, pero sin dejar de lado la eficiencia y calidad del mismo.
- Cuando se vaya a trabajar con impresión 3D, tomar en cuenta una sobre tolerancia de +- 0.1 puesto que como es un material termofluente, tiende a expandirse y al momento de ensamblar las piezas da problemas de montaje, por lo cual se debe tomar en consideración dicha recomendación, para tener un ensamble adecuado y preciso.

BIBLIOGRAFÍA

3DNATIVES. *TOP 10 con los mejores softwares CAD para todos los niveles*. 2022. [Consulta: 2021-11-12]. Disponible en: <https://www.3dnatives.com/es/mejores-softwares-cad-programa-180320192/#!>

ANDRADE, Pavel. *El uso e influencia de la tecnología CNC en la producción artística contemporánea del Ecuador*. 2016. [Consulta: 2021-15-10]. [UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/7845>

AXIS, 5th. *Prensa Autocentrante Chica – 5th Axis*. s.f. [Consulta: 2021-15-12]. Disponible en: <https://5thaxis.com/producto/v75100x-2/?lang=es>

BUFU, Ervin. *Diseño de mordaza con diámetro de sujeción variable*. 2021. [Consulta: 2022-22-02]. [UNIVERSIDAD DE CANTABRIA]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/22075>

CASTAÑO, Marylin & **HENAO**, Juan. *Documentación del mantenimiento y la fabricación en el Centro de Mecanizado CNC de 5 ejes del Laboratorio de Simulación, modelamiento y prototipos de Parque I*. 2017. [Consulta: 2021-15-12]. Disponible en: <https://repositorio.itm.edu.co/handle/20.500.12622/106>

CASTRO, Keops & **REYES**, Luis. *Fabricación de moldes de inyección de plásticos por medio de CAD/CAM/CAE : análisis de las variables asociadas a la reparación y fabricación de moldes de inyección de plásticos*. 2019. [Consulta: 2021-25-12]. [ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA ITCA-FEPADE]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10972/4026>

CORDOBA, Ernesto. *DISPOSITIVOS DE SUJECION PARA MAQUINAS HERRAMIENTAS CNC*. 1991. Disponible en: https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/4813/1/dispositivos_sujecion_maquinas_herramientas_CNC.PDF

CORPORATION, Mazak. *Mazak Los líderes en la fabricación de soluciones tecnológicas avanzadas incluyendo Multitareas, Multitareas HÍBRIDAS, 5 ejes, fresado, torneado, controles CNC y automatización*. 2022. Disponible en: <https://www.mazakusa.com/es/machines/process/horizontal/>

CORPORATION, MecSoft. *FreeMILL for Rhino - Free CAM Software in Rhino | MecSoft Corporation*. s.f. [Consulta: 2021-25-12]. Disponible en: <https://mecsoft.com/freemill-for-rhino/>

EVOLVED 5thAXIS, Workholding. Volume 4. *Human Rights Law Review*, 4(2), 375–375. 2004. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/hrlr/4.2.375>

FONSECA, John & **AHUMADA**, Oscar. *Análisis y selección de dispositivos de sujeción utilizados para la fabricación de piezas en procesos de mecanizado: tornos y máquinas fresadoras CNC - hdl:11349/27756*. 2021. [Consulta: 2022-02-02]. Disponible en: [Universidad Distrital Francisco José De Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/27756>

JEFFUS, Larry. *Soldadura. Principios y aplicaciones - JEFFUS, LARRY - Google Libros (USA)*.

2009. Disponible en:
https://books.google.com.ec/books?id=rHynAxzh0iEC&printsec=frontcover&hl=es&source=gb_s_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- JORQUERA**, Adam. *Fabricación digital: introducción al modelado e impresión 3D* (C. y D. de E. Ministerio de Educación (ed.); Aula Mento). 2017. Disponible en:
<https://www.digitialipublishing.com/a/56233/fabricacion-digital--introduccion-al-modelado-e-impresion-3d>
- LLP**, AutoFEM Software. *Comparación CAE*. 2018. Disponible en:
<https://autofem.com/es/acerca-de-autofem/comparison.html>
- MENDIETA**, Diana. *Manual de prácticas básicas del centro de mecanizado Vertical CNC HAAS VF2 - CORE*. 2013. [UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA]. Disponible en:
<https://core.ac.uk/works/41301795>
- NORELEM**. *Dispositivo de sujeción de 5 ejes*. s.f. [Consulta: 2021-25-12]
- REYES**, Yamid. *Desarrollo de procedimiento para la generación, simulación y verificación de maquinado en centro de mecanizado CNC Multiejes Técnica 4+1 y su aplicación en montaje experimental*. 2014. [UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS]. Disponible en:
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/2837>
- ROMI**. *LÍNEA ROMI DCM 620*. 2016. Disponible en: https://www.romi.com/wp-content/uploads/2016/02/cat_romi_dcm620_es_aj_01_-_062016_baixa.pdf
- TELLO**, Mario. *Centro Mecanizado CNC, y el Proceso de Formación Profesional de los estudiantes de Mecánica de Producción en la Facultad de Tecnología de la Universidad Nacional de Educación*. 2019. [UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN Enrique Guzmán y Valle ALMA MATER DEL MAGISTERIO NACIONAL]. Disponible en:
<https://repositorio.une.edu.pe/handle/UNE/3117>

ANEXOS

ANEXO A: Mordaza V510X marca “5th AXIS”

V510X Metric



Size: 125.7mm x 254mm x 73.6mm

Jaw Width: 125.7mm

Forward Jaws Clamping Range:

0 - 184.7mm

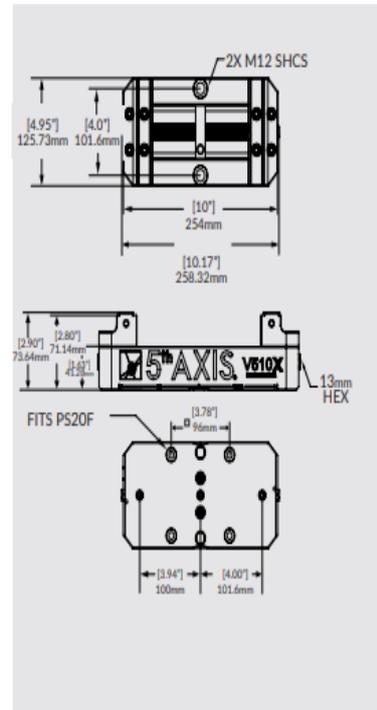
Reverse Jaws Clamping Range:

60.3mm - 234.7mm

Clamping Force: 25.1 kN @ 75 Nm

Torque Vise Assembly: 75 Nm

The V510X has all of the robust features of the V562X with the added clamping range. With 234mm of clamping range, the V510X is a perfect fit for shops looking for a small footprint vise with a larger clamping range. The V510X is built from hardened and ground 4100 series steel to ensure accuracy and repeatability.



41300

Dispositivo de sujeción de 5 ejes compacto

Mordaza de sujeción con acabado natural



Material:
Placas de base y mordazas de acero de cementación.
Mordaza de sujeción de acero para herramientas.

Versión:
Mordaza bruñida.
Mordaza de sujeción con acabado natural.

Ejemplo de pedido:
n°m 41300-124000901500

Indicación:
Gracias a la facilidad de manejo y al ajuste rápido con escala, las mordazas de sujeción se pueden adaptar a nuevas piezas de trabajo de forma rápida y segura. La pieza de trabajo siempre queda centrada gracias a la estructura simétrica del dispositivo de sujeción de 5 ejes.
La excelente accesibilidad a la pieza de trabajo permite instalar herramientas estándar cortas. De este modo, los gastos en herramientas se reducen considerablemente.

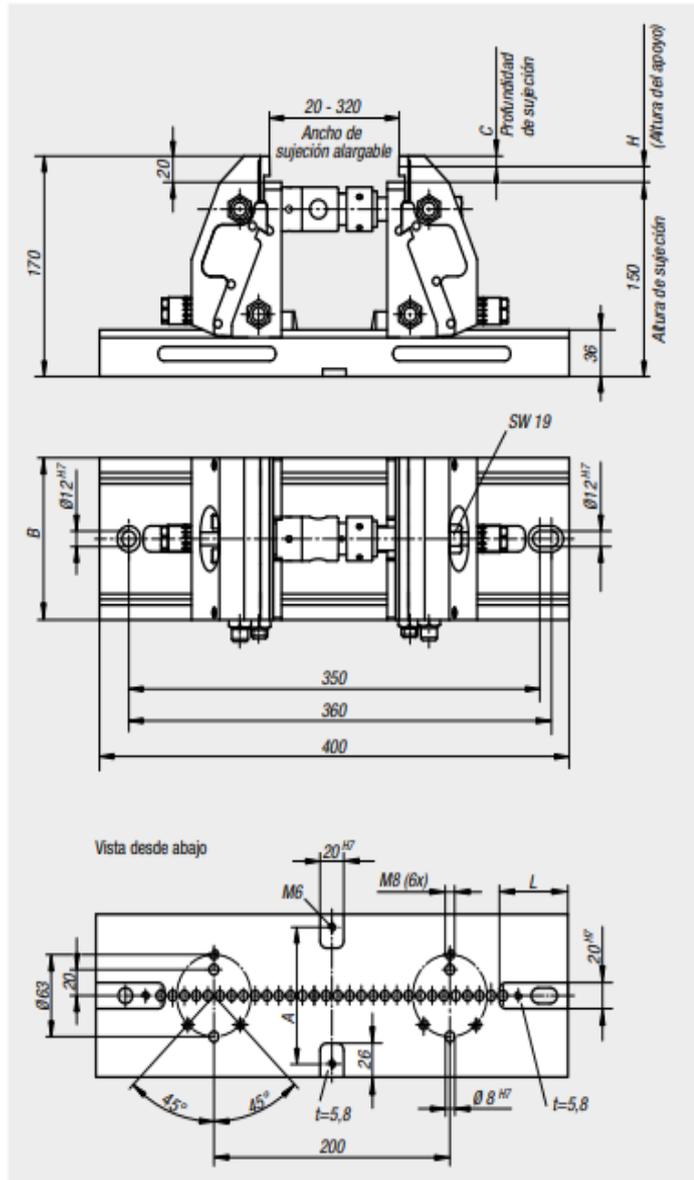
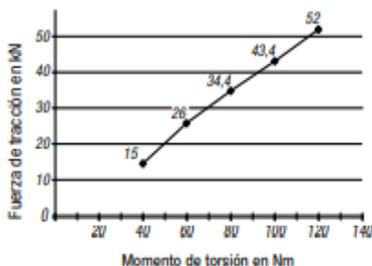
Se admiten anchos de sujeción de 20 mm a 320 mm.

Montaje:
El dispositivo de sujeción de 5 ejes compacto se puede montar en mesas con ranuras en T, sistemas de retícula y, con una brida del adaptador, en los sistemas de sujeción de punto cero habituales.

Accesorios:
Apoyos 41345
Mordaza de sujeción 41320
Mordaza pendular 41325
Mordaza intermedia 41335
Acoplamiento para sujeción en cruz 41365

Pedir el apoyo y la mordaza de sujeción con pernos por separado.

Fuerza de tracción del dispositivo de sujeción de 5 ejes compacto



Referencia	A	B	C	H	L	Fuerza de tracción máx. kN	Tornillo de ajuste correspondiente
41300-124000901500	70	90	8/3	120/1	57,5	52	U/53J-120bb
41300-124001251500	105	125	8/3	120/1	58	52	U/53J-120bb

TABLA DE REQUERIMIENTOS DEL USUARIO			VOZ DEL INGENIERO													VOZ DEL USUARIO													
COSTOS	VOZ DEL USUARIO	Prioridad	Durabilidad	Materiales a utilizar de acuerdo a sus propiedades	Possibilidad de modificaciones	Possibilidad de montaje de varias piezas	Intercambiabilidad	Mínimo error en el mecanizado	Modularidad	Possibilidad de automatización	Colocación y basamiento	Universalidad	Precisión	Reducción del tiempo de trabajo	Agarre seguro	Rigidez para evitar vibraciones	Facilidad de reparotramiento	Garantía de cierre del anillo de fuerzas	A	B	C	D	E	F	G	H	I		
			Color.	B	O																	2	5	3	3	1,50	1,2	2	3,60
Materiales de fabricación.	E	O	☑					○	○	☑	○	○	○	○	○	☑	○	○	4	5	4	5	1,25	1,5	5	9,38	9,1%		
Fabricación del producto.	O	O	☑	○		○	☑	○	○	○	○	○	○	○	-	-	○	○	4	5	4	5	1,25	1,2	5	7,50	7,3%		
FUNCIONALIDAD	Dimensiones.	E	-		○	☑	○	○	○	-	○	☑	-	-	-	○	-	☑	4	5	4	4	1,00	1,5	5	7,50	7,3%		
	Accesibilidad .	E			○	☑	☑	-	○	○		○					☑		4	5	5	4	1,00	1,2	4	4,80	4,7%		
	Capacidad de carga.	O			☑	○	☑		○		○				-			○	4	5	4	4	1,00	1,5	5	7,50	7,3%		
	Peso propio.	O			☑		☑		☑		○	○					○	○	-	5	4	3	5	1,00	1,2	5	6,00	5,8%	
	Durabilidad.	E	☑	☑	-								-					○		4	5	4	5	1,25	1,5	4	7,50	7,3%	
	Montaje y desmontaje.	B				☑	☑		○	-	☑	○	-	○				○		4	5	4	5	1,25	1,5	4	7,50	7,3%	
	OPERACIÓN	Alcance.	O		○	○	○	○	○	○	○	○	☑					☑		5	5	4	5	1,00	1,2	5	6,00	5,8%	
Control de sujeción		O			○	○	-	☑	○		○	☑		☑	○	○	○	☑	4	5	5	5	1,25	1,2	4	6,00	5,8%		
Reducción del tiempo de trabajo.		E					○	-					-	☑					4	5	4	4	1,00	1	4	4,00	3,9%		
SEGURIDAD	Sujeción de la materia prima.	O			-	○		☑		○		○	☑		☑	○		☑	5	5	5	5	1,00	1,2	5	6,00	5,8%		
	Sujeción del accesorio a la bancada.	O		○	☑	○	○		○	-	○	○	☑		☑	☑		☑	4	5	4	4	1,00	1,2	4	4,80	4,7%		
	Rigidez.	E		☑	-	○		○	○		-		○		○	☑	☑	☑	5	5	4	5	1,00	1,5	5	7,50	7,3%		
	Evitar vibraciones	E		○				○	○		○				○	☑		☑	5	5	5	5	1,00	1,5	5	7,50	7,3%		
103,08																												100%	

Valor	Durabilidad	Materiales a utilizar de acuerdo a sus propiedades	Possibilidad de modificaciones	Possibilidad de montaje de varias piezas	Intercambiabilidad	Mínimo error en el mecanizado	Modularidad	Possibilidad de automatización	Colocación y basamiento	Universalidad	Precisión	Reducción del tiempo de trabajo	Agarre seguro	Rigidez para evitar vibraciones	Facilidad de reparotramiento	Garantía de cierre del anillo de fuerzas	
Diseño propuesto	5	5	4	4	5	5	4	4	4	4	5	4	4	2	5	4	
Proveedor principal	5	5	3	4	5	5	4	5	3	4	5	5	5	3	5	5	
Proveedor secundaria	5	5	3	4	5	5	4	5	4	5	4	4	4	5	1	5	
Incidencia	113,9	463,28	182,1	390,6	206,1	203,4	317,9	110,7	281,775	284,9	288,3	81	239,3	346,6	275,7	410,325	4196
Incidencia %	2,7%	11,0%	4,3%	9,3%	4,9%	4,8%	7,6%	2,6%	6,7%	6,8%	6,9%	1,9%	5,7%	8,3%	6,6%	9,8%	100%

Evaluación Técnica	Evaluación Técnica	
	Proveedor Secundario	Proveedor Principal
Valores objetivos	Buena	Excelente
Duraluminio	Acero para herramientas	Acero endurecido y recificado de la serie 4100
Normal	Normal	Elevado
Normal	Básico	Excelente
Buena	Limitada	Excelente
95%	90%	100%
Cumple	Cumple	Cumple
Aceptable	Limitada	Limitada
Mediante pernos	Mediante pernos	Mediante pernos
Cumple	Cumple	Cumple
Buena	Buena	Excelente
SI	SI	SI
SI	SI	SI
Buena	Buena	Excelente
Cumple	Cumple	Cumple
SI	SI	SI

ANEXO D: Propiedades mecánicas de los pernos con grado 5.8

TABLAS PERNOS

Tabla 8-1
Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino*

Diámetro nominal d , mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_s , mm ²	Área del diámetro menor A_n , mm ²	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_s , mm ²	Área del diámetro menor A_n , mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1 120	1 050	2	1 260	1 230
48	5	1 470	1 380	2	1 670	1 630
56	5.5	2 030	1 910	2	2 300	2 250
64	6	2 680	2 520	2	3 030	2 980
72	6	3 460	3 280	2	3 860	3 800
80	6	4 340	4 140	1.5	4 850	4 800
90	6	5 590	5 360	2	6 100	6 020
100	6	6 990	6 740	2	7 560	7 470
110				2	9 180	9 080

Tabla 8-11
Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero*

Clase de propiedad	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima, MPa	Resistencia mínima a la tensión, MPa	Resistencia mínima a la fluencia, MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	
5.8	M5-M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono	
8.8	M16-M36	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R	
9.8	M1.6-M16	650	900	720	Acero de medio carbono, T y R	
10.9	M5-M36	830	1 040	940	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
12.9	M1.6-M36	970	1 220	1 100	Acero aleado, T y R	

* La longitud de la rosca de pernos y tornillos de cabeza es

$$L_T = \begin{cases} 2d + 6 & L \leq 125 \\ 2d + 12 & 125 < L \leq 200 \\ 2d + 25 & L > 200 \end{cases}$$

donde L es la longitud del perno. La longitud de la rosca de pernos estructurales es ligeramente menor que la indicada.

* Las resistencias mínimas son las resistencias que exceden 99 por ciento de los sujetadores.

ANEXO F: Propiedades mecánicas del materia ASTM A36

Propiedades Mecánicas del Acero A36

La lista a continuación resume las propiedades mecánicas del acero A36, como el módulo de elasticidad (módulo de Young), el módulo de corte, la resistencia a la tracción máxima, el límite elástico, la dureza Brinell, etc.

Propiedades Mecánicas		Notas
Resistencia a la tracción, MPa (ksi)	400-550 (58-80)	Placas de acero, formas y barras
Límite elástico (Esfuerzo de fluencia), MPa (ksi), \geq	250 (36)	Espesor \leq 200mm (8 pulg.)
	220 (32)	Espesor de placas de acero > 200mm (8 pulg.)
Elongación, %, \geq	20	Placas y barras en 200 mm (8 pulg.)
	23	Placas y barras en 50 mm (2 pulg.)
Dureza Brinell, HBW	119-162	Basado en la conversión de resistencia a la tracción
Módulo de elasticidad, GPa (ksi)	200 (29×10^3)	—
Prueba de impacto Charpy con muesca en V, J (ft·lb), \geq	27 (20)	Formas estructurales, ubicación alternativa del núcleo
Módulo de corte, GPa (ksi)	79.3 (11.5×10^3)	—
Fy del acero A36 (Límite de fluencia), MPa (ksi), \geq	250 (36)	—

ANEXO G: Propiedades mecánicas del materia AISI 1018

1018 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE TEEL Y ESPECIFICACIONES RELACIONADAS

Calificación	C	Si	Minnesota	PAG	S
1018	0.15-0.20	0.2-0.4	0.60-0.90	≤ 0,04	≤ 0,05

Alemania	Reino Unido	porcelana	Japón
C15 / 1.0401	080A15	15#	S15C

1018 STEEL PROPIEDAD MECÁNICA

Acabado de superficie	Resistencia a la tracción Mpa	Fuerza de producción Mpa	Alargamiento, %	Dureza, HB
Dibujado brillante	430 - 750	340 - 600	≥ 12	120 - 220
Suave torneado	410 - 560	230 - 330	≥22	120 - 170

FORJA DE ACERO AISI 1018

Calentar a 1150 ° C - 1280 ° C

Mantenga hasta uniforme

Temperatura mínima de forja 900 ° C

ANEXO H: Propiedades mecánicas del materia ASTM A131 GRADO A

Propiedades mecánicas:

Mínimo Límite Elástico:235MPa

Mínima Resistencia a la Tensión:400MPa

Elongación: mín. 24%

Dureza: 120-140HB

Aplicaciones:

Construcción y reparaciones navales, puertos, barcos, barcasas, entre otras.

ANEXO I: Propiedades mecánicas del cobre

3- Propiedades mecánicas

3.1- Resistencia mecánica

En la siguiente tabla se recogen las propiedades mecánicas de resistencia del cobre, según los distintos estados de tratamiento a que sea sometido:

Características Mecánicas del Cobre			
Estado	Resistencia a la tracción, kg/mm ²	Límite elástico, kg/mm ²	Alargamiento en la rotura, %
Fundido	15 - 22	-	25 - 15
Recocido	21 - 24	9	46 - 47
Templado	37 - 41	36	5 - 6

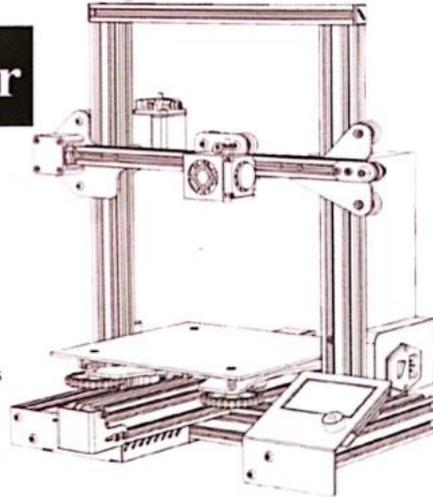
Tabla 2. [Características](#) Mecánicas del Cobre

ANEXO J: Características de la impresora marca “ENDER-3 PRO”



Ender-3 Pro 3D Printer

Instructions for assembly



V.2.1

- ◆ This guide is for the Ender-3 Pro 3D Printer.
- ◆ Select the correct input voltage to match your local mains (230V or 115V).
- ◆ Because of software/hardware upgrades and model differences, new revisions may not be listed in this guide.
- ◆ Please plug the Power cord into a three-hole power jack.
- ◆ Detailed instructions for use are available in the TF card.
- ◆ This machine is equipped with a security protection mechanism. Do not manually move the nozzle and printing platform mechanism manually while booting up, otherwise the device will automatically power off for safety!

Basic Parameters

Model	Ender-3 Pro	Working Mode	Online or TF card offline
Molding Tech.	FDM	File Format	STL,OBJ,AMF
Printing Size	220*220*250mm	Slice Software	Cura, Repetier-Host ,Simplify3D
Printing Speed	≤180mm/s, Normal 30-60mm/s	Power Supply	Input:AC 115V/230V 50/60Hz Output:DC 24V
Precision	±0.1mm	Total Power	270W
Slice Thickness	0.1mm-0.4mm	Filament	1.75mm PLA
Nozzle Diameter	Standard 0.4mm	Operating System	Windows XP/Vista/7/10 MAC、Linux
Nozzle Number	1	Language	English
Nozzle Temp.	≤250°C	Resume Print	YES
Bed Temp.	≤100°C	Filament Detector	NO