

DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE UN SISTEMA
MODULAR DE MECANIZADO PARA CONTROL POR COMPUTADOR

SILVIA ALEJANDRA CAICEDO CASTELLANOS
FELIX LEONIDAS VILLAMIZAR MORANTES

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2011

DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE UN SISTEMA
MODULAR DE MECANIZADO PARA CONTROL POR COMPUTADOR

SILVIA ALEJANDRA CAICEDO CASTELLANOS
FELIX LEONIDAS VILLAMIZAR MORANTES

Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico

Director
RICARDO JAIMES ROLON
Ingeniero mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2011

DEDICATORIA

A Dios

Por darme tantas oportunidades y fuerza para realizar con bien mis metas.

A mis padres

Que siempre vieron en mí a una gran persona y que a pesar de todas las dificultades me apoyaron incondicionalmente durante todos mis proyectos, especialmente en este.

A Félix mi amor

Por ser siempre incondicional, mi apoyo y por ser la persona más importante que ha tocado a mi puerta durante esta bella etapa de mi vida

A mis familiares, profesores y amigos

Especialmente a Sebas Meyer por ser un amigo incondicional durante toda la carrera.

Silvia

DEDICATORIA

Se lo dedico a Dios

Por todos los días de mi vida en especial los días en que realice este proyecto, pues él me dio la fortaleza necesaria para poder lograrlo pero sobre todo los medios y las personas que puso en mi camino y porque cada día sé que estuvo al lado mío.

A mi familia

Por el apoyo constante que siempre han tenido conmigo y porque siempre tuvieron fe en mi desde siempre, en especial a mis padres y mi tía Vidalia por todo el apoyo económico y moral que me dieron.

A Silvia

Por ser mi compañera incondicional y siempre estar al lado mío en los momentos más difíciles en la realización de este proyecto, por todo el amor y apoyo que me dio todos los días para poder lograr esta meta juntos y que siga siendo así en las que nos quedan por lograr.

A profesores y amigos

Félix

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias y amigos

A Ricardo Jaimes Rolon, ingeniero mecánico, director de proyecto por el apoyo y asesoría durante la realización de todo este proyecto.

A todos los profesores y compañeros y cuerpo administrativo de la escuela de ingeniería mecánica que nos regalaron un poquito de sabiduría, amistad, alegrías y tristezas durante toda la carrera.

Silvia Alejandra Caicedo Castellanos

Félix L. Villamizar Morantes

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	32
1. FORMULACION DEL PROBLEMA	35
1.1. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA	35
1.2. JUSTIFICACION DEL PROYECTO.....	37
1.3. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO	39
1.3.1. Objetivo General	39
1.3.2. Objetivos específicos	39
2. GENERALIDADES SOBRE EL MECANIZADO POR COMPUTADOR .	42
2.1. CONTROL AUTOMATICO DE LAS MAQUINAS HERRAMIENTA EN LA HISTORIA.....	42
2.2. EL CONTROL NUMERICO	44
2.3. EL CÓDIGO G	45
2.4. OTROS CODIGOS DE MECANIZADO	46
3. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO	48
3.1. SISTEMA DE POTENCIA.....	48
3.2. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA.....	50
3.3. SISTEMA DE SOPORTE LINEAL	52
3.4. SISTEMA DE CONTROL DE POSICIÓN POR COMPUTADORA ..	55
4. DISEÑO METODOLÓGICO DEL PROYECTO	60
4.1. DESARROLLO CONCEPTUAL DEL PROTOTIPO.....	60
4.1.1. Bocetos a mano alzada.....	61
• Módulos:.....	61

•	Ensamble básico de montaje:.....	62
•	posible montaje para torneado:	62
•	ensamble del motor al módulo :.....	63
•	algunos componentes del sistema modular:.....	64
4.1.2.	Bocetos en CAD Solid Works.....	65
•	rieles de extensión.....	65
•	primer bosquejo modulo deslizante	66
•	montaje para torno	66
•	montaje para fresado.....	67
•	montaje para hilo caliente.....	67
4.1.3.	Esquema de lo que será la conexión del sistema de control.....	68
4.2	SISTEMAS SELECCIONADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.....	70
4.3	PRIMER PROTOTIPADO DEL SISTEMA MODULAR	74
4.3.1	mesa deslizante	74
4.3.2	modulo motriz.....	75
4.3.3	conexión entre módulos	75
4.3.4	montaje entre dos módulos motrices de madera	76
4.4	MATERIAL A MECANIZAR POR EL SISTEMA MODULAR.....	77
4.4.1	aluminio.....	77
4.5	DESCRIPCIÓN DETALLADA LA SOLUCIÓN.....	78
4.5.1	Sistema físico del sistema modular CAD.....	79
✓	módulos.....	79
✓	Estructura soporte	86

✓ Piezas de acople de herramienta de corte para los diferentes montajes de mecanizado.....	88
4.5.2 Ensamblés posibles	91
• Ensamblés posibles de torno.....	91
4.5.3 ensamblés finales de las diferentes configuraciones de mecanizado	94
• montaje torno seleccionado.....	94
• montaje fresa seleccionado	95
• montaje hilo caliente seleccionado	96
4.5.4 Sistema de control.....	100
• tarjeta de potencia	100
• fuente de alimentación	101
• Software mach 3.....	101
• software CAM (MASTERCAM Y ARTCAM) posibles a utilizar por el usuario.....	104
4.6 FUERZAS INVOLUCRADAS EN CADA UNO DE LOS MONTAJES SELECCIONADOS	106
4.6.1 En el torneado.....	106
4.6.2 en el fresado	108
4.6.3 en el corte de hilo caliente.....	109
4.7 CALCULO DE LAS FUERZAS PRESENTES EN LA HERRAMIENTA PARA LOS PRINCIPALES MÉTODOS DE REMOCIÓN DE MATERIAL	111
4.7.1 Cálculo de las fuerzas según diferentes autores.....	111
• Según: Problemas y ejemplos de corte de metales y herramientas de corte. N. Nefiodov.....	111

• Según: teoría y práctica de las herramientas de corte. BLANPAIN, Eduardo.....	119
• Según: Calculo de las fuerzas según la influencia de la sección de la viruta según Kronenberg	127
• según Taylor.....	130
4.7.2 Selección de las fuerza de corte para diseño.....	131
• Recopilación de todas las fuerzas de corte	131
• Seleccionando las mayores fuerzas	133
4.8 DETERMINACION DEL FACTOR DE SEGURIDAD UTILIZADO PARA TODO EL DISEÑO	135
4.9 SELECCIÓN DE ELEMENTOS DEL SISTEMA MODULAR Y VERIFICACION DE LAS SELECCIONES.....	137
4.9.1 Calculo del diámetro mínimo de raíz del tornillo de potencia para soportar la carga de corte máxima	137
4.9.2 Verificación del diámetro del tornillo por esfuerzos en el filete.	141
4.9.3 Evaluación de las condiciones de pandeo del tornillo para la mayor carga axial	143
4.9.4 Selección de motores.....	147
• Calculo del torque necesario para la carga máxima de mecanizado	147
• Datos de los motores paso a paso seleccionados.....	152
4.9.5 Selección de rodamientos	152
• Selección de rodamientos según las cargas a soportar	153
• Calculo de la vida útil de los rodamientos	161

4.10	ANALISIS DE ESFUERZOS CAE EN EL SISTEMA MODULAR	
	164	
5	RESULTADOS	173
5.1	SECUENCIA DE FABRICACIÓN DEL SISTEMA MODULAR.....	173
5.1.1.	montaje de torno	181
5.1.2.	montaje de fresa.....	183
5.1.3.	montaje de corte por hilo.....	186
5.1.4.	montaje de la parte de control.....	188
5.2.	PRUEBAS REALIZADAS POR EL SISTEMA MODULAR.....	191
5.2.1.	prueba de torno.....	191
5.2.2.	prueba corte de icopor hilo caliente.....	197
5.2.3.	prueba de fresado	201
5.3.	PRUEBA DE EXACTITUD DE MOVIMIENTO DEL SISTEMA MODULAR.	205
5.4.	TIEMPOS DE MECANIZADO PARA LAS PIEZAS REALIZADAS POR EL SISTEMA MODULAR.....	209
5.5.	MANUAL DEL USUARIO.....	214
5.6.	FICHA TÉCNICA DEL SISTEMA MODULAR.....	216
5.7.	FICHA DE COSTOS Y PROVEEDORES	220
6.	CONCLUSIONES.....	223
7.	RECOMENDACIONES.....	225
8.	REFERENCIAS	226
9.	BIBLIOGRAFIA.....	227
	ANEXOS.....	229

LISTA DE TABLAS

.Tabla 1. Comandos principales del código G	45
Tabla 2. Elección del diámetro (D) y el número de dientes (d) de una fresa según el ancho de la pasada.	124
Tabla 3. Factor $\frac{S}{E_{k\epsilon}\sqrt{S}}$ para el corte de acero.....	128
Tabla 4. Factores utilizados para determinar un factor de seguridad para materiales dúctiles.	135
Tabla 5. Factores de longitud efectiva, según la condición terminal de la columna.	144
Tabla 6. Coeficiente de fricción para rodamiento de bolas.	150
Tabla 7. Selección de rodamientos SKF.....	154
Tabla 8. Tabla de selección de tolerancia.....	158

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Propiedades mecánicas el aluminio.....	77
Cuadro 2. Ventajas de desventajas del montaje número uno de torno.....	92
Cuadro 3. Ventajas de desventajas del montaje número dos de torno.....	92
Cuadro 4. Ventajas de desventajas del montaje número tres de torno.....	93
Cuadro 5. Operaciones posibles de MASTERCAM.....	105
Cuadro 6. Datos del problema.....	112
Cuadro 7. Datos para el cálculo de fuerzas en el torneado.....	115
Cuadro 8. Constantes seleccionadas respecto a las condiciones de corte del torneado.....	116
Cuadro 9. Datos de torneado necesarios.....	120
Cuadro 10. Datos para el cálculo de fuerzas en el taladrado Blanpain.....	121
Cuadro 11. Datos para cálculo fuerzas en el fresado.....	124
Cuadro 12. Valores de C_{ks} en $\left[\frac{Kgf}{mm^2}\right]$	127
Cuadro 13. Comparación de las fuerzas calculadas.....	131
Cuadro 14. Datos del tornillo.....	138
Cuadro 15. Momento de inercia y área de una circunferencia.....	145
Cuadro 16. Datos necesarios para el cálculo.....	148
Cuadro 17. Características mecánicas del rodamiento 6201.....	155

Cuadro 18. Características mecánicas del rodamiento 5201.....	156
Cuadro 19. Calculo del tipo de tolerancia.	158
Cuadro 20. Fuerzas y momentos máximos soportados por el modulo motriz.	171
Cuadro 21. Comparación de las dimensiones mecanizadas con las diseñadas.	206
Cuadro 22. Comparación de las medidas.....	208
Cuadro 23. Tiempos de mecanizado de las pruebas.....	213

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diseño del sistema modular de mecanizado.	36
Figura 2. Idealización de la funcionalidad del sistema.	38
Figura 3. Instrucciones alfa numéricas de control.	44
Figura 4. Estructura básica de un servomotor.	49
Figura 5. Moto reductor.	49
Figura 6. Motores paso a paso.	50
Figura 7. Tornillos de potencia de bolas re circulantes.	51
Figura 8. Rieles de deslizamiento.	52
Figura 9. Riel de extensión telescópico.	53
Figura 10. Guías de bolas re circulantes.	54
Figura 11. Rieles por roldanas.	54
Figura 12. Interfaz del software Artcam.	56
Figura 13. Interfaz gráfica MasterCam.	56
Figura 14. Interfaz gráfica del Jedicut.	57
Figura 15. Tarjetas de control lazo abierto para motores paso a paso.	58
Figura 16. Tarjetas de control cerrado.	59
Figura 17. Modulo mano alzada.	61
Figura 18. Montaje característico entre módulos.	62

Figura 19. Bosquejo montaje para torneado.....	63
Figura 20. Bosquejo montaje del motor PAP.....	63
Figura 21. Bosquejo carro deslizante.....	64
Figura 22. Bosquejo de la mesa deslizante.....	65
Figura 23. Riel de extensión.....	65
Figura 24. Modulo motriz y sus partes.....	66
Figura 25. Montaje básico para torno.....	66
Figura 26. Montaje básico de fresado.....	67
Figura 27. Montaje básico de corte de hilo caliente.....	68
Figura 28. Estructura del sistema de control físico.....	69
Figura 29. Rangos motores Nema.....	70
Figura 30. Guías deslizantes telescópicas.....	71
Figura 31. Características estructurales de los rieles de extensión.....	72
Figura 32. Tarjeta de potencia seleccionada.....	73
Figura 33. Perfil estrella.....	73
Figura 34. Prototipo en madera de la mesa deslizante y dado.....	74
Figura 35. Modulo motriz en madera.....	75
Figura 36. Conexión entre los módulos de madera.....	76
Figura 37. Montaje de dos módulos madera.....	76
Figura 38. Guías lineales sterling.....	80

Figura 39. Estructura soporte de los módulos.....	81
Figura 40. Mesa deslizante.....	82
Figura 41. Mesa deslizante acoplada a los rieles de extensión.....	82
Figura 42. Lamina de acople del motor al módulo motriz.	83
Figura 43. Acople y motor paso a paso junto con la lámina.....	83
Figura 44. Tornillo de bolas re circulantes con el dado.....	84
Figura 45. Ensamble del tornillo junto pieza de acople con la mesa deslizante.....	84
Figura 46. Modulo motriz.	84
Figura 47. Modulo motriz explosionado.	85
Figura 48. Estructura soporte básico para todos los tipos de mecanizado. .	86
Figura 49. Estructura soporte montaje torno.....	87
Figura 50. Acople del porta buril en el módulo pequeño.....	88
Figura 51. Montaje de la fuente motriz en la estructura base. Torno.	89
Figura 52. Pieza de acople de la unidad motriz.	89
Figura 53. Montaje del sistema de corte con hilo caliente.	90
Figura 54. Posible montaje de torno número uno.	91
Figura 55. Posible montaje de torno número dos.	92
Figura 56. Posible montaje de torno número tres.	93
Figura 57. Montaje de torno completo.	94
Figura 58. Montaje de fresa completo.....	95

Figura 59. Montaje de corte de hilo caliente completo.....	96
Figura 60. Montaje de torno completo explosionado.	97
Figura 61. Montaje de fresa completo explosionado.....	98
Figura 62. Montaje de corte de hilo caliente completo.....	99
Figura 63. Tarjeta de potencia.	100
Figura 64. Fuente de potencia EBC.....	101
Figura 65. Interface visual del software.	102
Figura 66. Interfaz gráfica de ARTCAM pro.....	104
Figura 67. Librería de edición de herramientas MASTERCAM.....	105
Figura 68. Fuerzas presentes en el torneado.	106
Figura 69. Estado de fuerzas del montaje de torneado.	107
Figura 70. Estado de fuerzas del montaje de fresado.....	108
Figura 71. Estado de fuerzas del montaje de corte de hilo.....	109
Figura 72. Fuerzan involucradas en el taladrado.....	112
Figura 73. Grafica de fuerzas de corte para acero.....	120
Figura 74. Modelo de fuerzas en el taladrado.....	121
Figura 75. Fuerza de corte en el fresado.	123
Figura 76. Valores de los coeficientes de corrección de corte.....	125
Figura 77. Angulo de desprendimiento.	128
Figura 78. Fuerzas más grandes presentes en el fresado y taladrado.	133

Figura 79. Fuerzas más grandes presentes en el torneado.....	134
Figura 80. Estado de carga de tornillo durante el mecanizado.	137
Figura 81. Estado de cargas en el tornillo de potencia.	138
Figura 82. Fuerza en el tornillo involucrada directamente en los cálculos.	139
Figura 83. Selección del tornillo de bolas del catálogo.	140
Figura 84. Dimensiones del dado de bolas re circulantes seleccionado....	141
Figura 85. Líneas de Euler y Jhonson para columnas.	146
Figura 86. Modelo de carga para rosca cuadrada.	148
Figura 87. Tabla de motores paso a paso proporcionados TI.....	151
Figura 88. Estado de carga de los rodamientos.....	152
Figura 89. Selección del rodamiento de bolas radial y sus características mecánicas.....	155
Figura 90. Selección del rodamiento de bolas para carga combinada y sus características mecánicas.....	156
Figura 91. Dimensiones de rodamiento 6201.	157
Figura 92. Dimensiones de rodamiento 5201.	157
Figura 93. Tolerancias para el rodamiento 6201 pista interna.	159
Figura 94. Tolerancias para el rodamiento 6201 pista externa.	160
Figura 95. Tolerancias para el rodamiento 5201 pista interna.	160
Figura 96. Tolerancias para el rodamiento 5201 pista externa.	161
Figura 97. Calculo de la vida útil del rodamiento 6201.	162

Figura 98. Calculo de la vida útil del rodamiento 5201.	162
Figura 99. Figura CAD del rodamiento 6201 y 5201 respectivamente.....	163
Figura 100. CAE esfuerzos. Modulo motriz de 40 completo.	165
Figura 101. CAE deformaciones. Modulo motriz de 40 completo.	165
Figura 102. CAE esfuerzos. Modulo motriz de 80 completo.	166
Figura 103. CAE deformaciones. Modulo motriz de 80 completo.	166
Figura 104. CAE esfuerzos. Base estructural.	167
Figura 105. CAE deformaciones. Base estructural.	167
Figura 106. CAE esfuerzos. Tornillos de bolas re circulantes.....	168
Figura 107. CAE deformaciones. Tornillos de bolas re circulantes.....	168
Figura 108. CAE esfuerzos. Perfiles estrella de soporte.....	169
Figura 109. CAE deformaciones. Perfiles estrella de soporte.....	169
Figura 110. CAE esfuerzos. Platinas de unión principal entre módulos.....	170
Figura 111. CAE deformaciones. Platinas de unión principal entre módulos.	170
Figura 112. Modulo motriz con sus máximas fuerzas y momentos admisibles.	172
Figura 113. Corte de los perfiles estrella para la estructura base.	173
Figura 114. Elaboración de las L como soporte y pieza de ensamblaje para la estructura base.	173
Figura 115. Montaje de los perfiles sterling en los perfiles estrella.	173

Figura 116. Ensamble de los perfiles en los dos tipos de módulos.....	174
Figura 117. Tipo de unión de la estructura principal base.	174
Figura 118. Armado de la estructura principal base.....	174
Figura 119. Mecanizado de las placas porta rodamientos.	175
Figura 120. Ensamblaje de riel con las L de unión a la mesa deslizante.	175
Figura 121. Todos los rieles cortos ensamblados.....	175
Figura 122. Montaje de las L en los rieles con el perfil estrella.....	176
Figura 123. Mecanizado y doblado de las láminas de soporte de los motores paso a paso.	176
Figura 124. Ensamble de las placas junto con sus balineras.	177
Figura 125. Ensamble de los perfiles estrella con rieles y las placas balineras con perfiles en U.	177
Figura 126. Ensamble de los motores paso a paso en sus laminas soporte.	177
Figura 127. Ensamble del conjunto del motor paso a paso en el módulo..	178
Figura 128. Ensamble de los tornillos de potencia dentro de las balineras de los módulos.....	178
Figura 129. Ensamble completo del módulo de 40 cm.	179
Figura 130. Ensamble completo de los módulos de 80 cm.....	179
Figura 131. Ambos tipos de módulos.....	180
Figura 132. Ensamble de las mesas deslizantes en los módulos.	180
Figura 133. Ensamble de módulo de 80 cm en la estructura.	181

Figura 134. Ensamble del módulo de 40 sobre el de 80 TORNO.	181
Figura 135. Ensamble del soporte del taladro. TORNO.....	181
Figura 136. Montaje del contrapunto. TORNO.	182
Figura 137. Montaje completo de torno.	182
Figura 138. Montaje de los 3 módulos de 80 cm en la estructura FRESADO.	183
Figura 139. Montaje de los perfiles estrella soporte del módulo Z de 40 cm.	183
Figura 140. Ensamble en el montaje de FRESA.....	184
Figura 141. Montaje de la ruteadora en el módulo de 40 cm.....	184
Figura 142. Soporte de la ruteadora completo.....	184
Figura 143. Ensamble completo fresadora.	185
Figura 144. Detalle del soporte de la ruteadora.	185
Figura 145. Ensamble de la unión entra módulos en la mesa deslizante. .	186
Figura 146. Ensamble de la unión entre módulos de un módulo a otro.	186
Figura 147. Ensamble de perfil media estrella para soportar en montaje del hilo.	186
Figura 148. Esquema de sujeción del alambre de corte de icopor.	187
Figura 149. Ensamble completo de corte por hilo.....	187
Figura 150. Cables de extensión de los motores paso a paso.	188
Figura 151. Conexiones de la fuente de alimentación de 24V.....	188

Figura 152. Conectando la tarjeta de potencia al puerto paralelo.....	188
Figura 153. Finales de carrera.....	189
Figura 154. Conexión de la tarjeta de potencia a los finales de carrera. ...	189
Figura 155. Caja de conexiones finales.....	189
Figura 156. Ensamble ruteadora final junto con la parte de control y sus autores.....	190
Figura 157. Montaje de la primera pieza a mecanizar.	191
Figura 158. Cilindrando la pieza.	191
Figura 159. Pieza cilindrada.	192
Figura 160. Mapa de vectores del perfil a tornear.....	192
Figura 161. Lazycam en la creación del código G del perfil automático a tornear.	193
Figura 162. Pantallazo mecanizado del perfil en mach 3.....	193
Figura 163. Pieza base a tornear para la prueba dos.	194
Figura 164. Pieza en proceso de torneado dos.	194
Figura 165. Pieza torneada dos.....	195
Figura 166. Pieza base a tornear prueba 3.....	195
Figura 167. Pantallazo del perfil de la prueba 3.....	196
Figura 168. Proceso de torneado de la prueba tres.....	196
Figura 169. Pieza torneada en el ensayo tres.	197

Figura 170. Montaje para el funcionamiento eléctrico del corte de hilo caliente.	197
Figura 171. Pantallazo en Mach3 de la silueta a cortar.	198
Figura 172. Realizando la silueta el sistema modular.	198
Figura 173. Resultado del corte de hilo. Prueba 1.	199
Figura 174. Pantallazo de la prueba dos de corte de hilo.	199
Figura 175. Proceso de la prueba dos de corte de hilo.	200
Figura 176. Pieza terminada de la prueba dos de corte de icopor.	200
Figura 177. Pantallazo de la pieza a mecanizar en Mach 3.	201
Figura 178. Fresado en curso de la silueta MACH-MOD.	202
Figura 179. Resultado de la prueba uno de fresado.	202
Figura 180. Pantallazo de la pieza a mecanizar en Mach 3.	203
Figura 181. Fresado en curso de la prueba dos de fresado.	203
Figura 182. Resultado de la prueba dos de fresado.	204
Figura 183. Plano dimensionado del rectángulo.	205
Figura 184. Prueba en proceso y resultado.	205
Figura 185. Pieza rectangular cortada.	206
Figura 186. Diseño dimensional del corte.	207
Figura 187. Pieza mecanizada.	207
Figura 188. Medidas mecanizadas por el sistema modular.	208
Figura 189. Simulación del tiempo prueba 1 torneado.	209

Figura 190. Simulación del tiempo prueba 2 torneado.....	210
Figura 191. Simulación del tiempo prueba 3 torneado.....	210
Figura 192. Simulación del tiempo prueba 1 hilo caliente.....	211
Figura 193. Simulación del tiempo prueba 2 hilo caliente.....	211
Figura 194. Simulación del tiempo prueba 1 fresado.....	212
Figura 195. Simulación del tiempo prueba 2 fresado.....	212
Figura 196. Portada del manual de usuario de MACH-MOD.	214

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. MARCO TEÓRICO DE REFERENCIA	230
ANEXO B. COMANDOS DE CODIGO G.....	246
ANEXO C. VELOCIDADES Y AVANCES PARA MAQUINAS - HERRAMIENTAS SEGÚN MAQUINAS. CALCULOS DE TALLAR A.L. CASILLAS.....	255
ANEXO D. DATA SHEET MOTORES PASO A PASO NEMA 23.....	266
ANEXO E. CATALOGO DEL FABRICANTE DEL TORNILLO DE POTENCIA.....	270
ANEXO F. DATA SHEET TARJETA DE POTENCIA.....	275
ANEXO G. CATALOGO DE SELECCIÓN RIELES DE EXTENSION.....	287
ANEXO H. CATALOGO DE PERFILERIA DE ALUMINIO VITRAL	289
ANEXO I. DATA SHEET DE LA FUENTE DE VOLTAJE	295
ANEXO J. DATASHEET ACOPLER SELECCIONADO	296
ANEXO K. PLANOS DEL SISTEMA MODULAR	297
ANEXO L. MANUAL DEL USUARIO	323

RESUMEN

TITULO:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE UN SISTEMA MODULAR DE MECANIZADO PARA CONTROL POR COMPUTADOR*

AUTORES:

Silvia Alejandra Caicedo Castellanos
Félix Leónidas Villamizar Morantes**

PALABRAS CLAVE:

Diseño y construcción, Sistema modular, Mecanizado, Control por computador.

DESCRIPCIÓN:

El objetivo de este proyecto es diseñar y construir un prototipo de un sistema modular de mecanizado para control por computador que proporcione una opción al mercado de la industria de mecanizado, pero con la cualidad de presentar flexibilidad, entendiéndose por flexibilidad del sistema, como la cualidad de adaptarse a diferentes estilos de mecanizado.

Esta herramienta consta de tres grandes subsistemas: el sistema de módulos, el sistema de acoples en entre sí y entre herramientas, y el sistema estructural para cada montaje diseñado. Dentro de los diferentes estilos de mecanizado en los que se puede configurar el sistema modular están el fresado, torneado y corte de hilo caliente en dos ejes coordinados para icopor.

El sistema de mecanizado se diseñó y se seleccionaron sus diferentes componentes en base al cálculo de las fuerzas necesarias para el corte de aluminio, como material límite de mecanizado y el análisis de esfuerzos de estas sobre el sistema motriz y estructural de la máquina mediante herramientas informáticas de análisis de esfuerzos en estructuras (Solid Works. Cosmos) y en las temáticas aprendidas durante toda la carrera de ingeniería mecánica en línea del diseño de máquinas.

La construcción del prototipo se caracterizó por utilizar proveedores presentes fácilmente el sector y por utilizar materia prima utilizada no solo en el mercado de la manufactura, sino también en el campo estructural de mobiliarios, debido a que presentaban versatilidad y estabilidad respecto a los requerimientos del diseño propuesto en este proyecto, haciendo de todas las piezas que lo componen, piezas de fácil intercambio.

Igualmente se presenta en el proyecto, manual del usuario para el sistema modular, ficha técnica de las propiedades limitantes para la utilización del sistema, planos de cada uno de los sistemas ya mencionados y costos detallados en la fabricación de este para posteriores reproducciones del mismo.

* Trabajo de Grado

** Facultad de ingenierías Físico – Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica .Director Ing. Ricardo Jaimes Rolon. Codirector Fabio Hernán Realpe. Universidad Industrial de Santander.

ABSTRACT

TITLE:

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PROTOYPE OF A MACHINING MODULAR SYSTEM FOR COMPUTER CONTROL

AUTHORS:

Silvia Alejandra Caicedo Castellanos
Félix Leónidas Villamizar Morantes**

KEY WORDS: Design and construction, modular system, machining, computer control

ABSTRACT:

The objective of this project is to design and build a prototype of a machining modular system for computer control, which provides an option for the machining industry's market. With the difference of presenting the quality of flexibility, which means that the system has the ability of adapting itself to different styles of machining.

This machining tool has three subsystems: The modules system, the couplings system between itself and the tools and the structural system for each of the set-ups the prototype was designed for. Different styles of machining can be configured to the system as milling, turning and hot wire cutting in two edges for cutting Styrofoam and related materials.

The machining system was designed and its different components were selected by calculating the forces required to cut aluminum, as the limit material for machining, and the stress calculation of these in the motion and structural system using computer tools (Solidworks and Cosmos) and the theory learnt in machine design classes from the career Mechanical Engineering.

The construction of the prototype was characterized by the use of materials and accessories from regional suppliers. Also for the use of raw material not only in the manufacturing market, but in the structural field of furniture, due to their high versatility and stability based on the requirements in which this project was designed, making all the parts that compound the system to be easy exchangeable.

Also it is presented, user manual for the modular system, technical sheet of the limiting properties for the usage of the system, planes of all the systems mentioned before and detailed fabrication costs for the later reproductions of it.

*Degree thesis

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering, School of Mechanical Engineering. Director Eng. Ricardo Jaimes Rolon. Codirector Fabio Hernán Realpe. Universidad Industrial de Santander.

INTRODUCCIÓN

Las maquinas herramientas, creadas para suplir los esfuerzos humanos en la elaboración de piezas mediante la remoción de material, han llegado a un evolución tal, que no solo se utilizan para crear ventaja mecánica en la superación de los esfuerzos de corte del material, sino que también desde hace ya varios años se han convertido en potentes máquinas de mecanizado automático; mediante la adición de posicionamiento de la herramienta de corte de forma automática, gracias a software de diseño, de programación por posicionamiento cardenal y de estructuras deslizantes motrices que mediante sistemas de potencia; como lo son los motores de mediana potencia incorporados en ellos, proporcionan la posición deseada y diseñada por los software ya mencionados.

Es por esto que el proyecto en el diseño y construcción de un prototipo de sistema modular de mecanizado para control por computador, se convierte en una herramienta versátil, flexible y económica frente a otras propuestas en maquinaria del mismo estilo.

El diseño de este sistema modular de mecanizado, consiste fundamentalmente en el diseño de un conjunto de módulos de posicionamiento lineal como componentes principales de un sistema completo de mecanizado, que al ser configurados y ensamblados de diferente manera (según se explicara en el contenido del proyecto) proporcionan en tres ejes coordenados diferentes estilos de mecanizado como lo son el fresado, el taladrado y el corte de hilo caliente, para el caso del moldeamiento en icopor.

Lo que hace de esta propuesta de máquina de mecanizado una opción competitiva para el mercado debido a que se adecua a las necesidades del posible usuario e igualmente lo hace una muestra de la recopilación de todos los conocimientos adquiridos durante la carrera de ingeniería mecánica.

El proceso de diseño y construcción del sistema modular de mecanizado consta de bloques temáticos desglosados en cada uno de los capítulos que componen este trabajo de grado, los cuales son:

Las etapas de formulación, identificación, propuesta de solución y diseño conceptual del problema; etapas en las cuales se analiza y se justifica la solución de este en el campo de la ingeniería mecánica específicamente en el mecanizado automático y mediante diferentes propuestas de solución al problema, se cumple con el objetivo de resolver y atacar el problema de forma conceptual.

Posteriormente se desglosa de manera resumida el concepto de mecanizado automático por computador para dar una idea al lector de la importancia de éste campo de la ingeniería mecánica en el sector productivo de una región.

A continuación se selecciona y se desglosa detalladamente la solución que se plantea para el problema planteado, mediante bocetos y gráficos CAD a modo de escoger la mejor solución respecto a las necesidades y alcances del proyecto.

Ya seleccionada la solución para el problema planteado se realiza el diseño detallado del prototipo del sistema modular de mecanizado: desde la primera estimación geométrica de lo que será el sistema; el cálculo de las fuerzas presentes en el mecanizado por diferentes autores necesarias para el diseño; la selección de las partes de lo compondrán tanto en el cuerpo físico

como en el sistema de control a utilizar; hasta la validación geométrica y de resistencia del sistema diseñado mediante la herramienta CAD y CAE de SolidWorks.

Para finalmente presentar los resultados del proyecto representados en los planos de la máquina, las imágenes y videos del prototipo físico construido, el manual del usuario, ficha técnica y ficha de costos y proveedores, elementos necesarios para la presentación del diseño de un nuevo prototipo.

1. FORMULACION DEL PROBLEMA

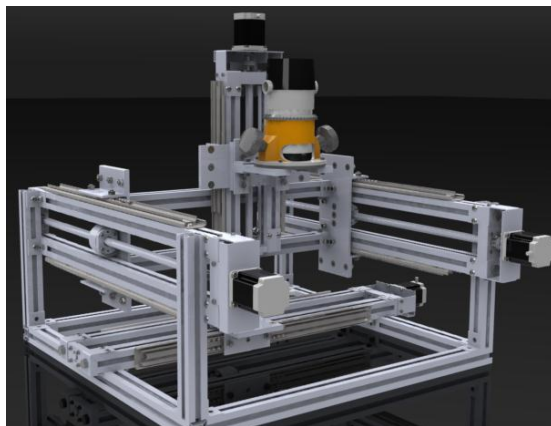
1.1. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

El mecanizado como proceso de fabricación de piezas mediante la remoción de material es y ha sido de las principales operaciones de las industrias manufactureras de la región; existe entonces en estas empresas expectativas en poder aumentar la producción a un menor costo, mejor calidad y menores tiempos de fabricación, para poder ingresar en el medio competitivo de los mercados manufactureros, que cada vez se vuelven más amplios y con mayores ofertas respecto a calidad y tiempos de entrega.

Estos progresos esperados en muchas de estas empresas no han podido ser implementados pues el oficio de la manufactura sigue siendo en estos tiempos trabajo altamente artesanal, debido a que la implementación de tecnologías son muy costosas y poco accesibles para pequeñas y medianas empresas manufactureras; este tipo de manufactura tan común presenta muchos defectos, pues la elaboración de productos mediante esta manera acarrea consigo errores humanos, y costos elevados que en muchas de las ocasiones se ven reflejados en déficits de ingresos, que por razones obvias no son deseados para un buen progreso empresarial, estos problemas incluye errores en el mecanizado manual, tiempos muertos de producción que alargan los tiempos de entrega , mala comunicación de las operaciones a realizar, debido a las largas líneas de mando dentro de las mismas empresas; errores en las lecturas de planos respectivos ,etc.

Es por esto que la escuela de ingeniería mecánica representada por los que realizan este proyecto desean superar estas dificultades en pro de mejorar el sector productivo de la región, con lo que concierne al área de ingeniería mecánica, brindando una solución a estos problemas mediante el diseño y construcción de un Prototipo de un sistema modular de mecanizado controlado por computador que permitirá a las empresas manufactureras de la región los tipos de mecanizado como es el fresado, torneado, taladrado y corte con hilo caliente mediante una serie de módulos afines entre sí para que articuladamente conformen un sistema multifuncional controlado por computador, para que basado en los procesos de posicionamiento de un órgano mecánico móvil mediante órdenes elaboradas para función de forma automática en forma de código numérico, para nuestro caso código G de posicionamiento de herramientas de mecanizado CNC y gracias a los software de interfaz MASTERCAM, ARTCAM y MACH 3 (como software de comunicación entre las ordenes en código G con los motores paso a paso), poder realizar los siguientes objetivos propuestos para la elaboración de un correcto sistema modular de mecanizado para control por computador flexible a las necesidades de los posibles usuarios, como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Diseño del sistema modular de mecanizado.



Fuente: autores

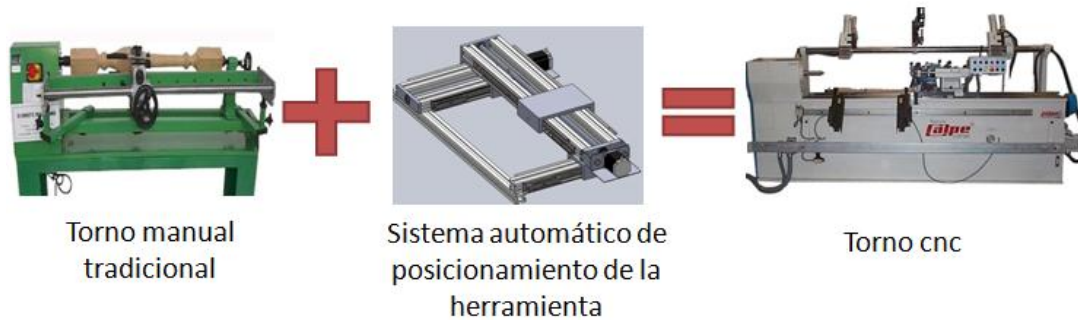
1.2. JUSTIFICACION DEL PROYECTO

Con el desarrollo de este proyecto se pretende dar al sector productivo de la región una mejor herramienta para la elaboración de sus productos, pues un sistema modular de manufactura permitirá realizar fresado, torneado, taladrado y corte de hilo caliente, principales operaciones del mecanizado de una pieza, con una sola herramienta a materiales tales como el aluminio, madera e icopor; pues este sistema constará de unas características muy importantes, como lo es la adaptabilidad y la multifuncionalidad a hora de realizar procesos sencillos de manufactura en una pieza.

Esta herramienta de mecanizado será susceptible a los cambios que requiera su operario, pues la propiedad de adaptabilidad permitirá suplir o apoyar la maquinaria de mecanizado ya existente en una fábrica; aplicando las nuevas tecnologías en el mecanizado que se da nivel mundial como lo es el posicionamiento de herramienta dirigido numéricamente por computadora. Esta solución favorecerá la industria local pues será capaz de cumplir con las necesidades de cada empresa, ya que será económica, accesible y funcional; a la vez que eliminará los errores que producen la mano de obra de los operarios a la hora de elaborar un producto; con este sistema se verán mayores ingresos debido a la disminución de tiempos muertos entre mecanizados y a la corrección de defectos por la mano de obra humana, logrando acercarse más a la empresa hacia un posicionamiento en la actualidad mundial a un bajo costo.

En esencia la maquina consta de módulos entre los que se encuentran los motrices y deslizantes; conexiones y partes extras de soporte, para que mediante un diferente estilo de montaje, cada conjunto de combinaciones se convierta en un sistema automático para el posicionamiento de la herramienta de corte para el torneado, fresado y corte de hilo caliente respectivamente. Una manera idealizada de comprender la utilidad del sistema modular se muestra en la figura 2.

Figura 2. Idealización de la funcionalidad del sistema.



Fuente: autores

1.3.OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

1.3.1. Objetivo General

Contribuir al desarrollo tecnológico de la Universidad Industrial de Santander y de la Industria con el DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE UN SISTEMA MODULAR DE MECANIZADO PARA CONTROL POR COMPUTADOR, aplicado al sector industrial de madera y de moldeamiento con icopor de la región local, dando vigencia a la misión de la Universidad Industrial de Santander.

1.3.2. Objetivos específicos

✓ Diseñar y prototipar un sistema modular que consta de:

- Módulos motrices para control por computador

Se construirán cinco módulos de este tipo: cuatro de 80[cm] de recorrido y uno de 40 [cm] de recorrido; cada uno de ellos conformado por:

- Un sistema guía
- Un sistema de transmisión de potencia (como el tornillo de potencia)
- Una adaptación para fuente motriz
- Un sistema de acoplamiento entre ellos.

- Módulos guías o deslizantes

Se construirán dos módulos de este tipo: uno de 40 [cm] y otro de 80 [cm],

Constituidos cada uno de ellos por:

- Un sistema guía
- Un sistema de acoplamiento entre ellos
- Chasis, soportes y acoples
- Mesa de mecanizado

El prototipo estará diseñado para corte de icopor y madera, siendo esta última la referencia para el diseño, pues la estructura tendrá la posibilidad de soportar la potencia de corte necesaria para su mecanizado de 400 [W] en los casos más extremos en el corte de roble, es por esto que se ha optado de usar aluminio como fuente de buena resistencia estructural y accesibilidad económica.

Este sistema de módulos se podrá configurar para los siguientes tipos de mecanizado:

- Fresado o taladrado:

Conformado por cinco módulos: dos módulos motrices controlados por computadora de 80 [cm], un módulo motriz de 40 [cm] controlado manualmente y dos módulos deslizantes para guía, uno de 40 [cm] y otro de 80 [cm]. Dando un volumen de mecanizado de 0.128 [m³]; igualmente una mesa de mecanizado y perfilera estructural.

- Torno

Estará conformado por tres módulos: dos motrices controlados por computadora uno de 40 [cm] y otro de 80 [cm], un módulo deslizante de 40 [cm] y perfilera estructural.

Cuyo avance longitudinal está dado por el módulo motriz de 80 [cm] y la profundidad de corte por el módulo de 40 [cm].

- Corte con hilo caliente a cuatro y dos ejes

Estará conformado por cuatro módulos controlados por computadora de 80 [cm], para cada uno de los grados de libertad para corte tridimensional dando un volumen de mecanizado de 0.512 [m³]. Cada uno con sus respectivos accesorios de montaje para el corte en hilo caliente de ferroníquel tensionado por resortes.

- ✓ Modelar y analizar las cargas presentes en el sistema modular, junto con sus respectivas respuestas para él en cada una de las tres operaciones de mecanizado ya mencionadas, mediante herramientas informáticas, como lo son las herramientas de simulación de esfuerzos CAE.
- ✓ Elaborar y registrar pruebas de mecanizado que confirmen la funcionalidad del sistema modular de mecanizado.
- ✓ Construir un manual y ficha técnica del usuario para el sistema de mecanizado.
- ✓ Elaborar un análisis de costos para el sistema modular con el fin de poder encontrar el nivel de aceptación que este tendría en un grupo pequeño de posibles usuarios respecto a no contar con este proyecto o con respecto a otras opciones presentes en el mercado.

2. GENERALIDADES SOBRE EL MECANIZADO POR COMPUTADOR

La obtención de la forma de una pieza requiere de procesos que permitan crear la geometría deseada de la forma más eficiente, precisa, exacta y rápida, es por esto que se hace imprescindible que muchos de los procesos de manufactura sean automáticos.

El comienzo de esta ideología se estableció como remedio a las tradicionales actividades para realizar la conformación de una pieza; tanto para avanzar la herramienta, como para hacer funcionar el mecanismo de movimiento, las cuales estaban a control del operario.

Y es entonces donde surge la idea de controlar motores con sus respectivos acoplamiento para movimiento lineal o rotatorio, como respuesta a realizar un movimiento automático de cualquier parte de la máquina herramienta y dentro de la historia de presentaron diferentes soluciones a esta necesidad.

2.1. CONTROL AUTOMATICO DE LAS MAQUINAS HERRAMIENTA EN LA HISTORIA

A continuación se presenta un listado de lo que fue el control automático de máquinas herramientas a lo largo de la historia desde los más simple y puramente mecánico, hasta la tecnología de punto utilizada en estos momentos, a fin de dar una idea a lector de la evolución de esta necesidad de automatización en el mecanizado.

- **(1725)** Máquinas de tejer construidas en Inglaterra, controladas por tarjetas perforadas.
- **(1863)** M. Forneaux- primer piano que tocó automáticamente.
- **(1870-1890)** Eli Whitney- desarrollo de plantillas y dispositivos.
- "Sistema norteamericano de manufactura de partes intercambiables.

- **(1880)** Introducción de una variedad de herramientas para el maquinado de metales.
- Comienzo del énfasis en la producción a gran escala.
- **(1940)** Introducción de los controles hidráulicos, neumáticos y electrónicos.
- Aumento del énfasis en el maquinado automático.
- **(1945)** Comienzo de la investigación y desarrollo del control numérico.
- Comienzo de los experimentos de producción a gran escala con control numérico.
- **(1955)** Las herramientas automatizadas comenzaron a aparecer en las plantas de producción para la Fuerza Aérea de producción de los Estados Unidos:
- **(1956)** Hay concentración en la investigación y el desarrollo del control numérico.
- **(1960)** Hasta la actualidad
 - Se crean varios nuevos sistemas de control numérico.
 - Se perfeccionaron las aplicaciones a la producción de una gama más grande de procedimientos de maquinado de metales.
 - Se idearon aplicaciones a otras actividades diferentes del maquinado de metales.
 - Se utilizaron insumos computarizados de control numérico.
 - Se utilizan documentos computarizados de planeación gráficos por control numérico.
 - Se han desarrollado procedimientos computarizados de trazo de curvas de nivel por control numérico, a bajo costo.
 - Se han establecido centros de maquinado para utilización general.

Al continuar con el tema de la automatización de la manufactura en la historia hace referencia a cubrir las acciones de control humano por acciones de control a modo de señales o mandos desde una fuente programada; cuando se habla de una fuente programada de acciones de mecanizado se refiere más fuertemente al termino de control numérico computarizado sobre las maquinas herramienta.

2.2. EL CONTROL NUMÉRICO

Es un método de control de movimientos de los componentes de una maquina al insertarse instrucciones alfa numéricas al sistema de control, en el mayor de los casos computarizado. Ver figura 3.

El sistema de control interpreta esas instrucciones insertadas y las convierte en señales de salida necesarias para controlar el movimiento de los componentes de la máquina.

Figura 3. Instrucciones alfa numéricas de control.



Fuente: fabricatuproprioroutercnc.com

2.3. EL CÓDIGO G

Son funciones preparatorias muy importante en la programación de un control numérico por computador, ya que controlan el modo en que la maquina va a realizar un traza o el modo en que va a desplazarse sobre la superficie de la pieza en la que está trabajando. Dentro de las funciones preparatorias que se utilizan con mayor frecuencia en la elaboración de cualquier pieza se encuentran. Ver tabla 1.

.Tabla 1. Comandos principales del código G¹

Comando	Descripción
G00	Interpolación Lineal Rápida.
G01	Interpolación lineal a la velocidad programada en el registro F.
G02	Movimiento Circular en el sentido horario
G03	Movimiento Circular en el sentido anti-horario
G04	Es una demora o una pausa con un tiempo específico.
G17	Selección del Plano X-Y
G18	Selección del Plano X-Z
G19	Selección del Plano Y-Z
G40	Compensación anulada, o al centro de la línea de desplazamiento.
G41	Compensación a la Izquierda de la línea de desplazamiento.
G42	Compensación a la Derecha de la línea de desplazamiento.
G70	Unidad de Datos expresados en Pulgadas.
G71	Unidad de Datos expresados en Milímetros.

Fuente: <http://r-luis.xbot.es>

Se habla primeramente del código G por ser este lenguaje, el lenguaje que se utilizó para el control de mecanizado por computador de este proyecto.

¹ Ver anexo B para descripción detallada de los comandos

2.4. OTROS CODIGOS DE MECANIZADO

El control numérico en sus inicios se caracteriza por desarrollar un código piramidal de programación individual para cada fabricante de máquinas de control automático de mecanizado. Pero posteriormente se vio la necesidad de normalizar a fin de unificar lenguajes aptos para muchas maquinarias de control numérico.

Dentro de las normas más utilizadas se encuentra la DIN 66024 y 66025 se encuentran los caracteres de programación:

- N: es la dirección correspondiente al número de bloque o secuencia. Esta dirección va seguida normalmente de un número de tres o cuatro cifras. En el caso del formato N03, el número máximo de bloques que pueden programarse es 1000 (N000 hasta N999).
- X, Y, Z: son las direcciones correspondientes a las cotas según los ejes X, Y, Z de la máquina herramienta .absoluta o relativa, es decir, con respecto al cero pieza o con respecto a la última cota respectivamente.
- G: es la dirección correspondiente a las funciones preparatorias. Se utilizan para informar al control de las características de las funciones de mecanizado, como por ejemplo, forma de la trayectoria, tipo de corrección de herramienta, parada temporizada, ciclos automáticos, programación absoluta y relativa, etc. La función G va seguida de un número de dos cifras que permite programar hasta 100 funciones preparatorias diferentes.
- M: es la dirección correspondiente a las funciones auxiliares o complementarias. Se usan para indicar a la máquina herramienta que se deben realizar operaciones tales como parada programada, rotación del husillo a derechas o a izquierdas, cambio de útil, etc. La dirección m va

seguida de un número de dos cifras que permite programar hasta 100 funciones auxiliares diferentes.

- F: es la dirección correspondiente a la velocidad de avance. Va seguida de un número de cuatro cifras que indica la velocidad de avance en mm/min.
- S es la dirección correspondiente a la velocidad de rotación del husillo principal. Se programa directamente en revoluciones por minuto, usando cuatro dígitos.
- I, J, K son direcciones utilizadas para programar arcos de circunferencia. Cuando la interpolación se realiza en el plano X-Y, se utilizan las direcciones I y J. Análogamente, en el plano X-Z, se utilizan las direcciones I y K, y en el plano Y-Z, las direcciones J y K.
- T es la dirección correspondiente al número de herramienta. Va seguido de un número de cuatro cifras en el cual los dos primeros indican el número de herramienta y los dos últimos el número de corrección de las mismas.

3. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Los componentes más importantes que conforman el sistema modular de mecanizado son:

- El sistema de potencia
- El sistema de transmisión de potencia
- El sistema de soporte lineal
- El sistema de control de posición por computadora

En el planteamiento del proyecto se realizaron diferentes evaluaciones de las alternativas conseguidas en el mercado para cada uno de los sistemas ya mencionados.

Las alternativas de solución para cada uno de los subsistemas del sistema modular de mecanizado fueron:

3.1. SISTEMA DE POTENCIA

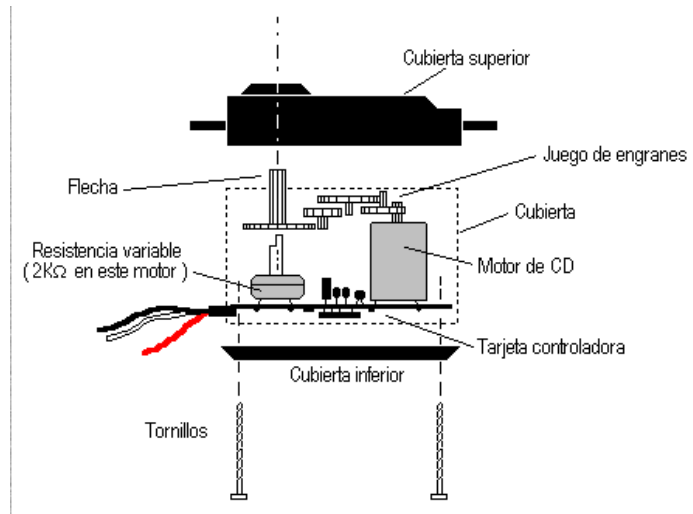
Dentro de las opciones de sistemas de potencia, necesaria para el movimiento de los módulos se encuentran:

- Los servomotores

Estos dispositivos son de corriente continua y proporcionan el posicionamiento deseado sin presentar inercia, con buen control y fuerza.

Estos motores constan de un motor eléctrico, de un sistema de control de señal codificada y de una caja reductora que posibilita el control de fuerza y velocidad del mismo. Ver figura 4.

Figura 4. Estructura básica de un servomotor.



Fuente: <http://www.monografias.com/servo-motores>.

- Los moto reductores

Debido a la presencia de relación de torque – velocidad dada por el reductor que poseen lo hace un gran competidor en el área de mecanizado.

Necesitan para su control una señal de retroalimentación de su posición mediante, por ejemplo encoder lineal o angular y los sistemas de control deberán ser diseñados. Ver figura 5.

Figura 5. Moto reductor.



Fuente: superrobotica.com

- Motores paso a paso
Son la solución más viable al presentar control por medio de pulsos de corriente eléctrica sobre sus bobinas.
La característica más importante es que en el momento de averías durante su funcionamiento el posible reposicionar hacia el punto de partida sin ningún problema. Ver figura 6.

Figura 6. Motores paso a paso.



Fuente: sharatronica.com/motores.

3.2. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

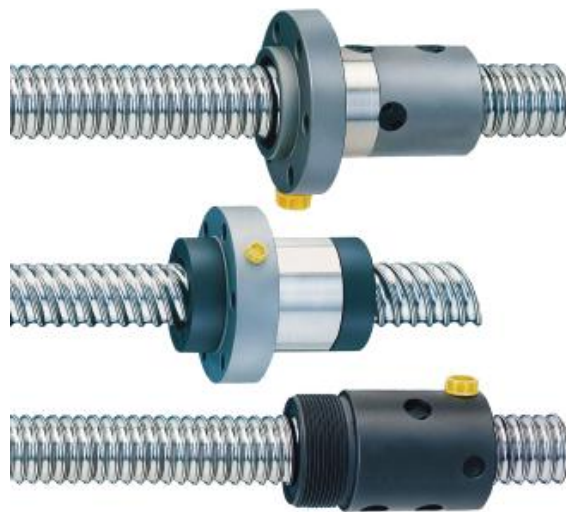
- Tornillo de potencia

El tornillo de potencia como se ven en la figura 7, es de en si el elemento de transmisión de potencia más utilizado en el mercado, pues es un dispositivo que permite mediante el movimiento angular proporcionado por ejemplo por un motor, lograr una translación lineal

necesaria para el movimiento en los ejes coordenados del sistema modular.

Tienen gran ventaja mecánica tanto a tensión como a compresión y en diseño de perfil lo que lo hace un gran candidato al proporcionar múltiples opciones.

Figura 7. Tornillos de potencia de bolas re circulantes.



Fuente: catalogo ball screws SKF

- Bandas dentadas

Tienen funcionamiento similar al de los engranajes pero para movimiento lineal, pueden manejar grandes velocidades y trabajan a grandes cargas.

Pero no son muy exactos para posicionar, pues son elementos flexibles en compresión, e igualmente en el mercado poco se utiliza debido a que es una alternativa nueva que necesita de mucho diseño de alta calidad para su correcto funcionamiento.

- Cadenas

Su funcionamiento es de manera similar que los engranajes, manejan velocidades relativamente medias y son útiles para transmisión de movimiento a largas distancia.

Dentro de sus defectos se encuentra que el sistema es muy ruidoso, que puede acarrear descarrilamiento en altas velocidades y que es supremamente inexacto pues depende de su exactitud el número de dientes por rueda, lo que generalmente es muy poco.

3.3. SISTEMA DE SOPORTE LINEAL

- Rieles de deslizamiento

Estos sistemas funcionan de modo diferente que los sistemas por bolas clásicos, pues se utiliza como medio de movimiento elementos deslizantes, por lo que estos tipos de rieles aprovechan los materiales utilizados para los cojinetes. Aunque hay que tener en cuenta que al tener involucrada fricción durante el movimiento siempre existirá una desventaja frente al sistema de bolas. Ver figura 8.

Figura 8. Rieles de deslizamiento.



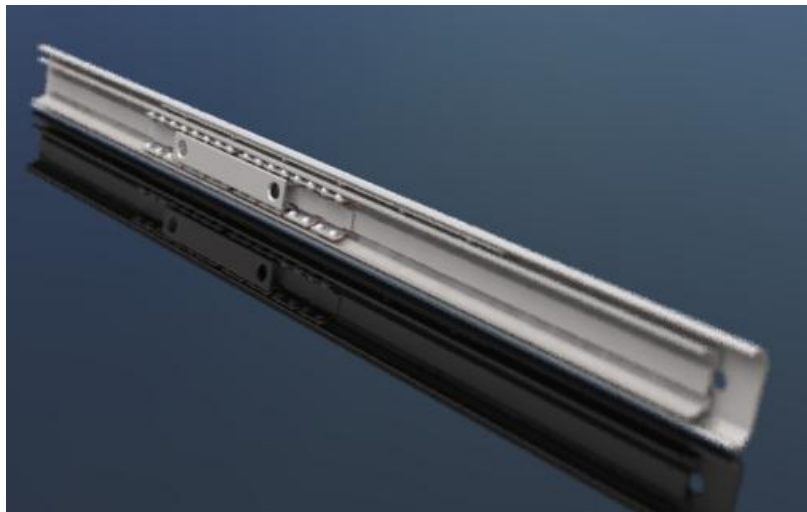
Fuente: autores.

- Rieles de extensión telescópicos

Son utilizados para el desplazamiento lineal. Son sistemas de guías con cuerpos rodantes estacionarios que hacen de guía a baja fricción para los rieles que lo componen.

Son telescópicos, lo que los vuelve elementos compactos. Ver figura 9.

Figura 9. Riel de extensión telescópico.



Fuente: autores

- Guías de bolas re circulantes

Esta es la forma de posicionamiento más eficiente y es el método que proporciona la mayor exactitud debido a su funcionamiento tipo rodamiento a baja fricción, pero igualmente este diseño es bastante costoso y difícilmente asequible en este sector comercial.

Este tipo de riel comúnmente son como se muestras en la figura 10.

Figura 10. Guías de bolas re circulantes.



Fuente: infoepi.es

- Rieles por roldanas

Esta tecnología es comúnmente llamada DuaVee y se caracteriza porque es un sistema de guías lineal aproximadamente sin fricción y a comparación del diseño de bolas, este diseño es más económico, debido a la simplicidad de su diseño. Ver figura 11.

Figura 11. Rieles por roldanas.



Fuente: directindustry.es

3.4. SISTEMA DE CONTROL DE POSICIÓN POR COMPUTADORA

El sistema de control por medio de un computador es necesario en el conjunto completo del sistema modular pues para tener automatización del mecanizado se debe controlar dirección, velocidad y posición; y el medio más accesible es por computador pues además de ser fácilmente accesible, es también un herramienta que proporciona mediante diferentes software de mecanizado todas las herramientas necesarias para crear la automatización en el mecanizado.

El sistema de control básico contara de:

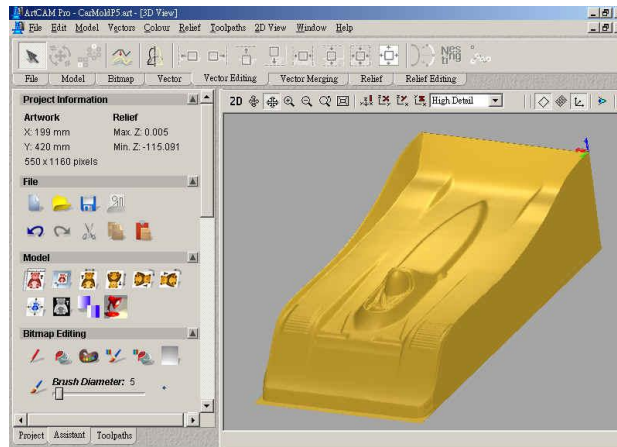
- Computador
- Tarjeta de potencia y de comunicación
- Software : como interfaz entre la comunicación de mecanizado (código G) y el lenguaje grafico entendible por cualquier usuario

Las alternativas de software son:

- Artcam

Es un software que ofrece el modelo CAD y CNC de mecanizado CAM solución para una amplia variedad de tipos de mecanizado. Es fácil de usar y adaptable y tiene la libertad para diseñar y fabricar productos de alta calidad en 3D o 2D. ver interfaz en la figura 12.

Figura 12. Interfaz del software Artcam.

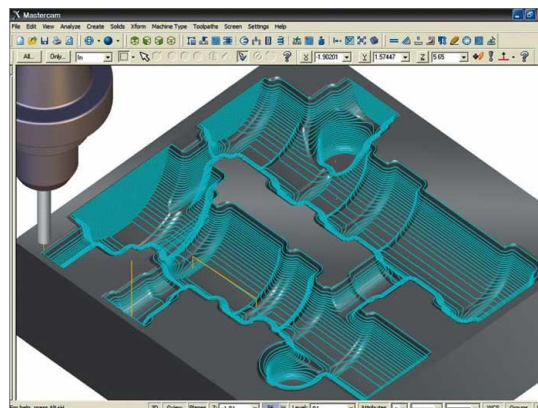


Fuente: manual Artcam

- MasterCam

Es un software CAD/CAM y es el más vendido para programar CNCs: fresadoras, tornos, tornos-fresadores y otros. Mastercam es el CAD/CAM más utilizado en el mundo por programadores de CNC, entregando potentes herramientas en aplicaciones de modelos, moldes, troqueles y producción. Ver interfaz en la figura 13.

Figura 13. Interfaz gráfica MasterCam.



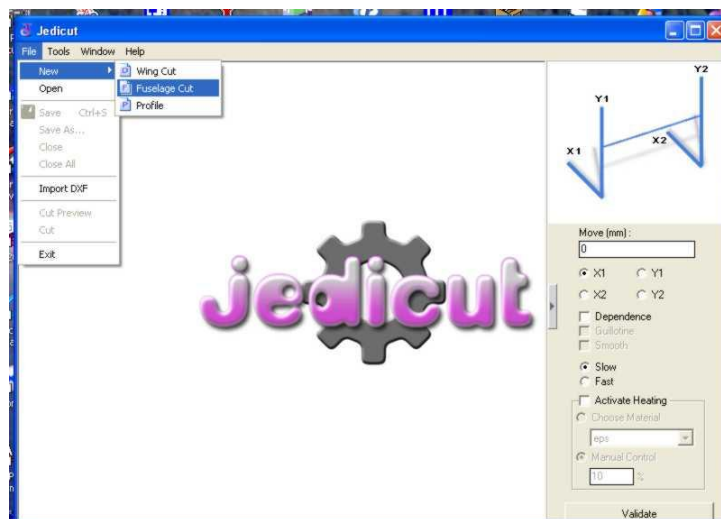
Fuente: manual del usuario MasterCam.

- Jedicut:

El jedicut es un software útil fundamentalmente para corte de espumas e icopor, especializado para el corte de alas y fuselajes de aeroplanos de escalas pequeñas, pues tiene como cualidad importante el control de 4 grados de libertad, dos por cada plano paralelo opuesto. Ver interfaz en la figura 14.

Otra importante cualidad es que es gratuito y que mediante configuraciones adecuadas de su puerto de comunicación (LPT) es posible realizar un corte de fresado sin profundidad.

Figura 14. Interfaz gráfica del Jedicut.



Fuente: <http://www.aeropassion.net/jedicut/configuration.php>

Al igual que el software, la tarjeta electrónica de control, forma parte fundamental del sistema modular de mecanizado; pues es el medio por el cual la información dada por el software de mecanizado es interpretada y actuada por el sistema de potencia.

Las tarjetas de control para maquinaria CNC principalmente son para el control punto a punto con interpolación lineal de los motores que realicen la

posición de cada uno de los ejes que conformen la máquina y se comunican mediante puerto paralelo hacia el PC, dado que la mayoría de estas tarjetas utilizan motores paso a paso.

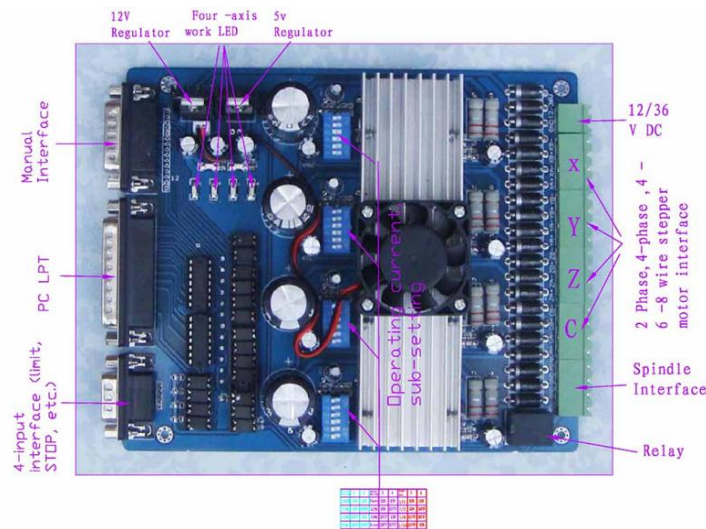
Algunas de las opciones de tarjetas electrónicas de control punto a punto que se encuentran varían de la siguiente manera:

- Tarjetas con control de lazo abierto

Este tipo de tarjetas tienen desde 2 a 6 salidas de señales para los motores paso a paso, como se ve en la figura 15 y la opción de ingresar señales de entrada al software de control, como paradas de emergencia y finales de carrera de extremos de eje, todas estas señales se manejan mediante puerto paralelo LPT del PC.

Al ser control de lazo abierto es un sistema más inexacto a perturbaciones externas, que no puedan asegurar el posicionamiento de la máquina, pero asegura un buen funcionamiento a sistemas con pocas perturbaciones externas, inerciales, etc.

Figura 15. Tarjetas de control lazo abierto para motores paso a paso.



Fuente: ARC MART

- Tarjetas con control de lazo cerrado

Esta tarjeta de potencia es de una gama mucho más costosa y más completa, pues además de las opciones que tienen la tarjeta de control de lazo abierto, tiene la opción de ingresar señales de entrada para el control de posición y velocidad mediante encoders lineales o angulares, necesarias para el control retroalimentado del posicionamiento. Ver figura 16.

Figura 16. Tarjetas de control cerrado.



Fuente: <http://es.aliexpress.com/>

4. DISEÑO METODOLÓGICO DEL PROYECTO

4.1. DESARROLLO CONCEPTUAL DEL PROTOTIPO

El prototipo del sistema modular de mecanizado en su diseño se basa en el concepto de modularidad, entendiéndose este término, como la capacidad que tienen las piezas y subsistemas que lo conforman de ser ensamblados de diferentes maneras a modo que cada uno de los diferentes montajes pueda suplir las necesidades de mecanizado como lo son: el torneado, el fresado y el corte de hilo caliente.

Los principales subsistemas que componen el conjunto son: los módulos motrices compuestos por el tornillo de potencia, las guías lineales telescópicas, la estructura de apoyo, la mesa de deslizamiento y el motor paso a paso junto con toda las piezas de unión necesarias para el ensamble; los módulos deslizante que al contrario de los módulos ya mencionados, carecen de sistema de potencia (tornillo de potencia y motor) pues solo poseen el perfil estructural de soporte, las guías lineales y conectores necesarios, lo que los hacen alusivos a su nombre deslizantes; la estructura rígida del sistema para cada una de las configuraciones de mecanizado y los accesorios extras como lo son: el soporte para la ruteadora, los soportes para la pieza en rotación en el torneado y el conjunto de instalación del hilo para el corte de hilo caliente.

El conjunto necesitara un sistema para su control en cada uno de los montajes de mecanizado automatizado, y este sistema esencialmente se controla son software de computador presentes en el mercado y que hoy por hoy son muy utilizados en la región.

Los software que se utilizan son software para modelado virtual y creación del código G² de acciones de mecanizado. Junto con el apoyo del software de diseño de las piezas a mecanizar CAD y del software de transducción de las acciones de código G a señales por pasos para el control de los motores pasó a paso los cuales tendrán una mayor explicación en la descripción detallada la solución.

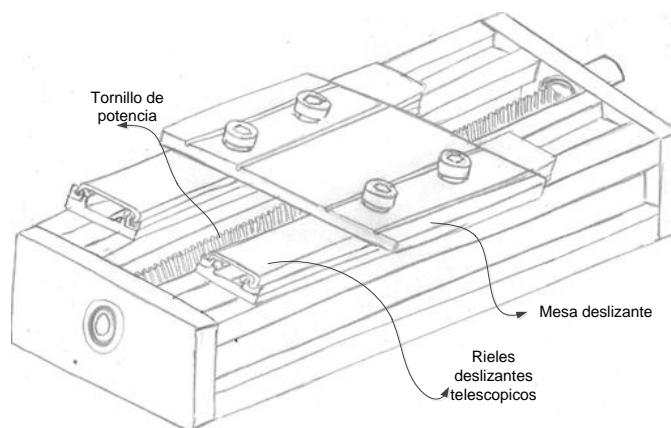
A continuación se muestran los bosquejos de lo que sería el sistema modular en sus diferentes configuraciones y subsistemas.

4.1.1. Bocetos a mano alzada

- **Módulos:**

Los módulos según se puede ver en la figura 17, están compuestos principalmente de una estructura soporte como los son los perfiles estrella laterales y las placas que soportan el tornillo de potencia; para el sistema de posicionamiento se utiliza tanto el tornillo de potencia como un juego de rieles de extensión.

Figura 17. Modulo mano alzada.



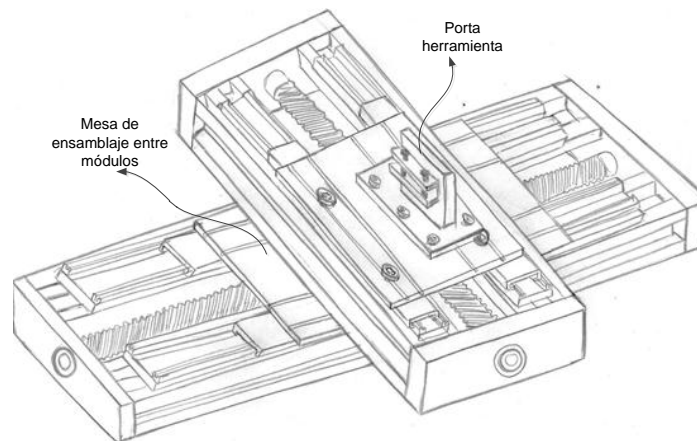
Fuente: autores

² Ver marco teórico anexo B

- **Ensamble básico de montaje:**

El ensamblaje básico entre los módulos para los diferentes tipos de configuraciones de mecanizado se muestra en la figura 18, la idea básica de montaje entre módulos consta de la unión de estos mediante la mesa de ensamblaje que se muestra para así lograr el movimiento con los ejes de libertad que se requiera en el montaje.

Figura 18. Montaje característico entre módulos.

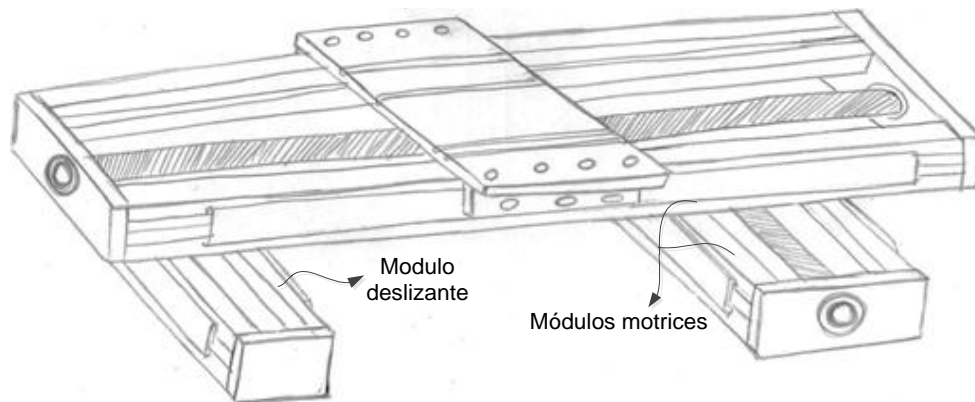


Fuente: autores

- **Posible montaje para torneado:**

Este posible montaje de torno, ver figura 19, propuesto como idea preliminar de lo que será el montaje de las diferentes partes del sistema modular para cumplir la función de torno, consta del montaje de una unidad motriz y otra deslizante para abarcar el movimiento en un eje, y un módulo motriz para lograr el movimiento en el otro eje.

Figura 19. Bosquejo montaje para torneado.

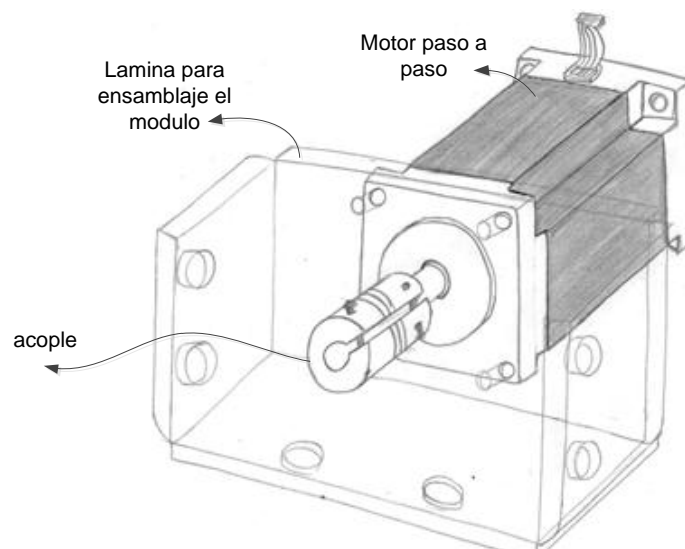


Fuente: autores

- **Ensamble del motor al módulo :**

El ensamble de la fuente motriz al módulo motriz se bosqueja con la figura 20, y muestra como una placa doblada sujeta mediante sus tres caras el motor a la parte estructural del módulo motriz.

Figura 20. Bosquejo montaje del motor PAP.

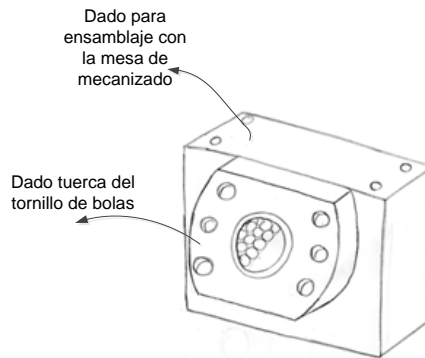


Fuente: autores

- **Algunos componentes del sistema modular:**

- **CARRO CONECTADO AL DADO DEL TORNILLO DE POTENCIA:** esta pieza, es la esencial para la transmisión del movimiento lineal producido por el tornillo de potencia hacia el sistema de guía lineal que posee el sistema modular, y la idea de la geometría se muestra en la figura 21 a continuación.

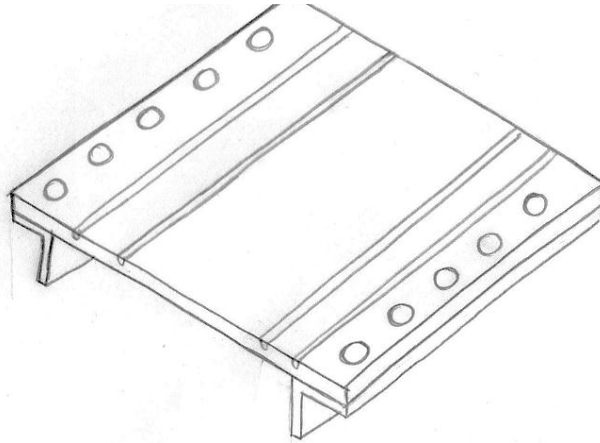
Figura 21. Bosquejo carro deslizante.



Fuente: autores

- **MESA DESLIZANTE:** la mesa deslizante es otra pieza fundamental el modulo pues mediante esta el movimiento lineal recibido por el carro deslizante es transmitido a la unidad de deslizamiento de baja fricción, como lo son los rieles por rodadura de extensión. Esta tiene una idea preliminar como se muestra en la figura 22.

Figura 22. Bosquejo de la mesa deslizante.



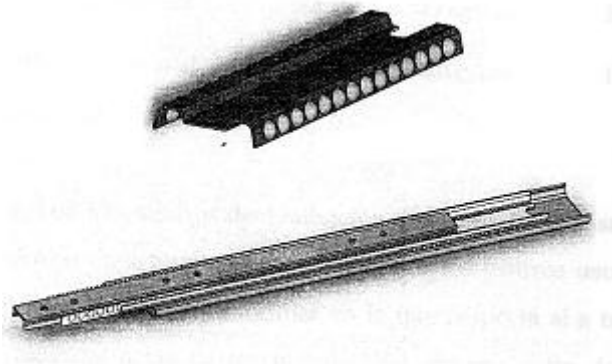
Fuente: autores

4.1.2. Bocetos en CAD Solid Works

- **Rieles de extensión**

Estos son los rieles de extensión presentes en el mercado, los cuales serán muy útiles al ser económicos y de gran resistencia de carga. Ver figura 23.

Figura 23. Riel de extensión.

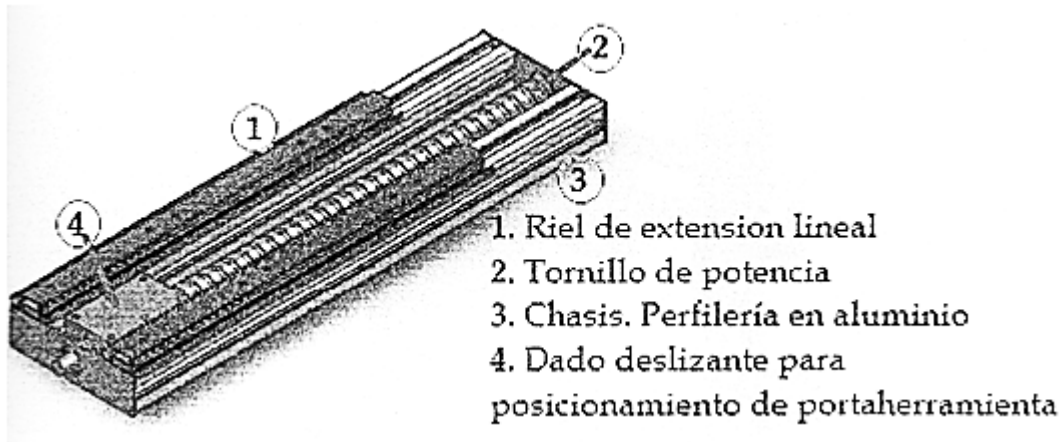


Fuente: autores

- **Primer bosquejo modulo deslizante**

Dados los anteriores bosquejos mediante la figura 24, se quiso mostrar mediante una herramienta CAD la estructura básica de los módulos que compondrán el sistema modular de mecanizado.

Figura 24. Modulo motriz y sus partes.

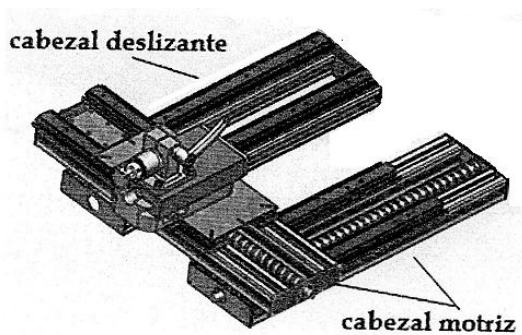


Fuente: autores

- **Montaje para torno**

La figura 25 muestra como el boceto realizado para el montaje básico de torno tomo mayor cuerpo pues mediante el dibujo CAD se pudo visualizar mejor la escala y la magnitud del resultado del montaje.

Figura 25. Montaje básico para torno.

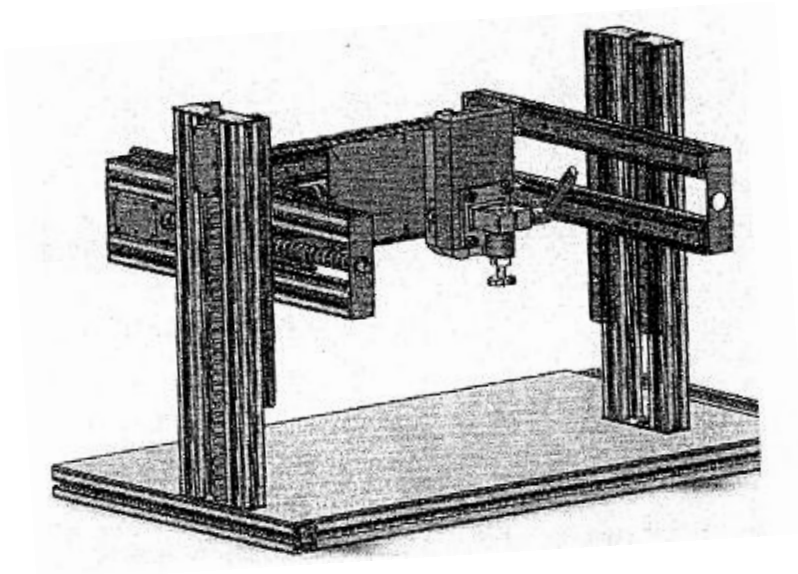


Fuente: autores

- **Montaje para fresado**

El montaje básico de fresado según se muestra en la figura 26 es el montaje más sencillo y básico con el fin de ilustrar la disposición de los módulos en un posible montaje de fresadora del sistema modular.

Figura 26. Montaje básico de fresado.

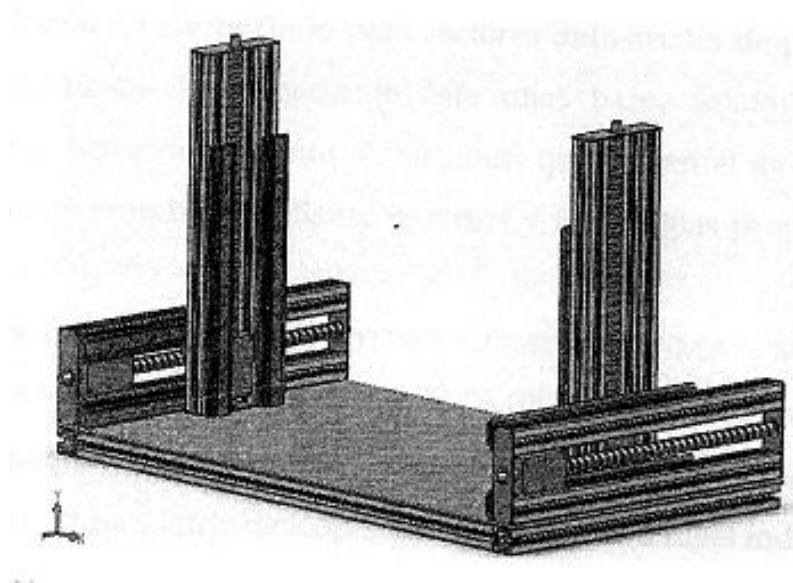


Fuente: autores

- **Montaje para hilo caliente**

El montaje de hilo caliente según muestra la figura 27 es la compilación de dos montaje de dos módulos motrices, ensamblados a una estructura base de forma paralela y opuesta.

Figura 27. Montaje básico de corte de hilo caliente.



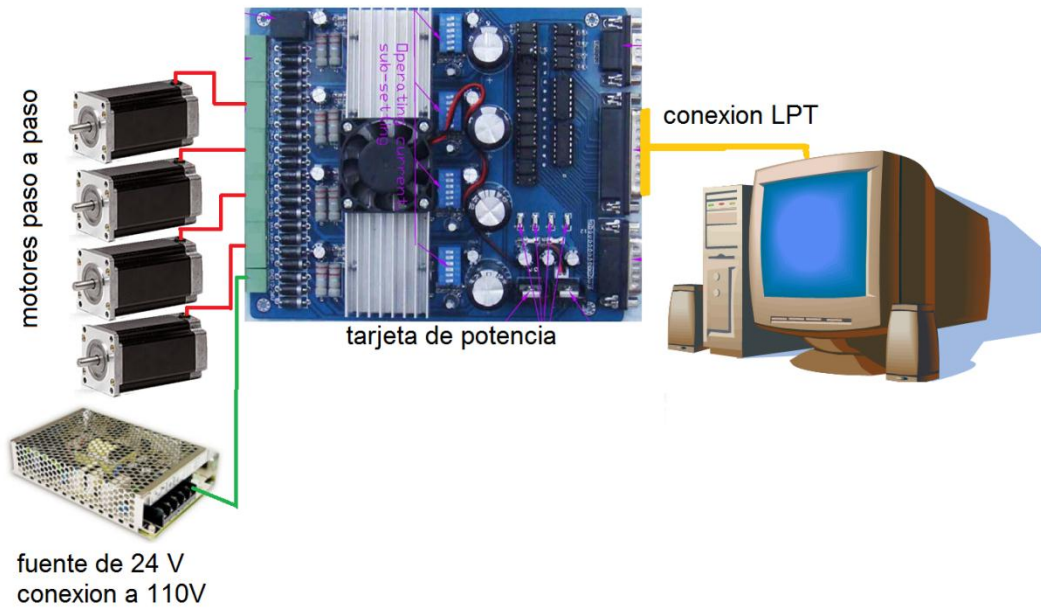
Fuente: autores.

Cada uno de los montajes anterior mente bocetados tanto a mano como en CAD, fueron las primeras ideas preliminares de lo que sería el montaje de los módulos y los módulos en sí; pero como se verá más adelante en la descripción detallada de la solución, muchas de las partes ya mencionadas han sido modificadas a modo de configurasen en una mejor posición con el fin de satisfacer mejor las necesidades de resistencia de las fuerzas involucradas durante los diferentes mecanizados.

4.1.3. Esquema de lo que será la conexión del sistema de control

Como se puede observar en la siguiente figura (ver figura 28) el control del sistema será por computador mediante software especializados para el control de motores y especializados en creación de código numérico para mecanizado.

Figura 28. Estructura del sistema de control físico.



Fuente: autores

4.2 SISTEMAS SELECCIONADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.

Dado que ya se han establecido mediante el anteproyecto las evaluaciones de cada una de las alternativas de los subsistemas que compondrán el sistema modular de mecanizado, en este capítulo se realizara una descripción de los subsistemas seleccionados.

La fuente de potencia seleccionada para la construcción del prototipo serán los motores pasos a paso bipolares Nema³(ver figura 30), pues en el mercado se encuentran muy fácilmente; ofrecen una gran versatilidad respecto a precisión (hasta 1.2 grados por paso), velocidad (hasta 3000 rpm) y torque (hasta 12.1 Nm); son comúnmente utilizados en el campo del mecanizado automático e igualmente existen programas para el control de estos a muy fácil acceso.

Figura 29. Rangos motores Nema.



Fuente: catalogo motores nema

³ Ver catalogo motores paso a paso Nema anexo D

Las propiedades de un motor paso a paso bipolar son:

- Bajo costo
- Conexión simple de 4 cables al motor
- Mantenimiento bajo
- Velocidad limitada del motor cerca de 1000 rpm y torques limitados cerca de 3000 onzas/pulgadas (21 Nm). Conseguir la velocidad máxima depende de la electrónica del controlador (drive) del motor y a su máximo voltaje permitido. Conseguir el torque máximo depende de la máxima corriente (amperios) permitida por el controlador
- Para propósitos prácticos en una máquina-herramienta de motores de paso a paso necesita manejarse con un controlador de micro-pasos para asegurar una operación continua a cualquiera velocidad con una razonable eficiencia. Proporcionar un control de lazo abierto significa que es posible

Respecto a lo que concierne al sistema guía de posicionamiento, se seleccionó los rieles de extensión⁴ que se encuentran fácilmente en el mercado local, como los que se puede apreciar en la figura 30; estos rieles tienen las mismas características de deslizamiento como lo tienen las guías lineales Bosch bastante utilizadas en el mercado del mecanizado automático, pero con la cualidad de ser asequibles tanto económicamente como en adquisición.

Figura 30. Guías deslizantes telescópicas.



Fuente: ardisa

⁴ Ver catálogo de los rieles de extensión en el anexo G

Estos rieles son de aluminio y poseen tanta variedad dimensional como en carga máxima que soporta que los hacen la mejor opción para el sistema modular de mecanizado. Como se puede ver en la tabla de características dada por el proveedor en la figura 31.

Figura 31. Características estructurales de los rieles de extensión.

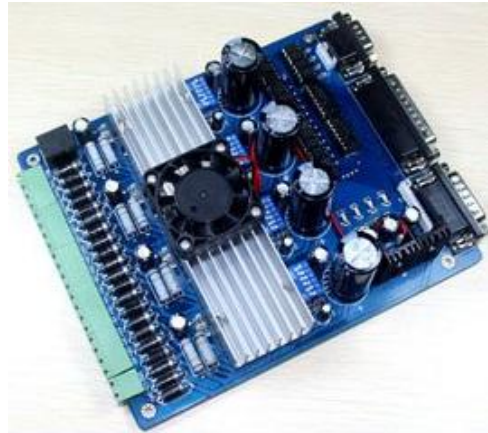
<p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none">• Capacidad de carga 100 lbs certificado BIFMA - FIRA.• Montaje lateral.• Montaje con tornillos. Opcional montaje bayoneta.• Perforaciones sistema 32.• Tamaños: 10-12-14-16-18-20-22-24-26-28 pulgadas. Opcional 1" de sobre extensión.• Acabados zincado y zincado negro.• Función de mantenerse cerrado.• Palanca liberadora para remoción de la gabeta.
--

Fuente: ardisa

El sistema seleccionado para transformar el movimiento giratorio de los motores paso a paso al movimiento lineal hacia las guías lineales de extensión son los tornillos de potencia de bolas re circulantes por ser elementos de transmisión de potencia de poca fricción y siendo estos los más utilizados en sistemas de mecanizado automático.

Respecto al sistema de control de las alternativas mostradas anteriormente, se utilizara el ARTCAM y el MASTERCAM siendo estos dos programas junto con el MARCH 3 (codificador de código G en trenes de pulsos para los motores paso a paso) los programas más accesibles y utilizados en la región al ser sencillos de manejar y al venir junto con la tarjeta de potencia, ver figura 32, seleccionada.

Figura 32. Tarjeta de potencia seleccionada.

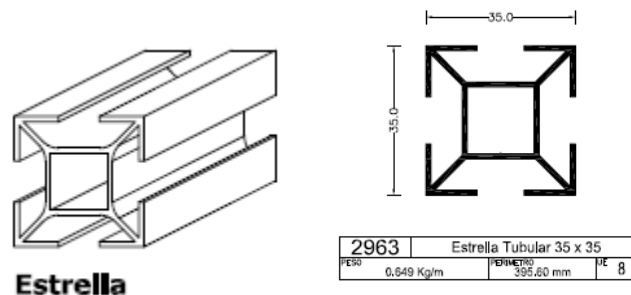


Fuente: ARC MART

Finalmente el sistema constara de un chasis soporte y de ensamble capacitado para adaptarse a cada una de las condiciones de corte para las cuales de diseño, de aluminio estructural llamado comúnmente tipo estrella, junto con perfilera de apoyo en L . Media estrella y en U, suministrada por VITRAL.

Este tipo de perfil ranurado, mostrado en la figura 33, permite un mejor acople y desacople de las partes, respondiendo a la necesidad principal de modularidad del proyecto.

Figura 33. Perfil estrella.



Fuente: VITRAL⁵

⁵ Ver anexo H catalogo VITRAL

4.3 PRIMER PROTOTIPADO DEL SISTEMA MODULAR

El primer prototipo creado se realizó con el fin de determinar tolerancias, dimensiones y disposición de las piezas que conforman cada una de las partes del sistema modular y determinar si el montaje supuesto en el diseño de concepto era viable.

El primer prototipo de módulos se realizó en madera a modo de ahorrar costos, e igualmente se construyó con la finalidad de probar y aproximar posibles configuraciones de las piezas y partes que lo compondrán, a modo de no cometer errores futuros en materiales de construcción mucho más difíciles de modificar según los errores de montaje encontrados. En los primeros módulos del prototipo se utilizaron los rieles de extensión que se utilizaron en el montaje final del sistema modular, con el fin de obtener una estimación de la utilidad de los rieles de extensión como sistema guía de todo el sistema modular.

El prototipado fue el siguiente:

4.3.1 Mesa deslizable

La mesa deslizable dentro del primer prototipado de madera consto como se muestra en la figura 34 de una pieza de madera que consta de dos perforaciones, para ensamblaje de los módulos motrices anexos mediante uniones apernadas.

Figura 34. Prototipo en madera de la mesa deslizable y dado.

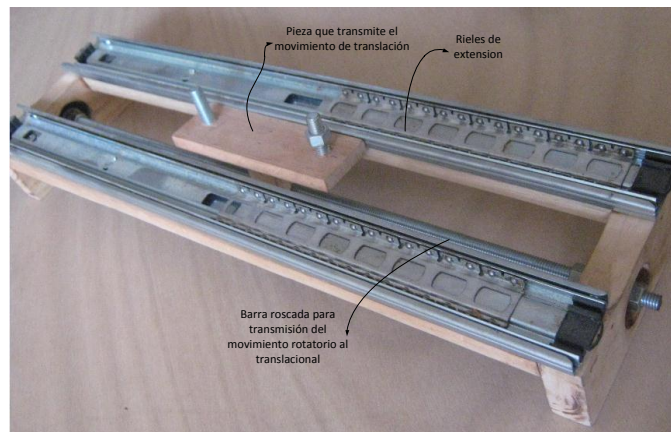


Fuente: autores

4.3.2 Modulo motriz

Según se muestra en la figura 35 el modulo motriz al igual que el boceto consto de una estructura base (mostrada en madera), de un sistema de transmisión de potencia y movimiento lineal, mediante una barra roscada y un sistema de trasmisión de movimiento mediante la mesa deslizante que igualmente fue construida en madera, cabe resaltar que durante la construcción del prototipo de madera se concluyó que los rieles debían cambiar de posición hacia los costados a modo de posicionarlos de manera que soporten más cómodamente la carga.

Figura 35. Modulo motriz en madera.



Fuente: autores

4.3.3 Conexión entre módulos

La conexión entra módulos como se mostró en la figura 36 y ahora más detallada mente en la figura 33 se realiza mediante dos elementos en unión apertados: el carro de deslizamiento y la mesa deslizante.

Figura 36. Conexión entre los módulos de madera.



Fuente: autores

4.3.4 Montaje entre dos módulos motrices de madera

La figura 37 muestra como el ensamble entra dos módulos se hace posible mediante la anterior pieza detallada en el capítulo 4.3.3.

Figura 37. Montaje de dos módulos madera.



Fuente: autores.

Gracias al prototipo en madera de los módulos se pudo tener una mejor configuración de las piezas dentro de todo el sistema modular de mecanizado como se puede ver en el capítulo de la descripción detallada de la solución.

4.4 MATERIAL A MECANIZAR POR EL SISTEMA MODULAR

El sistema modular tiene como material límite de mecanizado el aluminio, pero también tiene como objetivo el mecanizado de maderas de todo tipo y del moldeo de icopor para la industria local.

Es por esto que para los posteriores cálculos en el diseño del sistema modular tanto de resistencia como de estabilidad, se tendrán en cuenta las siguientes propiedades del aluminio como material más resistente a la rotura respecto a los otros materiales posibles de mecanizado.

4.4.1 Aluminio

El aluminio es un elemento abundante en la naturaleza por lo que lo hace un material altamente utilizado en la industria tanto moldes para hacer diferentes productos como para elementos de máquinas que necesiten baja densidad.

El aluminio se caracteriza por ser un metal ligero, blando y maleable; de gran utilidad estructural al ser aleado con otros metales. Las propiedades se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Propiedades mecánicas el aluminio.⁶

Resistencia del material	S_y	$\left[\frac{Kgf}{mm^2}\right]$	20.39
		$[MPa]$	200
Módulo de elasticidad	E	$\left[\frac{Kgf}{mm^2}\right]$	7311.37
		$[MPa]$	71.7
Fuerza específica de corte	K_s	$\left[\frac{Kgf}{mm^2}\right]$	75

Fuente: autores

⁶ Ver propiedades en el texto diseño de maquinas Norton

4.5 DESCRIPCIÓN DETALLADA LA SOLUCIÓN.

Basados en los diseños preliminares (bocetos del sistema modular), modelos ya existentes de sistemas de mecanizado por control numérico en el mercado y el material limite a mecaniza (para el diseño estructural) se presenta a continuación el despliegue geométrico y funcional de cada uno de los subsistemas que formaran el prototipo; se presenta dentro de ellos el dimensionamiento de los componentes básicos que compondrán el conjunto de elementos disponibles del sistema modular, que dependiendo de las necesidades de mecanizado se acoplaran de alguna manera específica.

Como se muestra a continuación en la primera parte se presenta el despliegue del diseño geométrico CAD a través de la herramienta SOLID WORKS de los elementos básicos del sistema modular:

1. Módulos motrices y deslizantes de desplazamiento lineal
2. La estructura soporte base para los tipos de mecanizado propuestos para el proyecto (torno , fresado , corte de hilo)
3. Piezas de acople de las herramienta de corte para cada montaje de mecanizado y de conexión de los elementos en sí.

Posteriormente se presentara la descripción detallada del sistema de control con el cual se manipulara los montajes de mecanizado del sistema modular.

Igualmente, dado que los elementos básicos del sistema modular se podrán acoplar en un sin número de montajes, al final de capitulo se presentan los montajes correctos para cada uno de los mecanizados a desarrollar por este en el proyecto y las razones por las cuales son las más recomendada.

4.5.1 Sistema físico del sistema modular CAD

El diseño geométrico realizado con la ayuda de la herramienta CAD, SOLID WORKS, será verificado en capítulos posteriores al realizarse: un estudio de esfuerzos de la estructura a través de herramientas CAE y al realizar la selección de los componentes principales del diseño respecto a los cálculos básicos de fuerzas de mecanizado que posteriormente también se mostrará.

✓ Módulos

- **Conjunto básico módulos**

Como ya se ha mencionado durante todo el texto los módulos son la pieza o sub sistema esencial que hacen del sistema modular de mecanizado una herramienta versátil para todos los tipos de mecanizado ya mencionados (fresado, torneado y corte de hilo caliente), pues son los elementos que ocasionan el movimiento lineal; que dependiendo del número de ellos que se conecten se obtendrá el tipo de mecanizado.

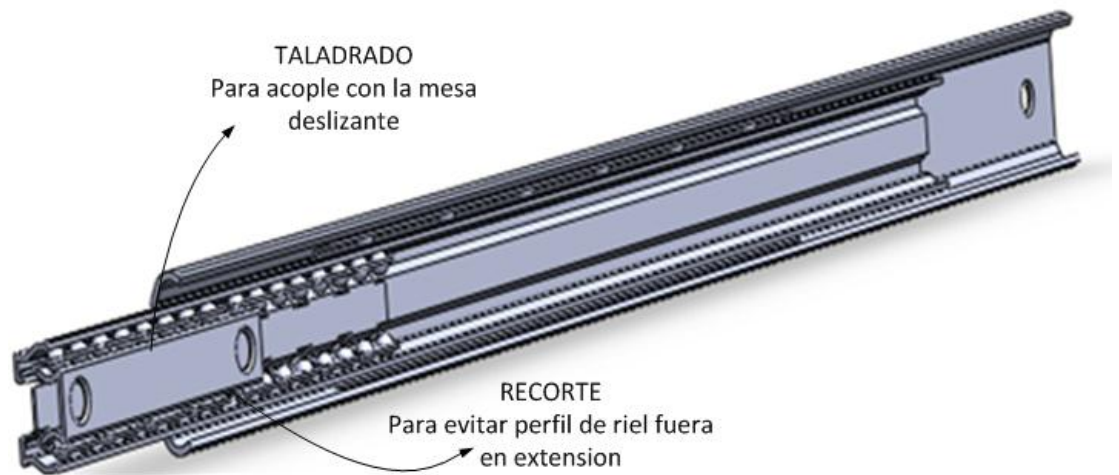
Los módulos están compuestos por:

- Guías lineales

Las guías lineales seleccionadas son telescópicas conocidas en el mercado como STERLING dimensionalmente como se muestra en el catálogo⁷. Pero con la variación geométrica de recorte de la guía exterior para que se acople a la longitud de la mesa deslizante. Ver figura 38.

⁷ Ver anexo G

Figura 38. Guías lineales sterling.



Fuente: autores

- Estructura soporte

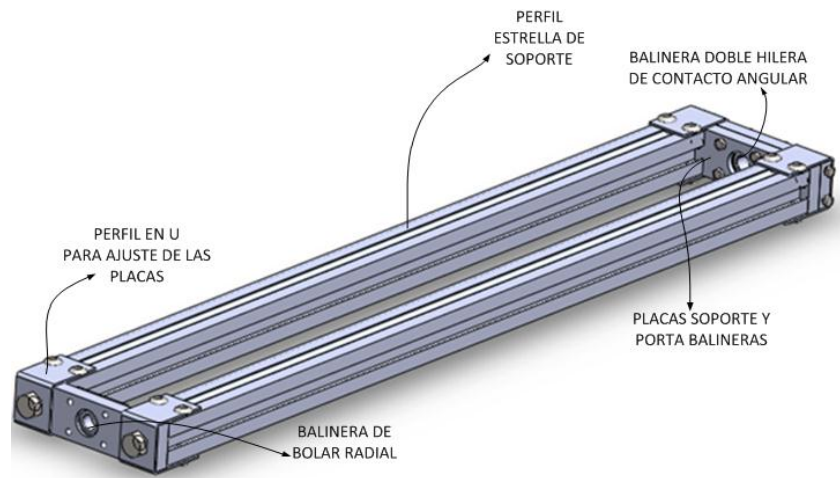
La estructura soporte de los módulos, como se muestra en la figura 39, consta de dos perfiles de aluminio estrella cuadrada de 35 mm de lado, junto con tres placas en las cuales estas puestas los rodamientos.

Dos placas unidas por pernos para el rodamiento de doble hilera de contacto angular que tiene el ancho mayor

Y una placa con tapa apernada para el rodamiento de bolas rígido de menor ancho.

Igualmente tienen perfilera en U para la unión de las placas con los perfiles estrella y las uniones mecánicas respectivas como tuercas y remaches según se muestra.

Figura 39. Estructura soporte de los módulos.



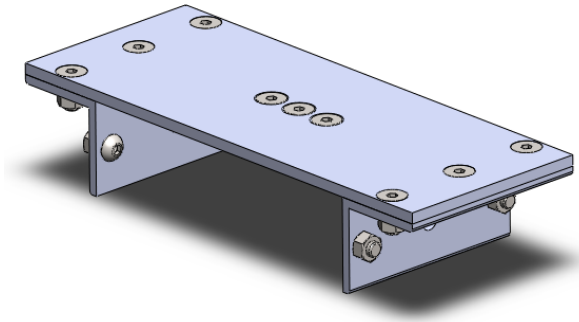
Fuente: autores

- Mesa deslizante

La mesa deslizante será la pieza de comunicación entre el movimiento lineal que ocasiona el tornillo o el deslizamiento para el caso de los módulos deslizantes, e igualmente es la mesa en la cual se conectarán tanto portaherramientas como otros módulos. Ver figura 40 y 41 para más detalle.

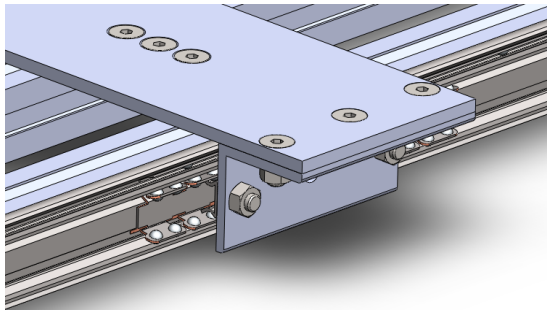
Y está compuesta por láminas de aluminio de $\frac{1}{4}$ in de espesor, perfil en L para conexión con los rieles de extensión y perfilera media estrella para interconexión entre módulos y entre acoples para la herramienta.

Figura 40. Mesa deslizante.



Fuente: autores

Figura 41. Mesa deslizante acoplada a los rieles de extensión.



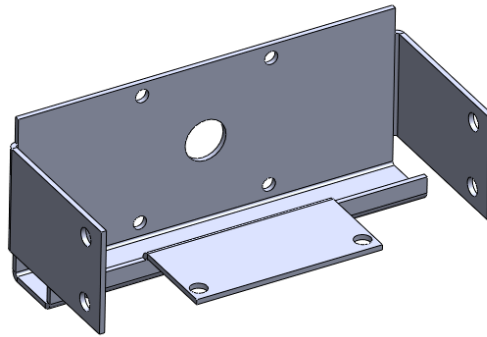
Fuente: autores

- Partes para el acople de la fuente motriz

Son las partes necesarias para crear a partir de un movimiento giratorio un movimiento lineal por parte de los módulos; dentro de los cuales se encuentra:

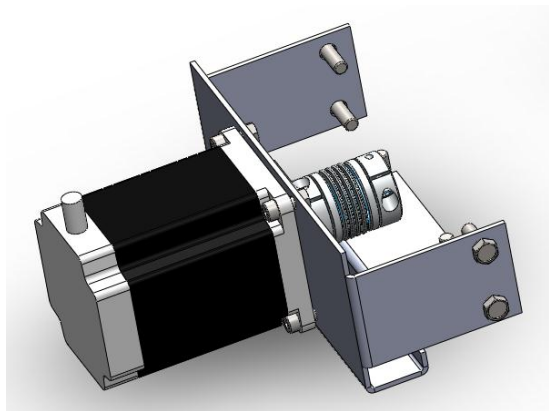
- Acople motor paso a paso: Es una lámina doblada según se muestra en la figura 42 necesaria para el soporte del motor paso a paso en el módulo motriz. El montaje del motor en esta pieza se muestra en la figura 43.

Figura 42. Lamina de acople del motor al módulo motriz.



Fuente: autores

Figura 43. Acople y motor paso a paso junto con la lámina.



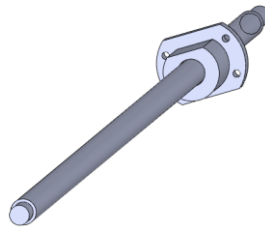
Fuente: autores

- Ensamble tornillo de potencia

Dentro de las piezas que ensamblan el tornillo de potencia se encuentra el mismo tornillo de potencia, el dado de bolas re circulantes con dimensiones como se pueden ver en los anexos⁸ y en las figuras 44 y 45 y finalmente la pieza de acople entre el dado y la mesa deslizante.

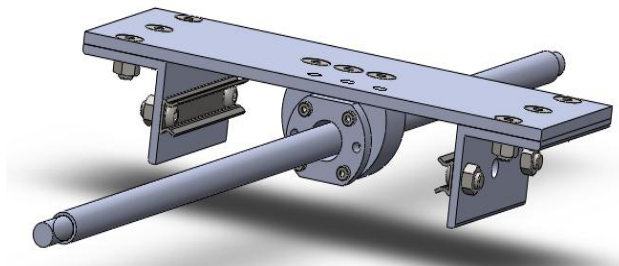
⁸ Ver Anexo E

Figura 44. Tornillo de bolas re circulantes con el dado.



Fuente: autores

Figura 45. Ensamble del tornillo junto pieza de acople con la mesa deslizante.

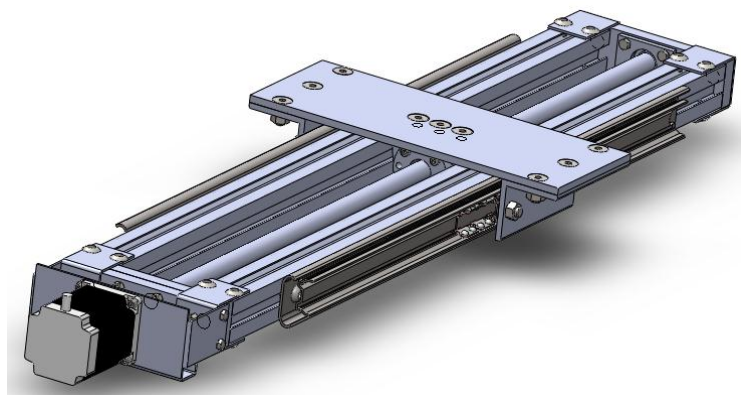


Fuente: autores

- **Ensamble completo modulo motriz**

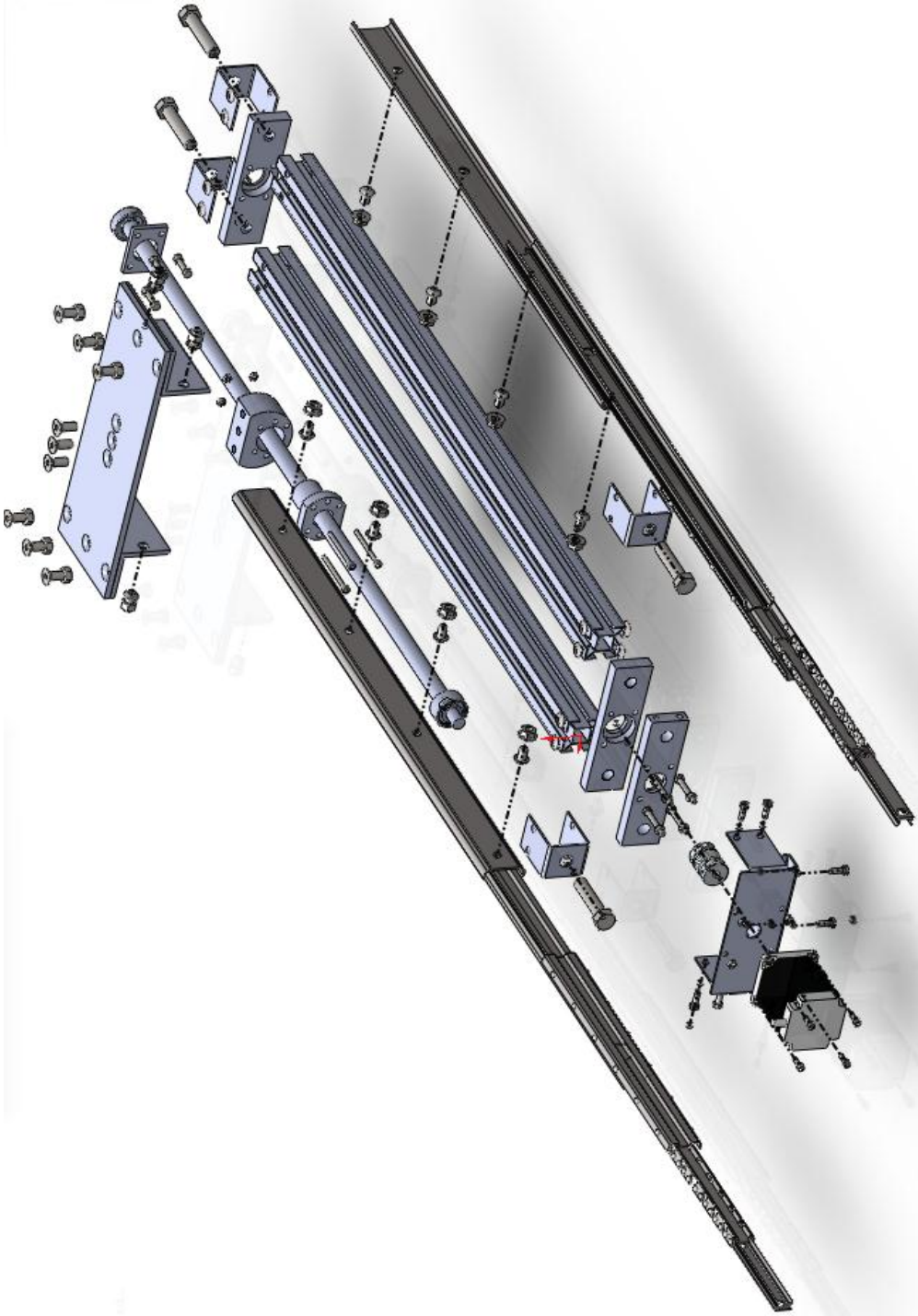
En este ensamble mostrado en la figura 46 y 47, se muestra como quedo esquematizo y diseñado ya finalmente el modulo motriz del sistema modular.

Figura 46. Modulo motriz.



Fuente: autores

Figura 47. Modulo matriz explosionado.



Fuente: autores

✓ Estructura soporte

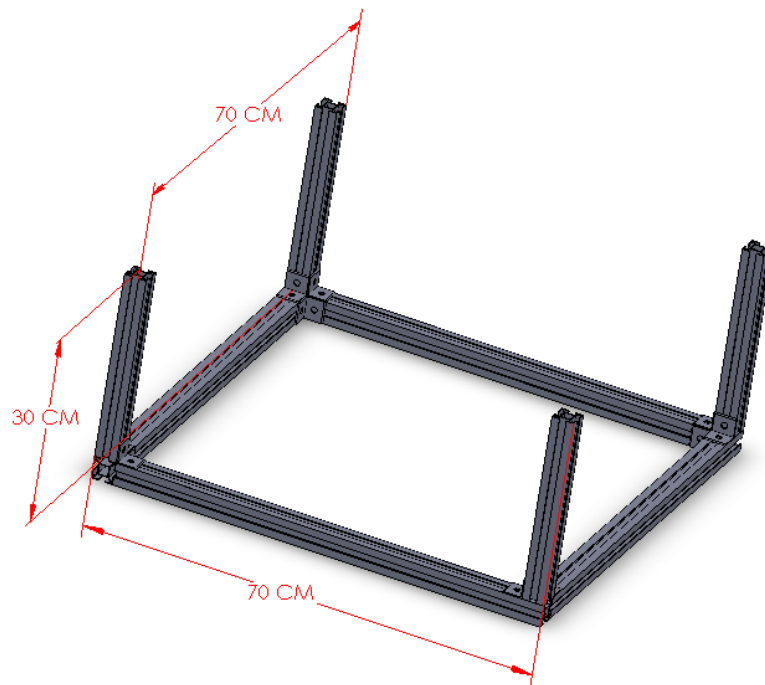
Cada uno de los montajes de mecanizado para el cual fue diseñado el sistema modular necesita de estructura soporte en la cual se acoplan los módulos, ver figura 48 las piezas soportes de las herramientas y las herramientas.

La estructura soporte está básicamente formada por perfiles de aluminio tipo estrella, ángulos L de conexión y accesorios extras como los soportes al piso, tapones de caucho para ocultar bordes cortantes y tornillería de acople.

La estructura soporte básica será la misma para todos los mecanizados, abarcar un volumen de trabajo de 70 x 70 x 70 cm que por razones de montaje de cada tipo de mecanizado variaran.

La estructura básica para todos los montajes es:

Figura 48. Estructura soporte básico para todos los tipos de mecanizado.



Fuente: autores

Con las variaciones para cada uno de los montajes:

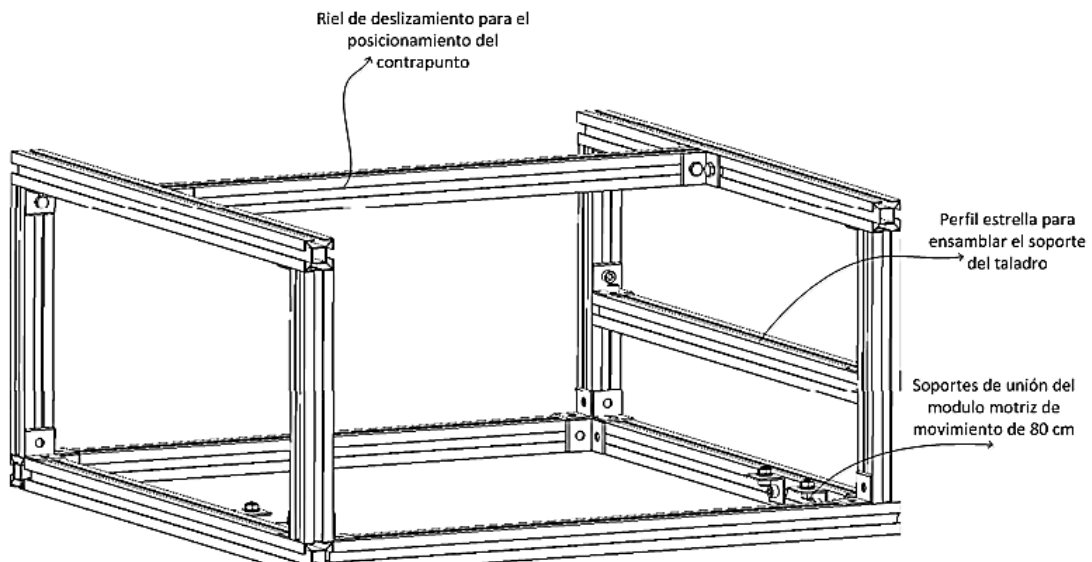
- Para Montaje fresado

Se utiliza exactamente el montaje básico de soporte sin ninguna variación pues la herramienta de corte se encuentra en el módulo matriz de 40 cm para el avance en Z.

- Para Montaje torno

Para el montaje de torno se utilizaran acoples para el taladro fresador como fuente motriz de la pieza en rotación a tornearse y también se utiliza un contrapunto que serán ensamblados a la estructura base según como se muestra en la figura 49.

Figura 49. Estructura soporte montaje torno.



Fuente: autores

- Para el montaje de hilo caliente

Al igual que para el fresado el sistema estructural de acople será el mismo que el mostrado en la figura estructura soporte básico para todos los tipos de mecanizado. Pero con dos perfiles estrellas colocadas transversalmente para mayor estabilidad.

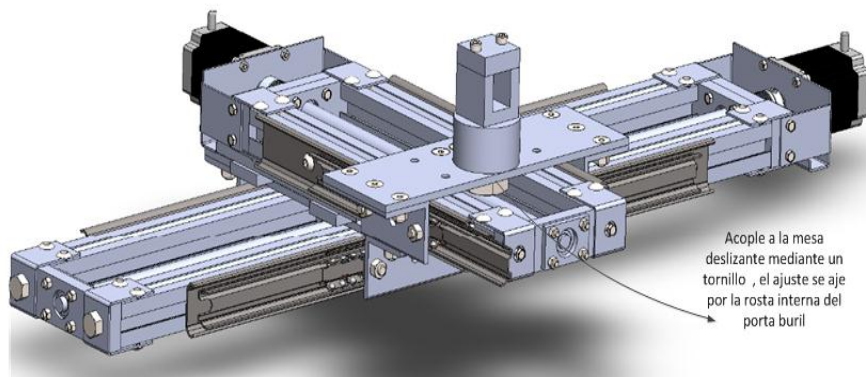
✓ **Piezas de acople de herramienta de corte para los diferentes montajes de mecanizado**

Dado que cada uno de los tipos de mecanizado a realizar por el sistema modular manejan diferente tipo de herramienta, también se hace imprescindible que para cada montaje existan piezas de acople de estas herramientas de corte dentro del sistema.

• **Para torno**

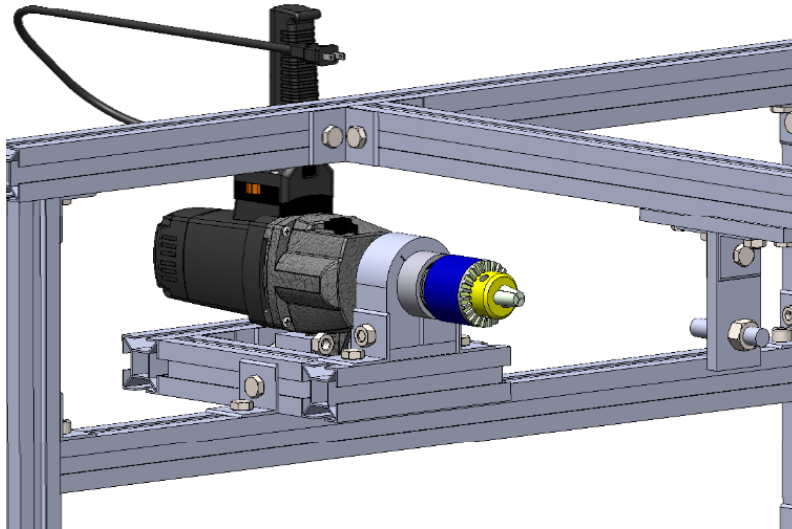
Se muestra en la figura 50, que el acople de la herramienta de corte se hace mediante el montaje apernado de un porta buril en el módulo superior. Y de un taladro en la estructura para el acople del taladro como fuente motriz, ver figura 51.

Figura 50. Acople del porta buril en el módulo pequeño.



Fuente: autores.

Figura 51. Montaje de la fuente motriz en la estructura base. Torno.

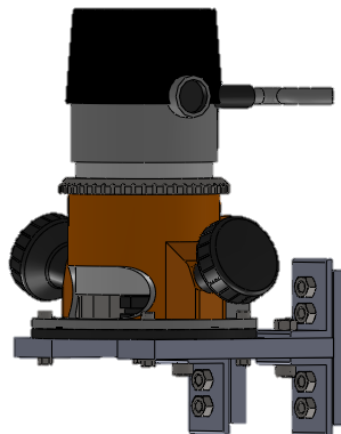


Fuente: autores

- **Para fresa**

Se realizó como se ve en la figura 52, el ensamble de la ruteadora mediante un juego de perfiles en L y platinas de aluminio, todo apernado entre sí hacia el modulo pequeño motriz, para mayor estabilidad.

Figura 52. Pieza de acople de la unidad motriz.

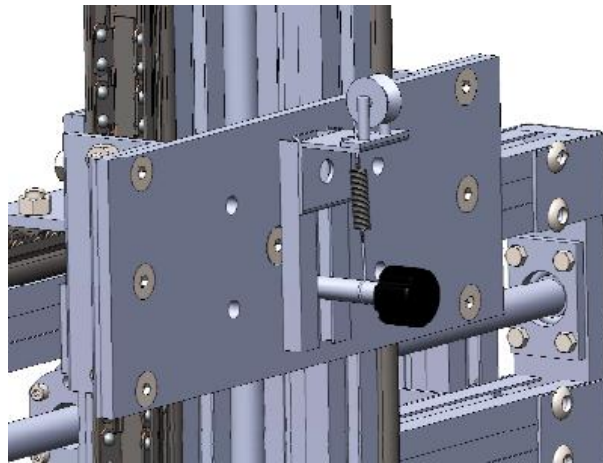


Fuente: autores

- **Para corte de hilo caliente**

Como se muestra en la figura 53. El montaje de la herramienta de corte que para este caso es un alambre de ferroníquel se realizó mediante el acople de un perfil media estrella, como subsistema de soporte y un conjunto de polea, resorte y perilla para el ajuste de tensión que se debe realizar al hilo caliente durante el corte (comportamiento característico del ferroníquel a aplicación de corriente)

Figura 53. Montaje del sistema de corte con hilo caliente.



Fuente: autores

4.5.2 Ensamblajes posibles

Los elementos ya mencionados en las secciones anteriores son los subsistemas de un conjunto modular de mecanizado y como tal, los elementos tienen la propiedad de tener diferentes configuraciones y disposiciones para cumplir con las necesidades de cada uno de los mecanizados, pero no todos son posibles pues tienen desventajas respecto a las disposiciones seleccionadas al final de este capítulo. Que fueron las utilizadas para las pruebas del prototipo.

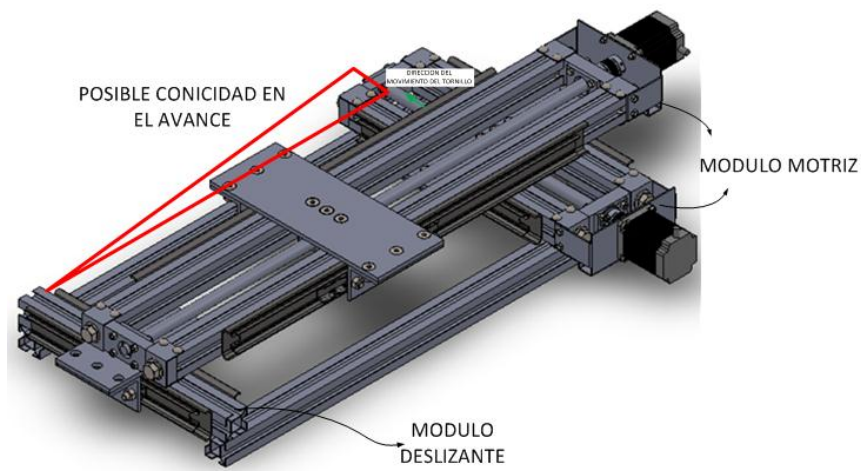
Con el fin de ilustrar la posibilidad que tiene el sistema modular de configurarse de distintas maneras se presenta los posibles montajes de torno que se consideraron para el funcionamiento del prototipo y el por qué uno u otro montaje es ventajoso o no.

- **Ensamblajes posibles de torno**

- número uno.

En el cual se utiliza en el movimiento de un eje dos módulos uno motriz y otro deslizante como se muestra en la figura 54.

Figura 54. Posible montaje de torno número uno.



Fuentes: autores

Las ventajas y desventajas de este montaje se pueden ver en el cuadro 2.

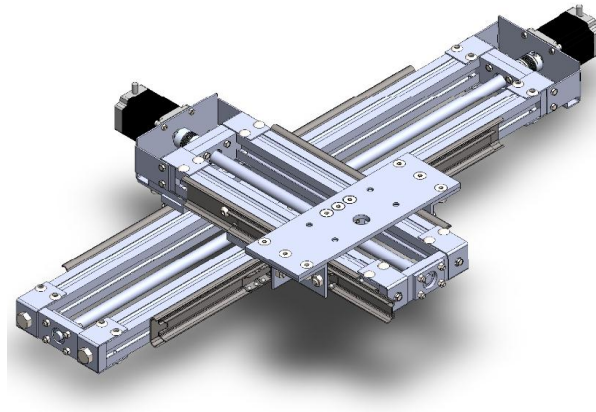
Cuadro 2. Ventajas de desventajas del montaje número uno de torno.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Poseer el menor número posible de motores haciéndolo más económico. 	<ul style="list-style-type: none"> • es posible que durante el avance del torneado se produzca conicidad no deseada, debido al arrastre del módulo deslizante.

○ Número dos

Para este tipo de montaje el error de conicidad es eliminado y se utiliza un módulo por eje, como se muestra en la figura 55, y como se puede observar al ancho de los módulos permite hacer esta configuración con estabilidad.

Figura 55. Posible montaje de torno número dos.



Fuentes: autores

Cuadro 3. Ventajas de desventajas del montaje número dos de torno.

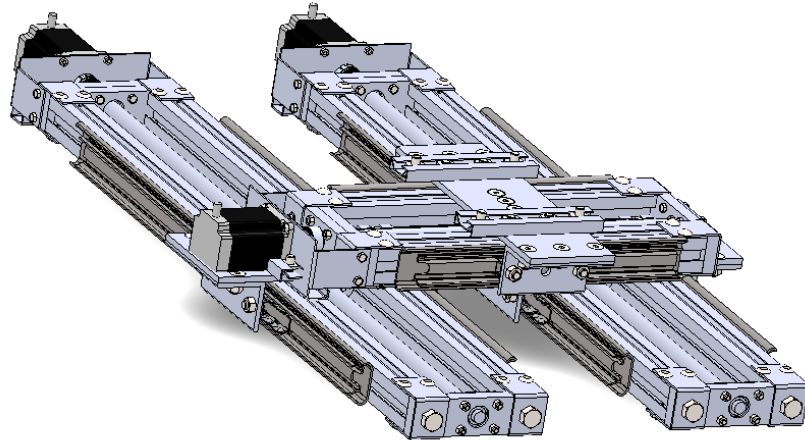
VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Diseño sencillo al tener menor número de piezas. • No produce conicidad debido a tener una fuente motriz por eje 	<ul style="list-style-type: none"> • Posible tambaleo, pero ignorado debido al área de soporte que se abarca. Y a la estructura que igualmente lo apoya

Fuente: autores

- Número tres

En este montaje o configuración según como se muestra en la figura 56 el movimiento lineal se realiza por dos, las ventajas y desventajas se muestran en el cuadro 4.

Figura 56. Posible montaje de torno número tres.



Fuente: autores

Cuadro 4. Ventajas de desventajas del montaje número tres de torno.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Mayor estabilidad • Se elimina la conicidad que se presentaba al tener un módulo motriz y uno deslizante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estructuralmente es muy robusto y con solo un módulo motriz de 80 cm es suficiente para tener buena estabilidad pues esta ayudado de conjunto de perfiles estructurares.

Fuente: autores

Para los demás montajes mostrados en esta tesis, como los demás montajes posibles que considere el usuario queda a cargo de evaluación del mismo usuario.

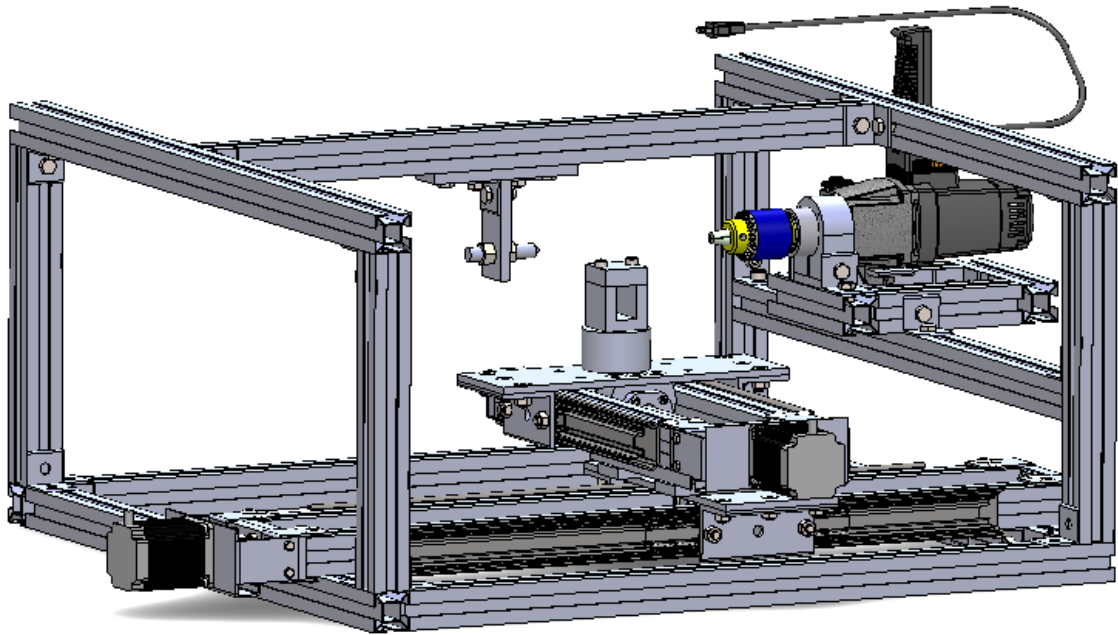
4.5.3 Ensamblados finales de las diferentes configuraciones de mecanizado

Debido a que estos montajes presentaron la mayor estabilidad y las mejores características de movimiento según su tipo de mecanizado, fueron los montajes seleccionados para las pruebas de mecanizado.

- **Montaje torno seleccionado**

El seleccionado es el modelo de montaje dos por que presento el mejor cuadro de ventajas y desventajas. Ver figura 57.

Figura 57. Montaje de torno completo.

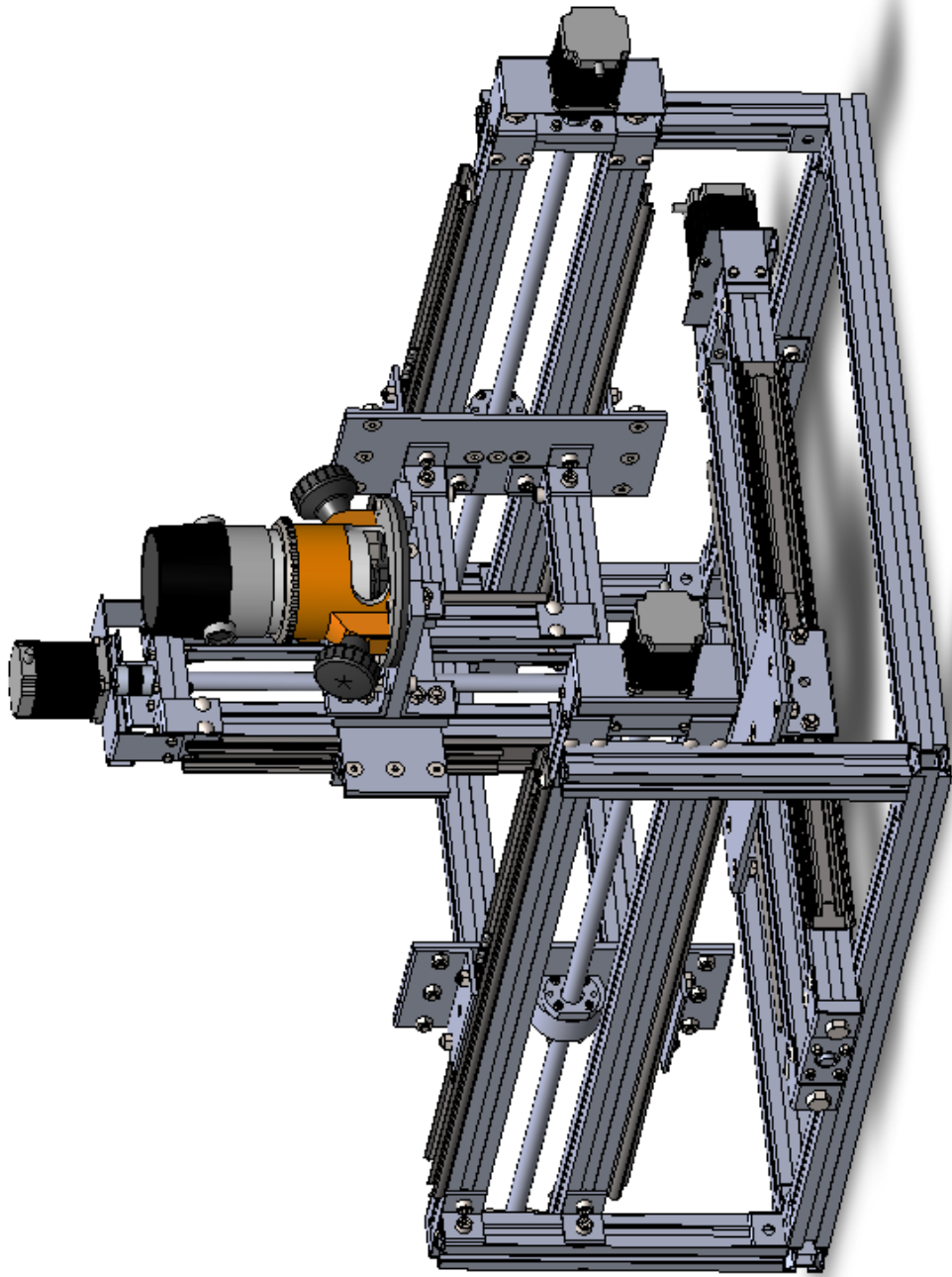


Fuente: autores

- **Montaje fresa seleccionado**

El montaje de fresa seleccionado se muestra en la figura 58.

Figura 58. Montaje de fresa completo.

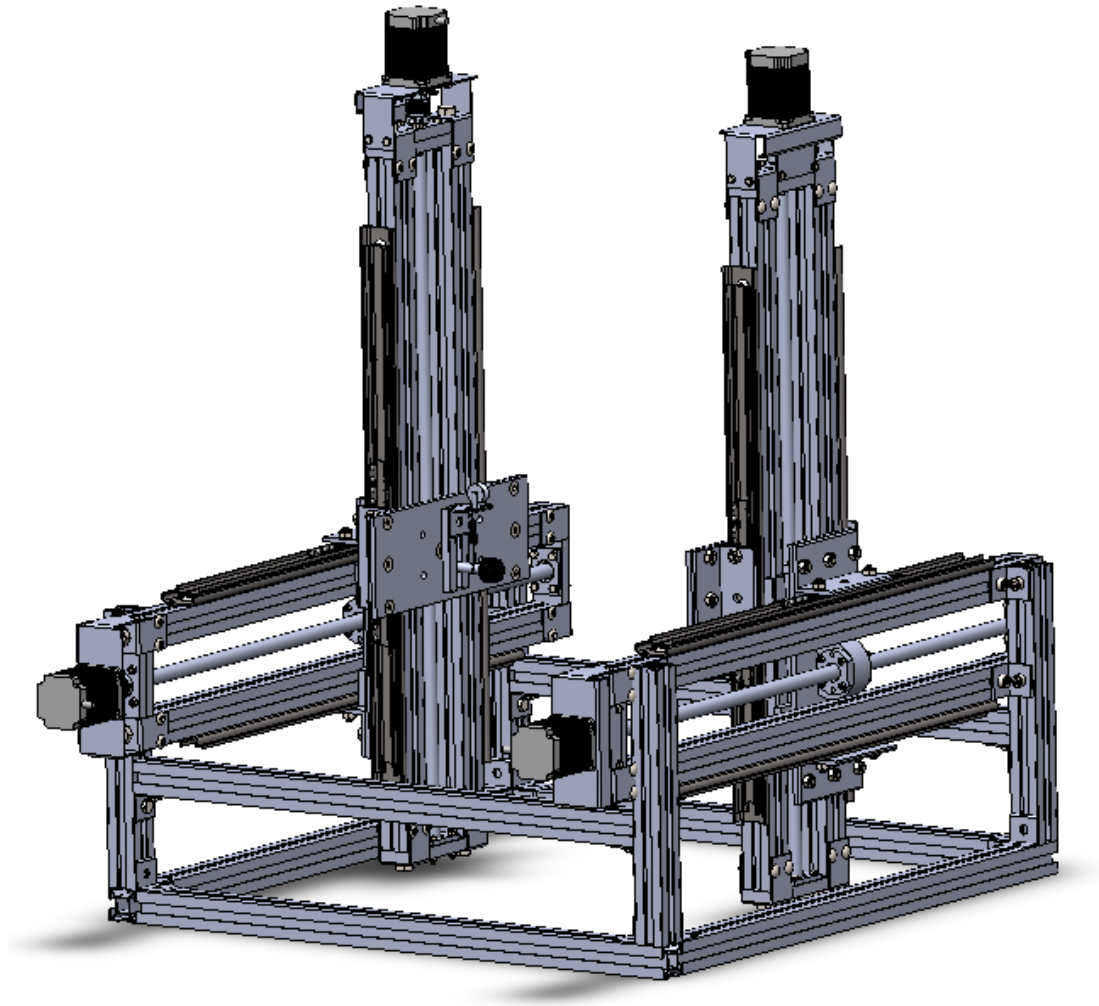


Fuente: autores

- **Montaje hilo caliente seleccionado**

Se realizó con 4 módulos motrices de 80 con la configuración mostrada en la figura 59.

Figura 59. Montaje de corte de hilo caliente completo.

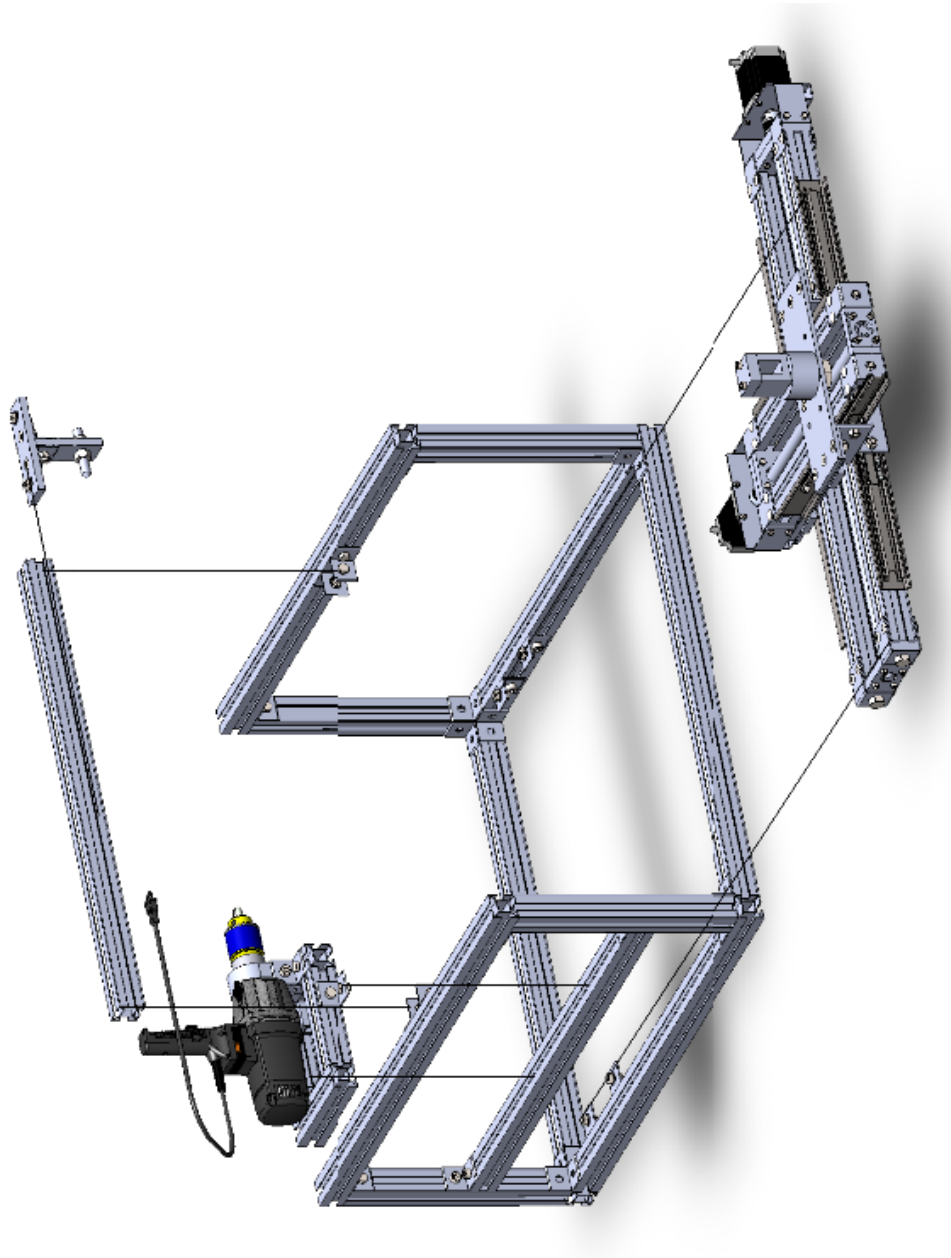


Fuente: autores

Para mayor información acerca de cada uno de los montajes y sus piezas respectivas ver planos.

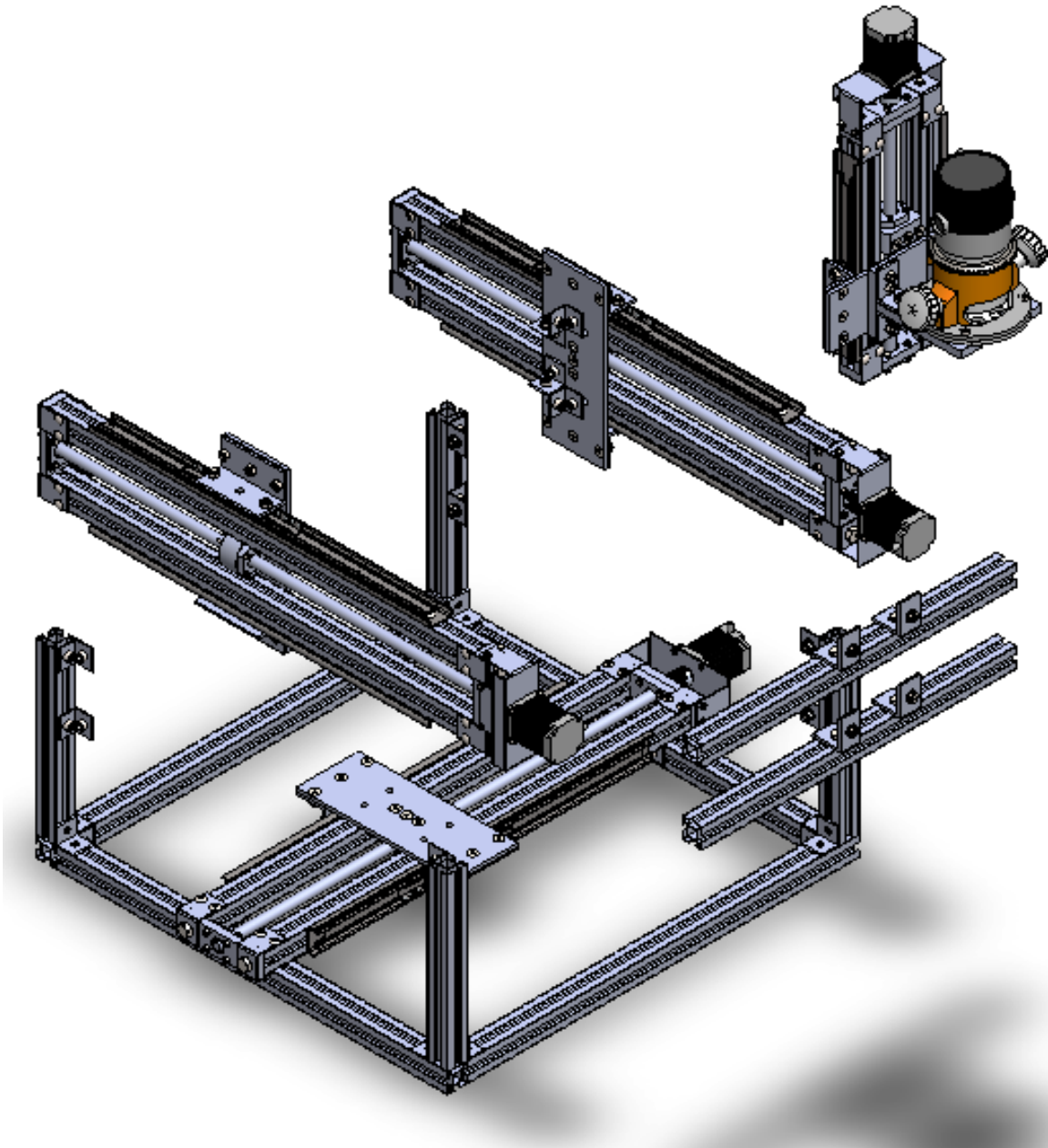
Desde la figura 60 a la 62 se muestra cada uno de los montajes ya estructurados pero de forma explosionada para mayor entendimiento del montaje.

Figura 60. Montaje de torno completo explosionado.



Fuente: autores.

Figura 61. Montaje de fresa completo explosionado.



Fuente: autores

Figura 62. Montaje de corte de hilo caliente completo.



Fuente: autores

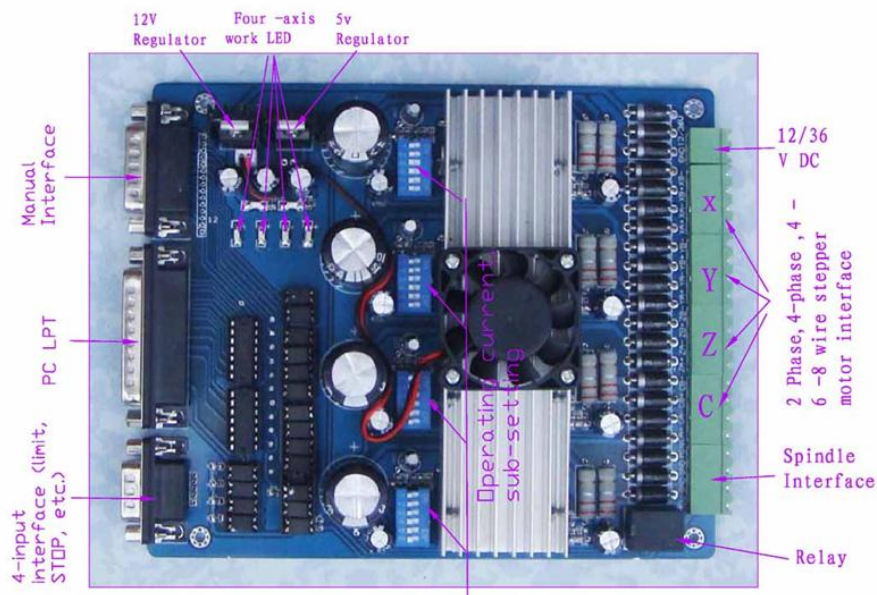
Para mayor información de la maquina ver planos en el anexo K.

4.5.4 Sistema de control

- Tarjeta de potencia

Esta tarjeta de potencia, mostrada en la figura 63, es la necesaria para el control de los motores paso a paso del sistema modular de mecanizado, pues gracias a esta tarjeta se controla al suministro de corriente necesaria en las bobinas de los motores paso a paso para el movimiento de los mismos y protege de sobre voltajes o sobre corrientes el computador.

Figura 63. Tarjeta de potencia.



Fuente: data sheet tarjeta de potencia⁹

Las conexiones tanto de las entradas como salidas de la tarjeta de potencia se muestran en el anexo F

⁹ Ver anexo F

- **Fuente de alimentación**

Es una fuente de 24 Voltios 10 amperios regulada necesaria para el suministro de corriente de los motores paso a paso mediante la tarjeta de potencia. Ver figura 64.

Se alimenta de una 110 o 220 V como se puede ver en el data sheet de esta.¹⁰

Figura 64. Fuente de potencia EBC.



Fuente: EBC

- **Software mach 3**

UTILIZADO PARA LAS PRUEBAS

Este software es un paquete que se ejecuta en un PC, lo conveniente y poderoso de este programa lo convierte en un control de máquinas económica para reemplazar los costosos y existentes en el mercado.

Se ejecuta hasta en Windows XP con un procesador de 1GHz. Lo que lo hace un programa ejecutable casi en cualquier computador de escritorio disponible en estos momentos.

El MACH 3 se comunica principalmente por puerto paralelo y por puerto serial COM, teniendo en cuenta que los controladores de los motores de la

¹⁰ Ver anexo I

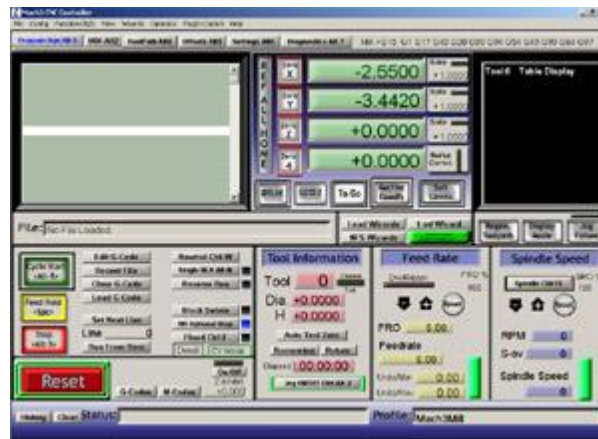
maquina deben aceptar pulsos de paso y señales de dirección (exactamente lo que utiliza el diseño de control del prototipo de sistema modular).

Su interfaz gráfica se muestra en la figura 63.

Algunas de las mejores características que posee este programa son:

- Algunos controles de usuario como paradas de emergencia (el cual debe ser indispensable en toda máquina herramienta)

Figura 65. Interface visual del software.



Fuente: mach 3 manual

- Control de dos o tres ejes que están en ángulo recto entre ellos como los ejes coordenados.
- Control de herramientas con movimiento relativo a una pieza de trabajo
- Opción de introducir entradas que digan cuando la herramienta está en la posición de inicio HOME.

- Opción de introducir entradas que digan al programa que se encuentra la herramienta en posiciones límites de mecanizado.(mediante finales de carrera por ejemplo)
- Tiene la opción de hacerse conexiones de entradas con las teclas del teclado del PC.
- Puede controlar hasta seis ejes, coordinando sus movimientos simultáneos con interpolación lineal o ejecutando interpolación circular en dos ejes, mientras realiza interpolación lineal de los otros cuatro con el ángulo siendo barrido por la interpolación circular.
- Puede encender husillos y controlar tanto en encendido, como la velocidad y el sentido de giro.
- Almacena las propiedades hasta de 256 herramientas diferentes, pero en el caso de ser un cambiador automático se tendrán que controlar por un operario.

Todas las señales de salida y de son entradas están en digital binarias. Estas señales son los voltajes suministrados por los pines de salida o suministrados a los pines de entrada del puerto paralelo por el cual se comunica el programa.

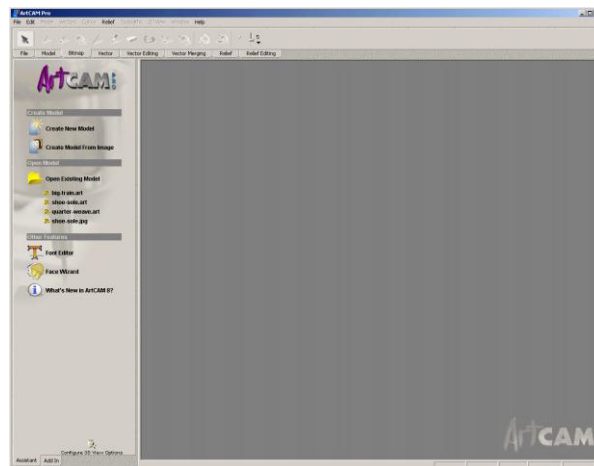
- **Software CAM (MASTERCAM Y ARTCAM) posibles a utilizar por el usuario.**

ARTCAM PRO

Permite realizar complejos relieves en 3D. Se pueden crear dentro de este software fácilmente mapas de bits en 2D o pueden ser importados desde otros software de diseño CAD (como Solid Work para nuestro caso).

Igualmente tiene herramientas de edición y combinación de relieves y también tiene simuladores de visualización completa de la mecanizada antes de la fabricación. Ver figura 66 para visualizar la interfaz gráfica.

Figura 66. Interfaz gráfica de ARTCAM pro.

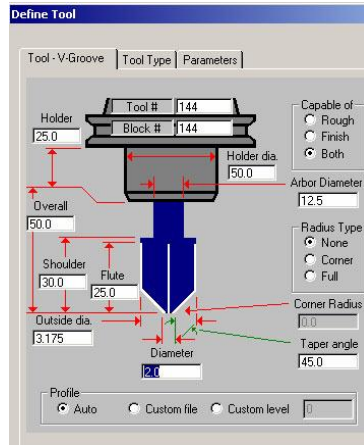


Fuente: manual de instalación ARTCAM

MASTERCAM

Es el mejor programa CAD/CAM en el mercado ya que permite la creación de líneas, círculos, arcos y hasta la generación de superficies en tres dimensiones, para posteriormente agregar sus operaciones de corte como barrenado, corte de contornos, etc. Además de definir variantes como el tipo de herramienta a utilizar, velocidad de giro y avance del router, generación de códigos, entre otras cosas más, como las mostradas en la figura 67 y cuadro 5

Figura 67. Librería de edición de herramientas MASTERCAM.



Fuente: manual del usuario MASTERCAM

Operaciones posibles en MASTERCAM

Cuadro 5. Operaciones posibles de MASTERCAM.

CAD	Router Entry	Router	Router Pro
Construcción de geometría wireframe 3D y dimensionado	✓	✓	✓
Traductores de lectores y escritura (IGES, DXF, SAT, STL, Parasolid y más)	✓	✓	✓
Traductores DWG, EPS y Raster a vectores		✓	✓
Creador de geometrías de puertas		✓	✓
Nesting Básico		✓	✓
Creación de superficies		Opcional	✓
Creación de sólidos		Opcional	Opcional
Nesting Avanzado		Opcional	Opcional

CAM	Router Entry	Router	Router Pro
Trayectoria de herramientas completamente asociadas	✓	✓	✓
Barrenado	✓	✓	✓
Contornos 2D	✓	✓	✓
Contorno, retoque y remaquinado 3D		✓	✓
Desbaste básico	✓	✓	✓
Desbaste avanzado (incluyendo desbaste abierto)		✓	✓
Tabs		✓	✓
Editor de trayectorias de herramientas		✓	✓
Optimización de velocidades de avance		✓	✓
Simulación de corte		✓	✓
Grabado		Opcional	Opcional
Desbaste de superficies			✓
Acabado de superficies			✓
Maquinado de limpieza de superficies			✓
Maquinados en 4 y 5 ejes			✓
Contornos, recortes y barrenos en 5 ejes		Opcional	✓

Fuente: manual del usuario MASTERCAM

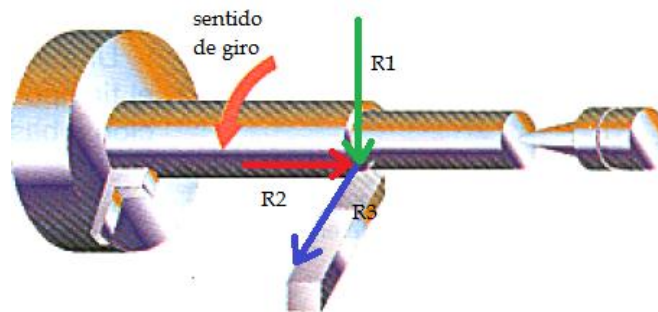
4.6 FUERZAS INVOLUCRADAS EN CADA UNO DE LOS MONTAJES SELECCIONADOS

Cada uno de los tipos de mecanizado está caracterizado por poseer un estado de fuerzas representativo, y para los montajes de los tipos de mecanizado capaz de ejecutar que han sido seleccionados, están involucradas distintas fuerzas según se muestra a continuación:

4.6.1 En el torneado

Las fuerzas presentes según se muestra en la figura 68 son:

Figura 68. Fuerzas presentes en el torneado.



Fuente: Autores

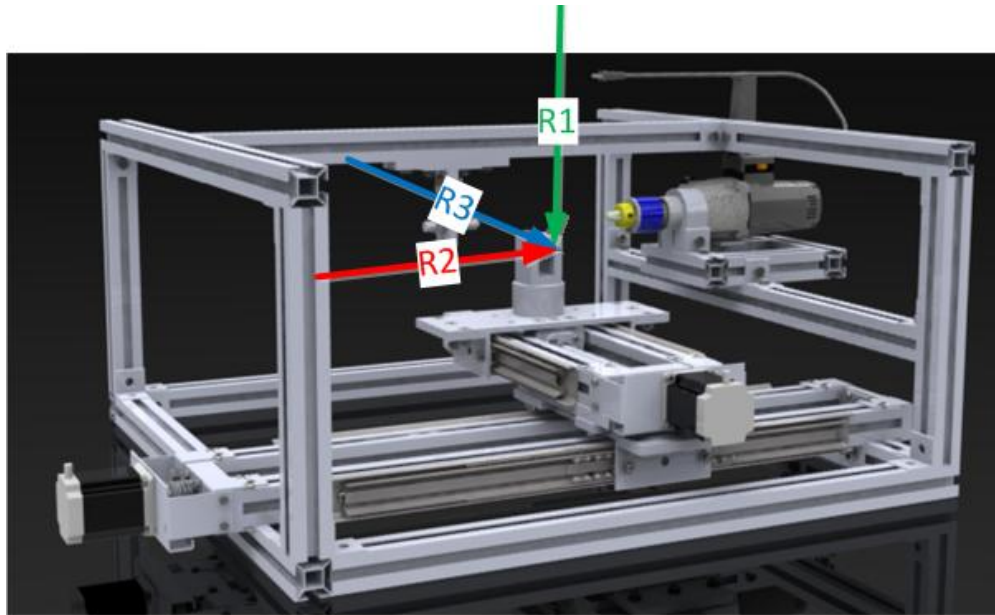
COMPONENTE TANGENCIAL A LA PIEZA (R1): dirigida en el sentido de corte que es la reacción de corte esta fuerza absorbe la mayor parte de la potencia

COMPONENTE RESISTENCIA AL AVANCE (R2): es tangente también a la pieza pero dirigida en el sentido de avance del carro. No absorbe más que una pequeña parte de la potencia ya que la velocidad de desplazamiento de la cuchilla es relativamente pequeña

COMPONENTE RESISTENCIA DE PENETRACION(R3): Es una componente según el eje de la cuchilla , perpendicular al plano determinado por las otras dos, llamada reacción de penetración, no absorbe ninguna potencia por ser de naturaleza estática , tendiendo únicamente a rechazar la herramienta

Dado el montaje de torno seleccionado se muestran las fuerzas en el montaje en la figura 69.

Figura 69. Estado de fuerzas del montaje de torneado.



Fuente: autores

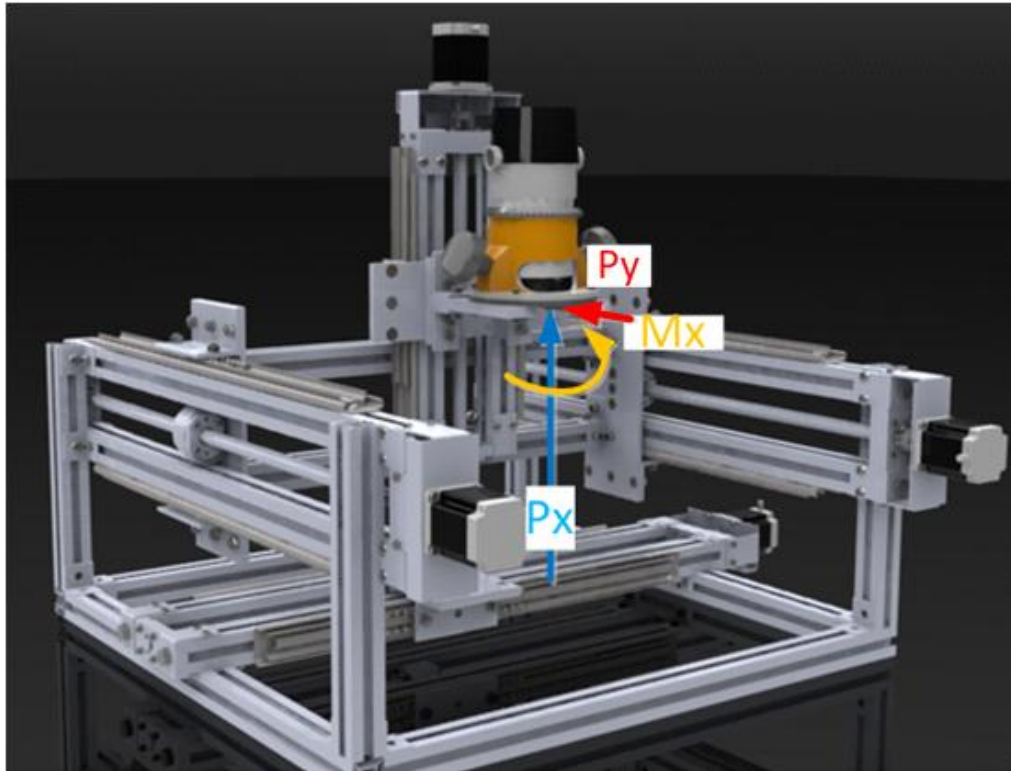
Igualmente estas fuerzas se distribuyen en el sistema de la siguiente manera

R3: es la necesaria por el tornillo de potencia para generar la profundidad del torneado, y es la que será utilizada para el diseño y selección del tornillo

R1 y R2: estas fuerzas serán soportadas por el sistema estructural del prototipo

4.6.2 En el fresado

Figura 70. Estado de fuerzas del montaje de fresado.



Fuente: autores

Las fuerzas presentes tanto en el fresado como en el taladrado son dos fundamentalmente como se muestra en la figura 70.

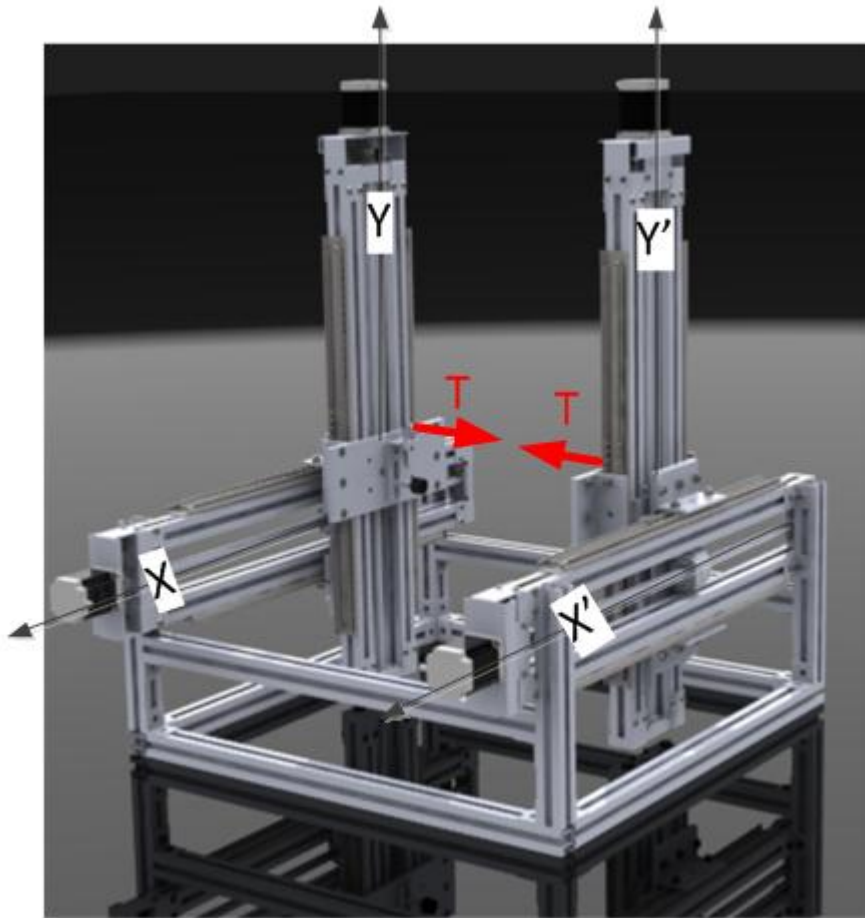
P_x : esta fuerza es la fuerza que debe ejercer el tornillo de potencia para el avance de penetración tanto en el fresado como en taladrado.

P_y : fuerza de avance perpendicular a la fuerza P_x .

M_x : esta momento es el ocasionado por el movimiento puro de rotación que deben hacer las herramientas de fresa y de taladro para realizar la remoción de material; este momento es puramente soportado por el sistema estructural de Perfilaría de aluminio.

4.6.3 En el corte de hilo caliente

Figura 71. Estado de fuerzas del montaje de corte de hilo.



Fuente: autores

En el caso del corte de hilo caliente para el icopor se presentan fuerzas casi nulas para el avance por los ejes X X' Y Y' por lo que no serán calculadas.

Pero si existe una tensión (**T**) a lo largo del hilo caliente durante el corte del icopor que aunque pequeña en comparación con las otras fuerzas presentes en otros tipos de formación de pieza, debe ser considerada con fines solamente de evaluó de estabilidad del sistema en el momento del corte. Ver figura 71.

Para el cálculo de estas fuerzas existen diferentes autores que han trabajado al respecto y se evalúa a continuación el cálculo de ellas para posteriormente seleccionar las mayores con el fin de crear un factor de seguridad que nos asegure un buen diseño del sistema modular de mecanizado en cada una de sus configuraciones.

Alguna de estas fuerzas calculadas estarán involucradas directamente en el tornillo de potencia (en su selección), en el motor (como torque de avance a la fuerza axial necesaria a soportar) y otras (la mayoría) serán soportadas en el sistema estructural de cada uno de los montajes.

Después del cálculo de dichas fuerzas se evalúa el diseño de los elementos del sistema modular tanto matemáticamente como con herramienta de análisis estructural CAE.

4.7 CALCULO DE LAS FUERZAS PRESENTES EN LA HERRAMIENTA PARA LOS PRINCIPALES MÉTODOS DE REMOCIÓN DE MATERIAL¹¹

4.7.1 Calculo de las fuerzas según diferentes autores

Para tener en cuenta según el manual HERRAMIENTAS DE CORTE PARA EL MECANIZADO DE ALUMINIO, PLANSEE TIZIT nos recomienda que para el cálculo de las fuerzas de corte en el aluminio, se deben realizar los cálculos para el corte de acero y el 30% de esas fuerzas serán las presentes en el corte de aluminio; es por esto que para los cálculos de fuerzas de mecanizado en los que se corta acero al final de ellos se realiza la corrección del 30% respectiva.

- **Según: Problemas y ejemplos de corte de metales y herramientas de corte. N. Nefiodov.**

CALCULO DE LAS FUERZAS PRESENTES EN EL TALADRADO

Dadas las ecuaciones anteriormente mostradas según el autor las fuerzas de mecanizado para los siguientes datos mostrados se calcularon de la siguiente manera:

Datos para el cálculo de la fuerza axial y del momento torsor: ver cuadro 6.

Taladrado lamina caliente de acero 40 con $S_u = 65 \left[\frac{Kgf}{mm^2} \right]$

Y utilizando herramienta de corte en acero rápido.

¹¹ Ver marco teórico de referencia anexo A

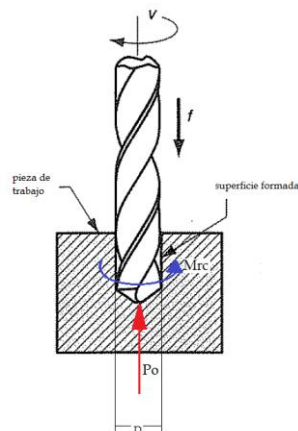
Cuadro 6. Datos del problema.

Diámetro de perforación	D	20 [mm]
Profundidad de taladrado	t	80[mm]
avance	S	$0.4 \left[\frac{mm}{rev} \right]$
CONSTANTES EVALUADAS RESPECTO AL MATERIAL DE CORTE Y CARACTERISTICAS DEL MECANIZADO <i>Datos tomados referencia [2]</i>		
C_p	68	
q_p	1	
y_p	0.7	
n_p	0.75	

Fuente: autores

Y respecto a las fuerzas involucradas en el taladrado de la figura 72.

Figura 72. Fuerzas involucradas en el taladrado.



Fuente: Autores

- FUERZA AXIAL

Calculo de la fuerza axial P_o

$$P_o = 9.81 * C_p * D^{a_p} * S^{y_p} * K_p \quad (\text{Ec. 1})$$

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{S_y}{75}\right)^{n_p} \quad (\text{Ec. 2})$$

Reemplazando en la ecuación (Ec. 1) y en la (Ec. 2):

$$P_o = 9.81 * 68 * 20^1 * 0.4^{0.7} * K_p$$

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{65}{75}\right)^{0.75}$$

$$K_p = 0.89$$

$$P_o = 9.81 * 68 * 20^1 * 0.4^{0.7} * 0.89$$

$$P_o = 6252,3[N]$$

Realizando el ajuste por tratarse de cote de aluminio del 30%

$$P_o = 6252,3 * 0.3[N]$$

$P_o = 1875,63 [N]$ Fuerza axial de perforación en el taladrado

- MOMENTO TORSOR

Calculo del momento torsor M_{rc} :

$$M_{rc} = 9,81 * C_m * D^{z_m} * S^{y_m} * K_{m_m} \text{ (Ec. 3)}$$

$$K_{m_m} = \left(\frac{S_y}{75}\right)^{n_p} \text{ (Ec. 4)}$$

CONSTANTES EVALUADAS RESPECTO AL MATERIAL DE CORTE
Y CARACTERISTICAS DEL MECANIZADO

Datos tomados referencia [2]

C_m	0.0345
z_m	2
y_m	0.8
n_p	0.75

Reemplazando en la ecuación (Ec. 3) y (Ec. 4):

$$M_{rc} = 9,81 * 0.0345 * 20^2 * 0.4^{0.8} * K_{m_m}$$

$$K_{m_m} = \left(\frac{65}{75}\right)^{0.75}$$

$$K_{m_m} = 0.89$$

$$M_{rc} = 9,81 * 0.0345 * 20^2 * 0.4^{0.8} * 0.89$$

$$M_{rc} = 57.88 \text{ [N.m]}$$

Realizando el ajuste por tratarse de cote de aluminio del 30%

$$M_{rc} = 57.88 * 0.3 \text{ [N.m]}$$

$M_{rc} = 17.364 \text{ [N.m]}$ Momento torsor de mecanizado para el
taladrado

CALCULOS DE LAS FUERZAS PRESENTES EN EL TORNEADO

Dadas las ecuaciones mostradas en los anexo por diferentes autores, las fuerzas de mecanizado en el torneado se pueden calcular (referenciándose a la figura: fuerzas presentes en el torneado) para los siguientes datos de la siguiente manera.

Datos para el cálculo:

Se torneara acero 40 con resistencia a la rotura $S_u = 65 \left[\frac{Kgf}{mm^2} \right]$

La herramienta de corte a utilizar será aleación dura T5K10

Las constantes K_{φ_p} son para un Angulo $\varphi = 60[^\circ]$

Las constantes K_{λ_p} son respecto al ángulo de inclinación de filo 10°

Con los datos mostrados en el cuadro 7 y 8.

Cuadro 7. Datos para el cálculo de fuerzas en el torneado.

Velocidad de corte	v	110 [mm/rev]
Profundidad de corte	t	4[mm]
Avance de la cuchilla	S	$0.6 \left[\frac{mm}{rev} \right]$
Angulo de la cuchilla de corte	φ	60[°]

Fuente: autores

Cuadro 8. Constantes seleccionadas respecto a las condiciones de corte del torneado.

CONSTANTES EVALUADAS RESPECTO AL MATERIAL DE CORTE Y CARACTERISTICAS DEL MECANIZADO							
<i>Datos tomados referencia [2]</i>							
C_{px}	339	y_{px}	0.5	n_{p1}	0.75	$K_{\lambda_{px}}$	0.85
C_{py}	243	y_{py}	0.6	n_{p2}	1.35	$K_{\lambda_{py}}$	1.25
C_{pz}	300	y_{pz}	0.75	n_{p3}	1	$K_{\lambda_{pz}}$	1
x_{px}	1	n_{px}	-0.4	$K_{\varphi_{px}}$	1.11		
x_{py}	0.9	n_{py}	-0.3	$K_{\varphi_{py}}$	0.77		
x_{pz}	1	n_{pz}	-0.15	$K_{\varphi_{pz}}$	0.94		

Fuente: autores

- FUERZA TANGENCIAL (R1)

$$R_1 = 9.81 * C_{pz} * t^{x_{pz}} * S^{y_{pz}} * v^{n_{pz}} * K_{pz} \quad (\text{Ec. 5})$$

- FUERZA DE AVANCE (R2)

$$R_2 = 9.81 * C_{px} * t^{x_{px}} * S^{y_{px}} * v^{n_{px}} * K_{px} \quad (\text{Ec. 6})$$

- FUERZA DE PENETRACION (R3)

$$R_3 = 9.81 * C_{py} * t^{x_{py}} * S^{y_{py}} * v^{n_{py}} * K_{py} \quad (\text{Ec. 7})$$

$$K_{pz} = K_{m_{pz}} * K_{\varphi_{pz}} * K_{\lambda_{pz}} \text{ (Ec. 8)}$$

$$K_{py} = K_{m_{py}} * K_{\varphi_{py}} * K_{\lambda_{py}} \text{ (Ec. 9)}$$

$$K_{px} = K_{m_{px}} * K_{\varphi_{px}} * K_{\lambda_{px}} \text{ (Ec. 10)}$$

$$K_{m_{pz}} = \left(\frac{S_u}{75}\right)^{n_{p1}} \text{ (Ec. 11)}$$

$$K_{m_{py}} = \left(\frac{S_u}{75}\right)^{n_{p3}} \text{ (Ec. 12)}$$

$$K_{m_{px}} = \left(\frac{S_u}{75}\right)^{n_{p2}} \text{ (Ec. 13)}$$

Reemplazando en las ecuaciones 5, 6,7 los datos:

$$R_1 = 9.81 * 300 * 4^1 * 0.6^{0.75} * 110^{-0.15} * K_{pz}$$

$$R_2 = 9.81 * 339 * 4^1 * 0.6^{0.5} * 110^{-0.4} * K_{px}$$

$$R_3 = 9.81 * 243 * 4^{0.9} * 0.6^{0.6} * 110^{-0.3} * K_{py}$$

Y en las ecuaciones , 8, 9, 10.

$$K_{pz} = K_{m_{pz}} * 0.94 * 1$$

$$K_{py} = K_{m_{py}} * 0.77 * 1.25$$

$$K_{px} = K_{m_{px}} * 1.11 * 0.85$$

Y en las ecuaciones 11, 12,13.

$$K_{m_{pz}} = \left(\frac{65}{75}\right)^{0.75}$$

$$K_{m_{pz}} = 0.9$$

$$K_{m_{py}} = \left(\frac{65}{75}\right)^{1.35}$$

$$K_{m_{py}} = 0.83$$

$$K_{m_{px}} = \left(\frac{65}{75}\right)^1$$

$$K_{m_{px}} = 0.77$$

$$K_{pz} = 0.9 * 0.94 * 1$$

$$K_{pz} = 0.846$$

$$K_{py} = 0.83 * 0.77 * 1.25$$

$$K_{py} = 0.7988$$

$$K_{px} = 0.77 * 1.11 * 0.85$$

$$K_{px} = 0.7264$$

$$R_1 = 9.81 * 300 * 4^1 * 0.6^{0.75} * 110^{-0.15} * 0.846$$

$$R_1 = 3440[N]$$

$$R_2 = 9.81 * 339 * 4^1 * 0.6^{0.5} * 110^{-0.4} * 0.7264$$

$$R_2 = 1320 [N]$$

$$R_3 = 9.81 * 243 * 4^{0.9} * 0.6^{0.6} * 110^{-0.3} * 0.7988$$

$$R_3 = 1220[N]$$

Realizando el ajuste por tratarse de cote de aluminio del 30%

$$R_1 = 3440 * 0.3[N]$$

$$R_2 = 1320 * 0.3 [N]$$

$$R_3 = 1220 * 0.3[N]$$

$R_1 = 1032[N]$ Fuerza tangencial de mecanizado en el torneado

$R_2 = 396[N]$ Fuerza axial o fuerza de avance en el torneado

$R_3 = 366[N]$ Fuerza radial de mecanizado en el torneado

- Según: teoría y práctica de las herramientas de corte.
BLANPAIN, Eduardo

CALCULO DE LAS FUERZAS PRESENTES EN EL TORNEADO

Según graficas dadas por el texto y realizando el cálculo para las propiedades de resistencia ultima a la rotura del acero de $45 \left[\frac{Kgf}{mm^2} \right]$ para una

sección de viruta S: $S = p * a$

Para las mismas condiciones de mecanizado para el cálculo de las fuerzas de corte anteriormente por el otro autor. Los datos se muestran en el cuadro 9.

Cuadro 9. Datos de torneado necesarios.

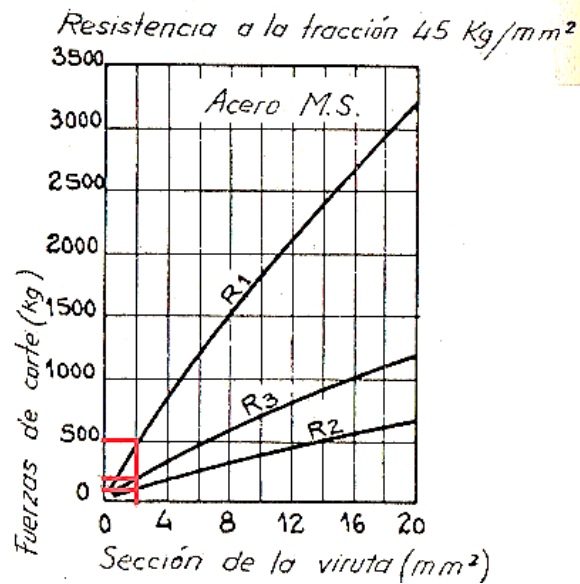
Profundidad de corte	p	4[mm]
avance	a	0.6[mm]

Fuente: autores

$$S = 2.44[mm^2]$$

Tomando esta área de viruta y tomando la gráfica de acero ya mencionada el corte con cada una de las líneas nos da los valores mostrados en la gráfica .Ver figura 73.

Figura 73. Grafica de fuerzas de corte para acero.



$$R_1 = 500[Kgf] = 5000[N]$$

$$R_2 = 120[Kgf] = 1200[N]$$

$$R_3 = 200[Kgf] = 2000[N]$$

Realizando el ajuste por tratarse de cote de aluminio del 30%

$$R_1 = 5000 * 0.3 [N]$$

$$R_2 = 1200 * 0.3 [N]$$

$$R_3 = 2000 * 0.3 [N]$$

$R_1 = 1500 [N]$ Fuerza tangencial de mecanizado en el torneado

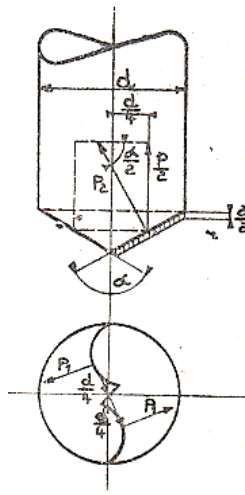
$R_2 = 360 [N]$ Fuerza axial o fuerza de avance en el torneado

$R_3 = 600 [N]$ Fuerza radial de mecanizado en el torneado

CALCULO DE LAS FUERZAS PRESENTES EN EL TALADRADO

Las fuerzas que en un proceso de corte por taladrado normal se presentan son las que se muestran en la figura 74.

Figura 74. Modelo de fuerzas en el taladrado.



Fuente: Teoría y práctica de las herramientas de corte, BLANPAIN,

Datos necesarios para el cálculo en el cuadro 10.

Cuadro 10. Datos para el cálculo de fuerzas en el taladrado Blanpain.

Diámetro de la broca	d	mm	12	<i>Según maquinas cálculo de taller por casillas para el corte de aluminio¹²</i>
Avance por revolución	a	mm	0.24	
Fuerza específica de corte	K_s	$\left[\frac{Kgf}{mm^2}\right]$	75	
Angulo de la broca	α	$[^\circ]$	120	

Fuente: autores

Reemplazando en la ecuación ya mostrada en el marco teórico

$$P_1 = P_2 = S * K_s = \frac{d * a}{4} * K_s \quad (\text{Ec. 14})$$

Siendo α 120[°]

$$P = 0.433 * a * d * K_s$$

El momento torsor ejercido por la broca debe ser de:

$$M = \frac{a * d^2}{8} * K_s [Kgf - mm] \quad (\text{Ec. 14})$$

Conociendo el K_s del aluminio y reemplazando valores en las ecuaciones 13 y 14.

$$P = 0.433 * 0.24 * 12 * 75$$

$$P = 935.28[N]$$

$$M = \frac{0.24 * 12^2}{8} * 75 [Kgf - mm]$$

¹² Ver anexo C

$$M = 324[\text{Kgf} - \text{mm}]$$

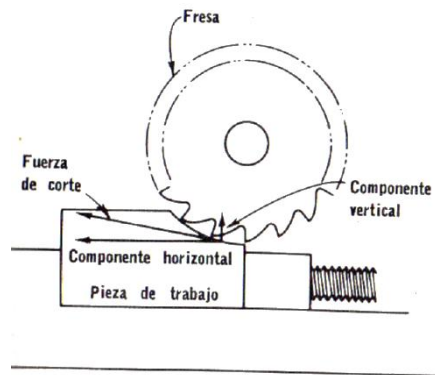
$$P = 935.28[\text{N}] \text{ Fuerza axial de perforación en el taladrado}$$

$$M = 3.18[\text{N} \cdot \text{m}] \text{ Momento torsor de mecanizado para el taladrado}$$

FUERZAS PRESENTES EN EL FRESADO

Las principales fuerzas presentes en el fresado se muestran en el figura 75.

Figura 75. Fuerza de corte en el fresado.



Fuente: principios fundamentales para el diseño de herramientas. Frank W. Wilson, ASTME

Para los siguientes datos límites de mecanizado mostrados en el cuadro 11.

Cuadro 11. Datos para cálculo fuerzas en el fresado.

Numero de dientes en la fresa	d	4		Según máquinas cálculo de taller por casillas para el corte de aluminio ¹³
Profundidad de la pasada	t	3	[mm]	
Avance por diente	S_d	0.2	[mm]	
Velocidad de corte para el aluminio	v	30-40	$\left[\frac{m}{minj}\right]$	
Ancho de la pasada	B	75	[mm]	
Diámetro de la fresa	D	110	[mm]	

Fuente: autores

Dadas las expresiones mostradas en el marco teórico de referencia.

$$P_t = 66 * t^{0.95} * S_d^{0.8} * \left(\frac{B}{D}\right)^{1.1} * d * k_{R\epsilon} * k_{v\epsilon} * k_{p\epsilon} * k_{u\epsilon} \text{ (Ec. 15)}$$

$$M = P_t * \left(\frac{D}{2}\right) \text{ (Ec. 16)}$$

Para la elección del diámetro y el número de dientes de la fresa según el ancho de pasada de utilizo la tabla 2. Con los coeficientes de corte de la figura 76.

Tabla 2. Elección del diámetro (D) y el número de dientes (d) de una fresa según el ancho de la pasada.

B(mm)	60/75	75/100	100/150	130/200	150/220
D(mm)	110	150	200	250	300
d	2/4	4/6	6/8	8/10	8/10

Fuente: autores y teoría y práctica de las herramientas de corte. Blanpain

¹³ Ver anexo B

Figura 76. Valores de los coeficientes de corrección de corte.

Diámetro de la fresa D mm	k_D		Carga de rotura del acero trabajado R_r kg/mm ²	k_R		Angulo de desprendimiento γ°	k_{pe}	N.º de dientes de la fresa d	k_{cie}
	k_{Dv}	k_{De}		k_{Rv}	k_{Re}				
110	0,89	1,95	≤ 60	1,20	0,85	20	0,89	2	0,33
150	0,96	1,38	60 - 80	1,00	1,00	10	1,00	4	0,66
200	1,00	1,00	80 - 100	0,69	1,15	0	1,12	6	1,00
250	1,045	0,78	100 - 120	0,52	1,30	-10	1,26	8	1,33
300	1,09	0,64	120 - 140	0,40	1,45	-20	1,37	9	1,66
Profundidad de pasada t mm	k_t		Duración de la fresa en minutos T	k_T		Velocidad de corte v m/min	k_{ve}	Desgaste admisible u mm	k_{ue}
	k_{tv}	k_{te}		k_{Tv}	k_{Te}				
1	1,00	1,00	100	1,22	1,32	50	1,00	0	1,00
2	0,96	2,15	200	1,09	1,11	100	0,955	0,5	1,15
3	0,94	3,35	300	1,00	1,00	150	0,930	1,0	1,25
4	0,92	4,70	400	0,95	0,93	200	0,900	1,5	1,35
5	0,91	5,90	500	0,91	0,88	300	0,875	2,0	1,45
6	0,90	7,15	600	0,87	0,84	400	0,860	3,0	1,60
Calidad del metal duro empleado	k_{nc}		maquinabilidad del acero				coeficiente k_{av}		
	$R_r \leq 90$	$R_r > 90$							
T 15 K 6	1,00	1,0	contenido en carbono del acero C < 0,6%				1,00		
T 15 K 6 espec.	1,10	1,1	contenido en carbono del acero > 0,6 %				0,85		
T 5 K 10 espec.	0,75	0,9	acero al Cr, CrNi, CrV, CrNiMo				1,10		
Características de la superficie trabajada	k_{Bv}		acero al Mn, CrMn, CrMnMo, CrMnTi				0,90		
			aceros de herramientas al CrW				0,75		
Sin puntos duros	1,17		aceros rápidos (normales y especiales), aceros de herramientas con alto contenido de Cr				0,66		
Con puntos duros	1,00								

Fuente: teoría y práctica de las herramientas de corte. Blanpain

Reemplazando valores en la ecuación 15.

$$P_t = 66 * 3^{0,95} * 0,2^{0,8} * \left(\frac{75}{110}\right)^{1,1} * 4 * 0,85 * 1 * 0,89 * 1$$

$$P_t = 102.692[Kgf] = 1026.92[N]$$

Y el momento torsor correspondiente para el fresado de la ecuaciones 16.

$$M = 1026.92 * \left(\frac{0.110}{2}\right)$$

$$M = 56.43 [N.m]$$

La fuerza de avance perpendicular se puede calcular mediante la fuerza específica de corte

$$Py = Ks * Am \text{ (Ec. 17)}$$

Ks: fuerza específica de corte.

Am: área de corte.

Dado que el material de corte máximo del sistema modular es el aluminio, la fuerza de corte en unidades de lb/in² es 106650 [lb/in²]

Para un área de corte 1.5 [mm²] (2,33x10⁻³ [in²]) como ejemplo. Reemplazando en la ecuación 17.

$$Py = 106650 * 2,33 \times 10^{-3}$$

Como resultado

$$Py = 248,49[lb] = 1105,34[N]$$

Resumiendo los resultados.

$P_t = 1026.92[N]$ Fuerza periférica de corte en el fresado

$Py = 1105,34[N]$ Fuerza perpendicular de avance en el fresado

$M = 56.43 [N.m]$ Momento torsor necesario para el fresado

- Según: **Calculo de las fuerzas según la influencia de la sección de la viruta según Kronenberg**

CALCULO DE LAS FUERZAS PRESENTES EN EL TORNEADO

Conociendo la sección de la viruta de los ejemplos anteriores de mecanizado

Presión de corte κ_s

Sección de la viruta $S \quad 2.44[mm^2] \approx 2.5 [mm^2]$

$$\kappa_s = \frac{C_{\kappa s}}{E_{\kappa s} \sqrt{S}}$$

Esta fórmula se desarrolla con el cuadro 12 y tabla 3 a continuación.

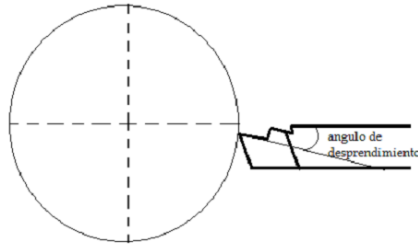
Cuadro 12. Valores de $C_{\kappa s}$ en $\left[\frac{Kgf}{mm^2}\right]$

Angulo de desprendimiento en grados	acero resistencia en Kgf/ mm2			
	50	60	70	80
5	263	301	340	380
10	254	291	329	367
15	245	280	317	354
20	235	270	304	340
25	225	258	291	325
30	215	246	278	310

Fuente: teoría y práctica de las herramientas de corte. Blanpain

C_{ks} y E_{ks} dependen del material trabajado, de la forma de cuchilla y principalmente del Angulo de desprendimiento 30° . Ver figura 77.

Figura 77. Angulo de desprendimiento.



Fuente: autores

$$C_{ks} = 215 \left[\frac{Kgf}{mm^2} \right]$$

Tabla 3. Factor $\frac{S}{E_{ks}\sqrt{S}}$ para el corte de acero.

	Acero						
S	2	3	4	5	10	15	20
$\frac{S}{E_{ks}\sqrt{S}}$	1,75	2,4	3,1	3,6	6,4	8,8	11,2

VALOR INTERPOLADO =2

Fuente: teoría y práctica de las herramientas de corte. Blanpain

$$\frac{S}{E_{ks}\sqrt{S}} = 2.0$$

Dado que según el autor la fuerza más influyente en la reacción de corte R1 se calcula las otras a partir de esta según las ecuaciones:

$$R_1 = S * \kappa_s \text{ (Ec. 18)}$$

$$R_2 = \frac{R_1}{5} \text{ (Ec. 19)}$$

$$R_3 = \frac{R_1}{2.5} \text{ (Ec. 20)}$$

Reemplazando en las ecuaciones 18,19 y 20.

$$R_1 = \frac{S}{E_{ks} \sqrt{S}} * C_{ks}$$

$$R_1 = 215 * 2$$

$$R_1 = 446[Kgf] = 4460[N]$$

$$R_2 = \frac{4460}{5}$$

$$R_2 = 892[N]$$

$$R_3 = \frac{4460}{2.5}$$

$$R_3 = 1784.5[N]$$

Realizando el ajuste por tratarse de cote de aluminio del 30%

$$R_1 = 4460 * 0.3[N]$$

$$R_2 = 892 * 0.3 [N]$$

$$R_3 = 1784.5 * 0.3[N]$$

$R_1 = 1338[N]$ Fuerza tangencial de mecanizado en el torneado

$R_2 = 276.6[N]$ Fuerza axial o fuerza de avance en el torneado

$R_3 = 535.35[N]$ Fuerza radial de mecanizado en el torneado

- Según Taylor

Dadas las formulas anteriormente mostradas en el marco teórico.

$$R_1 = 170 * p * a^{0.93} \quad (\text{Ec. 21})$$

Profundidad p 4 [mm]

avance a 0.6[mm]

Reemplazando en al ecuación 21.

$$R_1 = 170 * 4 * 0.6^{0.93}$$

$$R_1 = 4228.5[N]$$

Realizando el ajuste por tratarse de cote de aluminio del 30%

$$R_1 = 4228.5 * 0.3[N]$$

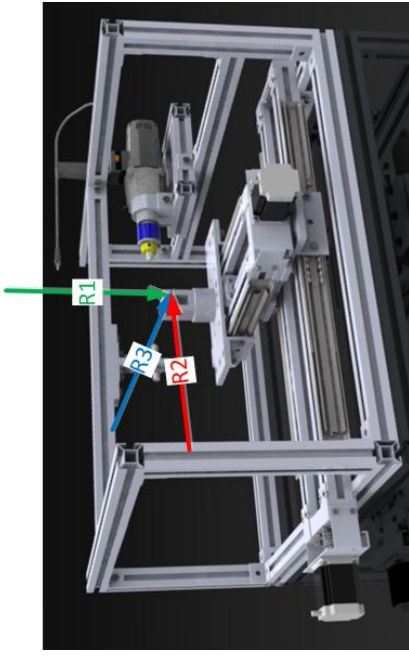
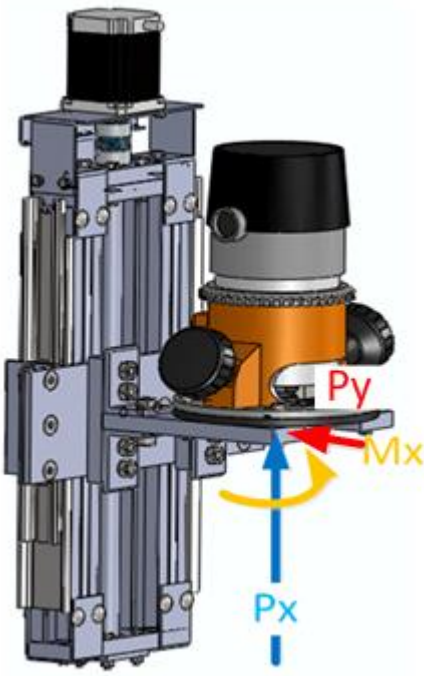
$R_1 = 1268.55[N]$ Fuerza tangencial de mecanizado en el torneado

4.7.2 Selección de las fuerza de corte para diseño

- **Recopilación de todas las fuerzas de corte**

Dado que por medio de diferentes autores se han podido calcular las fuerzas necesarias para el corte de aluminio y su respectiva conexión con la selección de los elementos involucrados en el diseño como lo son los motores paso a paso , como los tornillos de potencia; la presente tabla es una recopilación de todas estas fuerzas y momentos calculados para poder compararlos y seleccionar los mayores , a fin de tener un margen de seguridad entre una teoría y otra y tener una mejor confiabilidad en el diseño del sistema modular. Ver cuadro 13 para recopilación de fuerzas y momentos.

Cuadro 13. Comparación de las fuerzas calculadas.

TORNEADO	FRESADO Y TALADRADO
 <p>Fuente: autores</p>	 <p>Fuente: autores</p>

P_x FUERZA DE AVANCE	P_x FUERZA DE AVANCE VERTICAL
Según Nefiodov = 396[N]	Según Nefiodov = 1875,63 [N]
Según Blainpain grafica= 360[N]	Según Blainpain = 935.28[N]
según Kronenberg = 276.6[N]	
P_y FUERZA DE PENETRACION	M MOMENTO TORSOR
Según Nefiodov = 366[N]	Según Nefiodov = 17.364[N.m]
Según Blainpain grafica= 600[N]	Según Blainpain = 3.18[N.m]
según Kronenberg = 535.35[N]	Según Blainpain fresado= 56.43 [N.m]
P_z FUERZA DE CORTE	P_y FUERZA DE AVANCE PERPENDICULAR
Según Nefiodov = 1032[N]	Según Blainpain= $P_y = 1105,34[N]$
Según Blainpain grafica= 1500[N]	
según Kronenberg = 1338[N]	
según Taylor = 1268.55[N]	

Fuente: autores

- **Seleccionando las mayores fuerzas**

FUERZA MAYOR EN DIRECCION AXIAL DEL TORNILLO DE POTENCIA (avance)

$$P_x = 1875,63 [N]$$

FUERZA MAYOR EN DIRECCION PERPENDICULAR A SOPORTAR POR EL SISTEMA ESTRUCTURAL DEL PROTOTIPO.

$$P_y = 600[N]$$

FUERZA MAYOR DE CORTE PERPENDICULAR A SOPORTAR POR EL SISTEMA ESTRUCTURAL DEL PROTOTIPO.

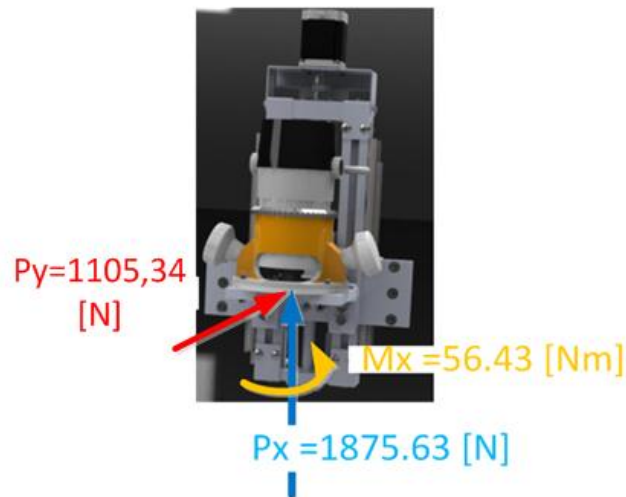
$$P_z = 1500[N]$$

MOMENTO TORSOR DE MECANIZADO

$$M = 56.43 [N.m]$$

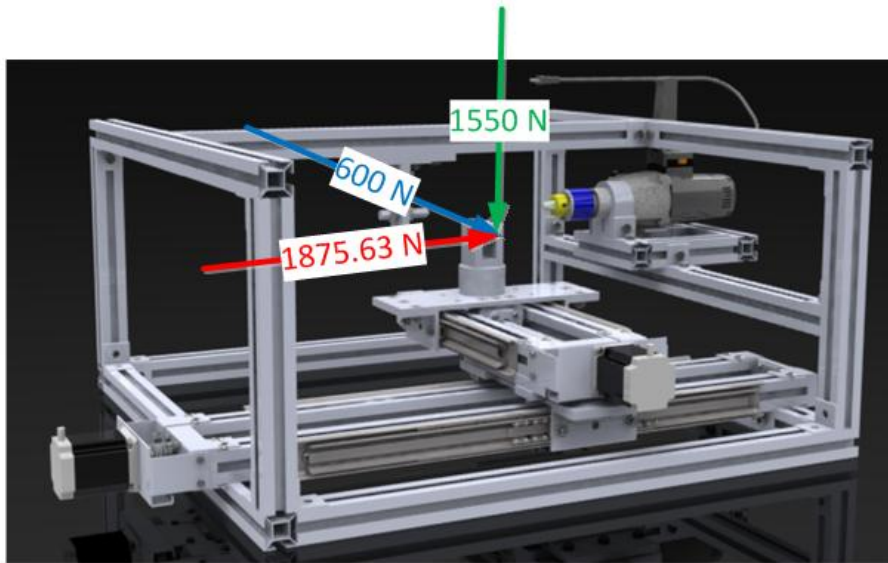
La figura 78 y 79 muestran las mayores fuerzas y momentos ya mencionados en del sistema estructural del prototipo.

Figura 78. Fuerzas más grandes presentes en el fresado y taladrado.



Fuente: autores

Figura 79. Fuerzas más grandes presentes en el torneado.



Fuente: autores

4.8 DETERMINACION DEL FACTOR DE SEGURIDAD UTILIZADO PARA TODO EL DISEÑO

De acuerdo a unas normas suministradas por el texto diseño de máquinas Norton

Se debe escoger un factor de seguridad para el diseño de una maquina al ver en qué condiciones de diseño son en las que se está trabajando la maquina a diseñar y la confiabilidad de las teorías utilizadas para los cálculos. Ver tabla 4.

Realizando el cálculo para material utilizado categorizado como dúctil debe ser el factor de seguridad.

$$FS = \max(F1, F2, F3)$$

Tabla 4. Factores utilizados para determinar un factor de seguridad para materiales dúctiles.

Información	Calidad de la información	Factor
Datos del material disponibles de pruebas	El material realmente utilizado fue probado	<u>F1</u> 1.3
	Datos representativos del material disponibles a partir de pruebas	2
	Datos suficientemente representativos del material disponibles a partir de pruebas	3
	Datos poco representativos del material disponibles a partir de pruebas	5+
Condiciones del entorno en el cual se utilizará		<u>F2</u>
	Idénticas a las condiciones de prueba del material	1.3
	Esencialmente en un entorno de ambiente de habitación	2
	Entorno moderadamente agresivo	3
Modelos analíticos para carga y esfuerzos	Entorno extremadamente agresivo	5+
		<u>F3</u>
	Los modelos han sido probados contra experimentos	1.3
	Los modelos representan al sistema con precisión	2
	Los modelos representan al sistema aproximadamente	3
	Los modelos son una burda aproximación	5+

Fuente: diseño de máquinas. Norton

$$F1 = 1.3$$

$$F2 = 2$$

$$F3 = 2$$

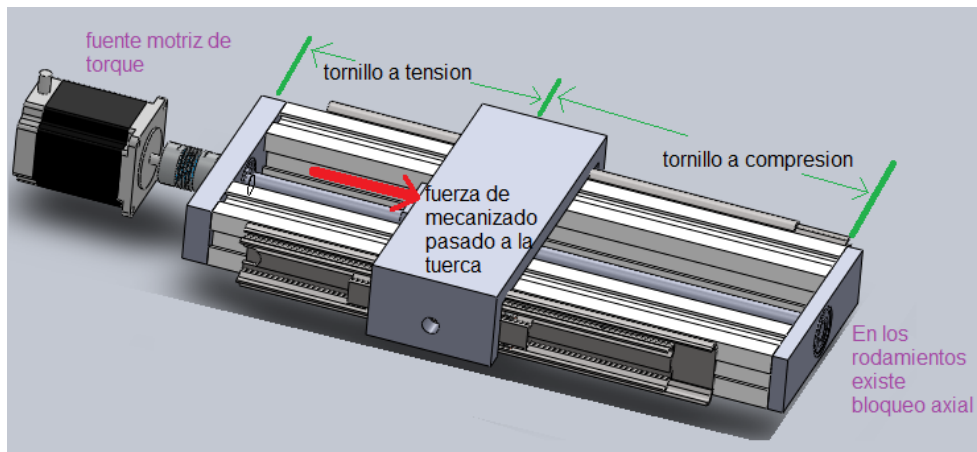
Por lo que el factor de seguridad utilizado durante el diseño del sistema modular será de:

$$\boxed{FS = 2}$$

4.9 SELECCIÓN DE ELEMENTOS DEL SISTEMA MODULAR Y VERIFICACION DE LAS SELECCIONES

4.9.1 Cálculo del diámetro mínimo de raíz del tornillo de potencia para soportar la carga de corte máxima

Figura 80. Estado de carga de tornillo durante el mecanizado.



Fuente: autores

Dado que durante el estado normal de cargas en tornillo, mostrado en la figura 80 experimenta en sus dos extremos estado de tensión y compresión simultáneamente con la misma carga, es entonces necesario evaluar el diámetro mínimo a carga axial de tensión y de compresión.

Datos del tornillo necesarios se muestran en el cuadro 14.

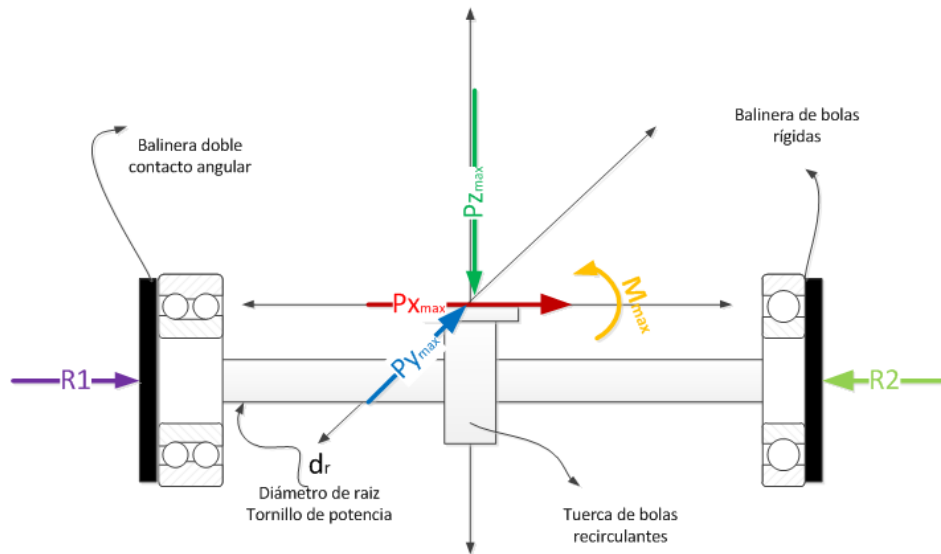
Cuadro 14. Datos del tornillo.

MATERIAL	AISI 420	Acero inoxidable	Según fabricante ¹⁴
PROPIEDADES FISICAS	Resistencia a la fluencia	S_y	345 [MPa]
	Resistencia a la rotura	S_u	690 [MPa]
	Módulo de elasticidad	E	200[GPa]
	dureza	Dur	235[brinell]

Fuente: autores

DIAMETRO MINIMO POR CARGA AXIAL

Figura 81. Estado de cargas en el tornillo de potencia.



Fuente: autores

¹⁴ Ver anexo E

Las fuerzas mostradas en la figura 81 y 82 son las que siempre están presentes en cualquiera de los módulos motrices, y se distribuyen dentro de este de la siguiente manera:

P_x: es única fuerza que está directamente involucrada al tornillo de potencia para su diseño.

P_y, P_z, M : son fuerzas y momentos que serán soportados directamente por la estructura de rieles , perfiles estrella y retenedores de balineras del módulo.

Figura 82. Fuerza en el tornillo involucrada directamente en los cálculos.



Fuente: autores

Dado que la fuerza axial máxima soportada por el tornillo de potencia es

$$P_x = 1875,63 \text{ [N]}$$

Y actúa en el área de raíz

El diámetro necesario del tornillo será entonces la despejada de la ecuación básica de carga axial

$$\sigma = \frac{P_x}{A} \text{ (Ec. 22)}$$

$$\sigma = \frac{P_x}{\frac{\pi * d^2}{4}} \text{ (Ec. 23)}$$

Reemplazando valores e la ecuación 23

$$345 * 10^6 = \frac{1875.63}{\frac{\pi * d^2}{4}} \quad (\text{Ec. 24})$$

Despejando el diámetro necesario para soportar la carga de la ecuación 24.

$$d = 2.6[\text{mm}]$$

Aplicando el factor de seguridad FS= 2

$$d = 2.6 * 2[\text{mm}]$$

$d = 5.26 [\text{mm}]$ Diámetro de raíz mínimo para el tornillo de potencia

Pero dado que según el catálogo de los tornillos de potencia presentes en el mercado¹⁵

El diámetro mínimo de raíz es de 12.7 [mm] será este el seleccionado mediante la figura 83 y 84.

Cuyas características dimensionales son:

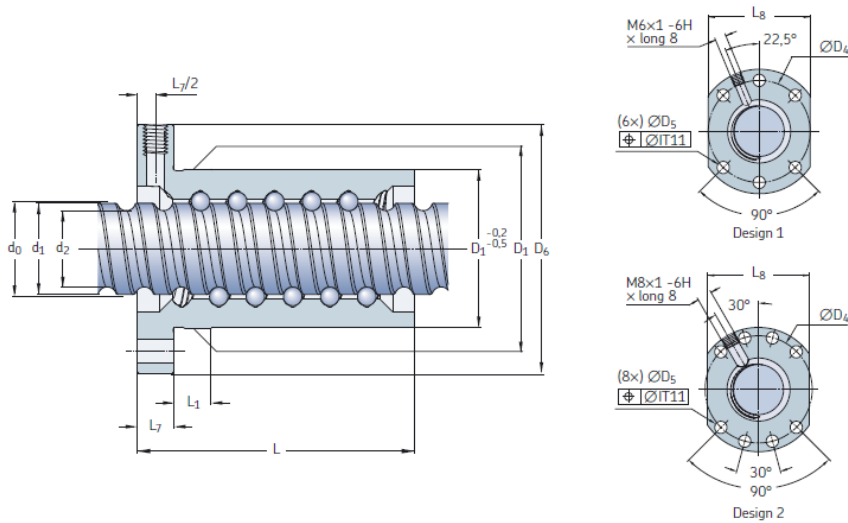
Figura 83. Selección del tornillo de bolas del catálogo.

Nominal diameter	Lead (right hand)	Nut Basic load ratings dynamic static	Number of circuits of balls	Max play	Reduced play on request	Preload torque zero play T _{pr}	Inertia	Grease	Weight	Screw Mass	Inertia	Grease	Designation
d ₀	P _h	C _a C _{0a}											
mm	mm	kN	-	mm		Nm	kgmm ²	cm ³	kg	kg/m	kgmm ² /m	cm ³ /m	-
16	5	8,1 12,4	3	0,08	0,05	0,05	40	1	0,23	1,3	33	2,1	SND/BND 16×5 R
	10	10,7 17	2×1,8	0,07	0,03	0,15	41	1,6	0,18	1,21	30,7	2,1	SND/BND 16×10 R
20	5	11,7 18,3	3	0,1	0,05	0,08	86	1,1	0,24	2	85	2,7	SND/BND 20×5 R
25	5	13 22,7	3	0,1	0,05	0,11	117	1,6	0,29	3,3	224	3,4	SND/BND 25×5 R
25	10	25,8 43,7	4	0,12	0,08	0,23	144	4,5	0,38	3,2	255	3,2	SND/BND 25×10 R
32	5	19,1 40,4	4	0,1	0,05	0,21	364	2,1	0,54	5,6	641	4,5	SND/BND 32×5 R
	10	22,6 41,8	3	0,12	0,08	0,25	384	4,6	0,58	5,6	639	4,2	SND/BND 32×10 R
40	5	25,4 63,2	5	0,1	0,05	0,36	855	3,1	0,92	9	1 639	5,6	SND/BND 40×5 R
	10	63,6 127,1	5	0,12	0,08	0,64	1 010	10,7	1,3	8,4	1 437	5,1	SND/BND 40×10 R
50	10	70,6 157,6	5	0,12	0,08	0,88	2 130	13,1	1,8	13,6	3 736	6,5	SND/BND 50×10 R
63	10	78,4 202,9	5	0,12	0,08	1,23	4 075	16,1	2,4	22	9 913	8,4	SND/BND 63×10 R

Fuente: ball screws SKF

¹⁵ Ver anexo E

Figura 84. Dimensiones del dado de bolas re circulantes seleccionado.



Screw	Nut			Screw	Support bearing	Recommended support bearing					
$d_0 \times P_h$	D_1 g6	D_4	Design	D_5 H13	D_6 h13	Recommended thrust bearing type					
mm	mm	mm	-	mm	mm	mm					
16x5	28	38	1	5,5	48	43,5 10 10 40	2 000	12,7	15,2	FLBU 16/PLBU 16	BUF 16
16x10	28	38	1	5,5	48	47 37 10 40	2 000	12,6	15,2	FLBU 16/PLBU 16	BUF 16
20x5	36	47	1	6,6	58	44,5 10 10 44	4 700	16,7	19,4	PLBU 20/FLBU 20	BUF 20
25x5	40	51	1	6,6	62	44,5 10 10 48	4 700	21,7	24,6	PLBU 25/FLBU 25	BUF 25
25x10	40	51	1	6,6	62	75 10 10 48	4 700	20,5	24,6	PLBU 25/FLBU 25	BUF 25

Fuente: ball screws SK

4.9.2 Verificación del diámetro del tornillo por esfuerzos en el filete.

En las roscas acopladas se presenta una situación similar a la que ocurre en los dientes de un engranaje y es por esto que no solo en un tornillo de potencia se debe evaluar la carga axial, como si el tornillo fuese una varilla de diámetro igual al diámetro raíz del tornillo; pues también se presenta esfuerzo cortante a lo largo del filete de diente en revolución del tornillo.

Dentro del método de evaluación de carga en el filete se considera que la carga soportada es igualmente distribuida a lo largo de la rosca de la tuerca que va girando a lo largo del tornillo, debido a que los materiales tanto de la tuerca, como del tornillo son dúctiles.

Y se verifica el diámetro de raíz del tornillo de la siguiente manera.

El área cortante del barrido A_s , para una rosca de tornillo es el área del cilindro de su diámetro menor d_r .

$$A_s = \pi * d_r * w_i * p \quad (\text{Ec. 25})$$

Donde $d_r = \text{diámetro de raíz}$

$w_i = \text{factor del porcentaje ocupado por el metal en el diámetro menor}$

$$w_i = 0.9 \text{ para sobrediseño}$$

$$p = \text{paso de rosca}$$

Reemplazando en la ecuación 25.

$$A_s = \pi * 12.7[\text{mm}] * 0.9 * 5[\text{mm}]$$

$$A_s = 179.54[\text{mm}^2] = 0.000179 [\text{m}^2]$$

Y el esfuerzo al filete que se siente para la mayor fuerza axial de corte.

$$P_x = 1875,63 [\text{N}]$$

$$\tau_s = \frac{P_x}{A_s} \quad (\text{Ec. 26})$$

Reemplazar en la ecuación 26.

$$\tau_s = \frac{1875.63 [\text{N}]}{0.000179 [\text{m}^2]}$$

$$\tau_s = 10.47 [\text{MPa}]$$

Y dado que la resistencia cortante del material del tornillo y de la tuerca es

$$\tau_s = \frac{S_y}{2} = 172.5 \text{ [MPa]}$$

Tenemos una factor de seguridad en el diámetro seleccionado de

$$FS = \frac{172.5}{10.47} = 16$$

Lo que es lo suficientemente grande tanto para sobrepasar el FS de diseño de 2 como para cualquier exceso de carga que se puede presentar.

4.9.3 Evaluación de las condiciones de pandeo del tornillo para la mayor carga axial

En pandeo es una condición poco probable en el tornillo de potencia pues se encuentra este durante el corte en una condición tal: en la que un extremo se encuentra en tensión y otra en compresión al realizar el avance por alguno de los módulos.

Se calcula la carga crítica por pandeo presente en el tornillo más largo a fin de evaluar el que probablemente sufriría de pandeo (mayor longitud en posible condición de pandeo), cuando la carga axial empieza desde un extremo del tornillo de potencia.

Calculo del cambio crítico de la pieza

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * E}{S_y}} \quad (\text{Ec. 27})$$

Reemplazando valores en la ecuación 27.

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * 200 * 10^9}{345 * 10^6}}$$

$$C_c = 106.972$$

Calculo de la longitud efectiva para el efecto de pandeo en el cual un extremo esta empotrado y el otro articulado.

$$l_{eff} = l * FACTOR \quad (Ec. 28)$$

Según las condiciones de los extremos dado por la siguiente tabla 5.

Tabla 5. Factores de longitud efectiva, según la condición terminal de la columna.

* Condiciones terminales	Valor teórico	Recomendado por AISC*	Valor conservador
Redonda-redonda	$l_{eff} = l$	$l_{eff} = l$	$l_{eff} = l$
Articulada-articulada	$l_{eff} = l$	$l_{eff} = l$	$l_{eff} = l$
Fija-libre	$l_{eff} = 2l$	$l_{eff} = 2.1l$	$l_{eff} = 2.4l$
Fija-articulada	$l_{eff} = 0.707l$	$l_{eff} = 0.80l$	$l_{eff} = l$
Fija-fija	$l_{eff} = 0.5l$	$l_{eff} = 0.65l$	$l_{eff} = l$

Fuente: diseño de máquinas. Robert L. Norton

$$FACTOR = 0.7$$

La l_{eff} es entonces para condición en la que se empieza el mecanizado de un extremos y por la cual la compresión actúa en casi toda la longitud del tornillo.

Reemplazando en la ecuación 28.

$$l_{eff} = 0.8 * 0.7$$

$$l_{eff} = 0.56 \text{ [m]}$$

Calculando la relación de esbeltez S_r

$$S_r = \frac{l_{eff}}{K} \text{ (Ec. 29)}$$

$$K = \sqrt{\frac{I}{A}} \text{ (Ec. 30)}$$

Donde $I = \text{momento de inercia}$ calculado en el cuadro 15.

Y $A = \text{área perpendicular a la acción de la fuerza}$

Cuadro 15. Momento de inercia y área de una circunferencia.

Momento de inercia de una circunferencia	$I = \frac{\pi * d^4}{64}$
Área de una circunferencia	$A = \frac{\pi * d^2}{4}$

Fuente: autores

Reemplazando en la ecuación 30 para un diámetro de raíz de 12.7 [mm]

$$K = \sqrt{\frac{\frac{\pi * d^4}{64}}{\frac{\pi * d^2}{4}}}$$

Reemplazando

$$K = \sqrt{\frac{\frac{\pi * 12.7^4}{64}}{\frac{\pi * 12.7^2}{4}}}$$

$$K = 0.00317 \text{ [m]}$$

Entonces la relación de esbeltez es igual según la ecuación 29.

$$S_r = \frac{0.56}{0.00317}$$

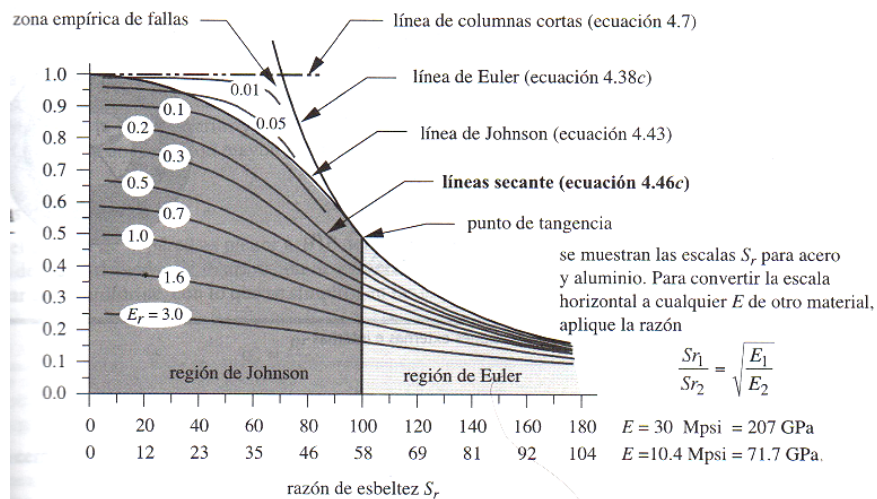
$$S_r = 176,75$$

Dado que $S_r > C_c$

$$176,65 > 106.972$$

Se considera que es una columna larga y se calcula la carga crítica por pandeo mediante el método de Euler de la hipérbola. Ver figura 85.

Figura 85. Líneas de Euler y Jhonson para columnas.



Fuente: diseño de máquinas. Robert L. Norton

De acuerdo a la siguiente expresión

$$P_c = \frac{\pi^2 * E * A}{(S_r)^2} \quad (\text{Ec. 31})$$

Reemplazando valores en la ecuación 31.

$$P_c = \frac{\pi^2 * 200 * 10^9 * \frac{\pi * \left(\frac{12,7}{1000}\right)^2}{4}}{(176,75)^2}$$

$$P_c = 8012,52[N]$$

Dado que la carga máxima soportada por la columna $P_{x\max} < P_c$, el tornillo de potencia difícilmente alcanzara una situación crítica de pandeo.

Y por tanto estará este trabajando bajo un factor de seguridad de pandeo de

$$FS = \frac{8012,52}{1875.69}$$

$$FS = 4,27$$

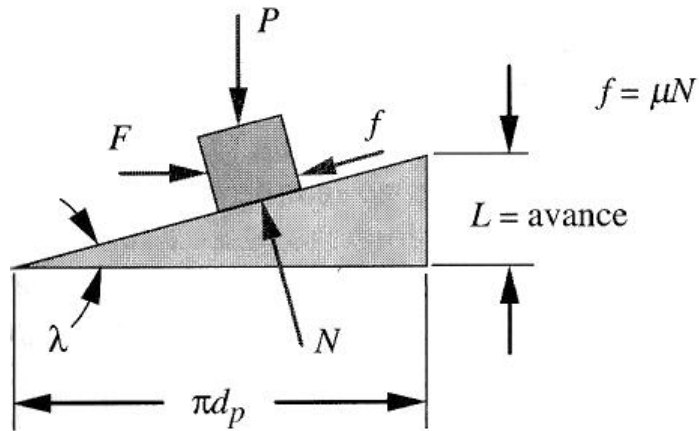
Mayor al estipulado para el diseño de todo el sistema modular $F_s=2$, lo cual nos muestra que el sistema no se pandeará en condiciones máximas de mecanizado.

4.9.4 Selección de motores

- **Calculo del torque necesario para la carga máxima de mecanizado**

Realizando la aproximación de la rosca de bolas, hacia rosca cuadrada por efectos de cálculo. Y mediante el DCL para el cálculo de la fuerza máxima mostrado en la figura 86.

Figura 86. Modelo de carga para rosca cuadrada.



Fuente: diseño de máquinas. Robert L. Norton

Calculando la fuerza máxima de carga que podrá soportar el tornillo ya seleccionado de 16 [mm] de diámetro, con los datos del cuadro 16.

Cuadro 16. Datos necesarios para el cálculo.

Angulo de avance	λ	5.97[°]
Diámetro de paso del tornillo de bolas	d_p	15.2[mm]
paso	L	5[mm]
Coeficiente de fricción entre el dado y la rosca del tornillo de potencia en tornillo de bolas ¹⁶	μ	0.02

Fuente: autores

¹⁶ Según diseño de máquinas Norton Edición primera .Cap 14. Pg 903

Datos dimensionales según el catalogo del fabricante¹⁷

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{L}{\pi * d_p} \right) \quad (\text{Ec. 32})$$

Reemplazando ecuación 33.

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{5}{\pi * 15.2} \right)$$

$$\lambda = 5.97[^\circ]$$

Calculando el par torsor para levantar la carga máxima axial al tornillo calculada anteriormente de:

$$P_x = 1875,63 [N]$$

Es:

$$T_{su} = P_x * d_p * \frac{(\pi * \mu * d_p + L)}{2 * (\pi * d_p - \mu * L)} + 2 * T_{collarin} \quad (\text{Ec. 33})$$

$$T_{collarin} = \mu_c * P_x * \frac{d_c}{2} \quad (\text{Ec. 34})$$

2 torque de collarín debido a que el tornillo se encuentra apoyado de dos rodamientos.

El diámetro de los rodamientos es según la figura

Diámetro medio del collarín.

Dónde:

$$\mu_c = \text{coeficiente de fricción entre el collarin de empuje} = 0,0015^{18}$$

¹⁷ Ver anexo E

Tabla 6. Coeficiente de fricción para rodamiento de bolas.

Tabla 1: Coeficiente de fricción constante μ para rodamientos sin obturaciones

Tipo de rodamiento	Coeficiente de fricción de fricción μ
Rodamientos rígidos de bolas	0,0015
Rodamientos de bolas con contacto angular	
- de una hilera	0,0020
- de dos hileras	0,0024
- Rodamientos de bolas con cuatro puntos de contacto	0,0024
Rodamientos de bolas a rótula	0,0010
Rodamientos de rodillos cilíndricos	
- con jaula, cuando $F_a \approx 0$	0,0011
- sin jaula, cuando $F_a \approx 0$	0,0020
Rodamientos de agujas	0,0025
Rodamientos de rodillos cónicos	0,0018
Rodamientos de rodillos a rótula	0,0018
Rodamientos CARB	0,0016
Rodamientos axiales de bolas	0,0013
Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos	0,0050
Rodamientos axiales de agujas	0,0050
Rodamientos axiales de rodillos a rótula	0,0018

Fuente: www.skf.com

$$d_c = \text{diámetro del collarín} = \frac{12 + 32}{2} = 16[\text{mm}] \quad (\text{Ec. 35})$$

Entonces el torque de collarín es según la ecuación 34.

$$T_{\text{collarín}} = 0.0015 * 1875,63 * \frac{16 * 10^{-3}}{2}$$

$$T_{\text{collarín}} = 0,0225[\text{N.m}]$$

¹⁸ Según el modelo de rodamiento 6201 SKF ver [ww.skf.com](http://www.skf.com). Ver tabla 6.

Reemplazando valores en la ecuación 33 combinada con la ecuación 34 y 35.

$$T_{su} = 1875.69 * \frac{15.2}{1000} * \frac{(\pi * 0.02 * 15.2 + 5)}{2 * (\pi * 15.2 - 0.02 * 5)} + 2 * 0,0225$$

$$T_{su} = 1,834[N.m]$$

$T_{su} = 1,834N.m$ Torque necesario por parte de los motores paso a paso para mover la carga axial a la cual están sometidos

Según los catálogos¹⁹ Nema 23 de motores bipolares la selección se realiza en la figura 87.

El que más se aproxima es el mostrado

Figura 87. Tabla de motores paso a paso proporcionados TI.

NI Part Number	Manufacturer Part Number	Dual Shaft	Drive	Amps/Phase	Holding Torque oz-in. (N . m)	Rotor Inertia oz-in.-s ² (kg-m ² x10 ⁻³)	Phase Inductance mH	Phase Resistance Ω ±10%	Detent Torque oz-in. (N . m)	Thermal Resistance°C/watt	Max Speed rpm
780073-01	T21NRLC-LNN-NS-00	no	P70360	0.40	180	0.0034 (0.0248)	209	42.9	2.97 (0.021)	4.64	3000
780074-01	T21NRLC-LDN-NS-00	yes			5.95 (0.042)						
780075-01	T22NRLC-LNN-NS-00	no		0.46	290	0.0056 (0.0408)	209	41.4	5.95 (0.042)	3.69	
780076-01	T22NRLC-LDN-NS-00	yes			6.94 (0.049)						
780077-01	T23NRLC-LNN-NS-00	no		0.67	380	0.0084 (0.0612)	136	23.5	6.94 (0.049)	3.04	
780078-01	T23NRLC-LDN-NS-00	yes			2.97 (0.021)						
780079-01	T21NRLH-LNN-NS-00	no	P70530	2.7	180	0.0034 (0.0248)	4.6	0.85	2.97 (0.021)	4.64	
780080-01	T21NRLH-LDN-NS-00	yes			5.95 (0.042)						
780081-01	T22NRLG-LNN-NS-00	no		2.5	280	0.0056 (0.0408)	7.1	1.23	5.95 (0.042)	3.69	
780082-01	T22NRLG-LDN-NS-00	yes			6.94 (0.049)						
780083-01	T23NRLH-LNN-NS-00	no		3.0	380	0.0034 (0.0248)	6.2	1.00	6.94 (0.049)	3.04	
780084-01	T23NRLH-LDN-NS-00	yes			2.97 (0.021)						

Fuente: datasheet motores nema 23 bipolares

Con un torque de 1.98 [N.m]

¹⁹ Ver anexo D

- **Datos de los motores paso a paso seleccionados**

Dado que los motores paso a paso son nema 23 y de acuerdo a sus características de operación dado en el datasheet²⁰

- Torque de los motores $280 [onz * in]$ o $1.98 [N * m]$
- Dado que las máximas revoluciones por minuto son $3000 \left[\frac{rev}{min} \right]$

La potencia que suministran los motores máxima es:

$$Pot = Torque * RPM$$

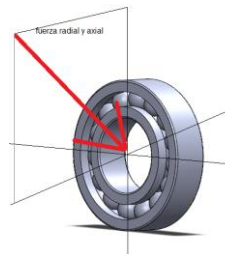
$$Pot = 1.98 [N * m] * 3000 \left[\frac{rev}{min} \right] * 2\pi \left[\frac{rad}{rev} \right] * \frac{1}{60} \left[\frac{min}{seg} \right]$$

$Pot = 621.099 [W]$ Potencia máxima suministrada por cada uno de los motores paso a paso.

4.9.5 Selección de rodamientos

Los rodamientos están sometidos durante todo el mecanizado a dos fuerzas principales, la axial y la radial. Ver figura 88.

Figura 88. Estado de carga de los rodamientos.



Fuente: autores

²⁰ Ver anexo D

Dadas las fuerzas máximas de mecanizado:

FUERZA MAYOR EN DIRECCION AXIAL DEL TORNILLO DE POTENCIA (avance)

$$P_x = 1875,63 [N]$$

FUERZA MAYOR EN DIRECCION PERPENDICULAR AL EJE DEL TORNILLO DE POTENCIA (radial)

$$P_y = 600[N]$$

FUERZA MAYOR DE CORTE PERPENDICULAR AL TORNILLO DE POTENCIA

$$P_z = 1500[N]$$

Se tiene que la fuerza axial en el rodamiento es:

$$P_x = 1875,63 [N]$$

Y la resultante radial es:

$$\frac{\sqrt{P_y^2 + P_z^2}}{2} = \frac{\sqrt{600^2 + 1500^2}}{2} = 807,75[N]$$

- **Selección de rodamientos según las cargas a soportar**

Mediante la siguiente tabla SKF nos presenta la selección inmediata del tipo de rodamiento a utilizar respecto a soportar pura carga radial y axial en ambos sentidos. Ver tabla 7.

Tabla 7. Selección de rodamientos SKF.

Bearing types - design and characteristics

The matrix can only provide a rough guide so that in each individual case it is necessary to make a more qualified selection referring to the information given in the catalogue

Symbols
 +++ excellent - poor
 ++ good -- unsuitable
 + fair + single direction
 ↔ double direction

	Design	Characteristics																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Deep groove ball bearings			a				+	+	+	-	+++	+++	+	+++	+++	-	-	+++	+	---
Angular contact ball bearings			b		a, b	c	++	+	+	-	++	+++	+	++	++	-	-	++	+	---
Self-aligning ball bearings							+	-	-	---	+++	++	-	++	+++	+++	+++	+	+	---
Cylindrical roller bearings							++	---	---	---	++	++	++	++	++	-	-	---	+++	+++
full complement					a	b	+++	+	+	---	-	+	+++	-	-	-	-	+	+	---
Needle roller bearings			a		c		+++	---	---	---	+	+	+++	+	-	---	---	+	+	---
full complement			a		c		+++	---	---	---	+	+	+++	+	-	---	---	+	+	---
Tapered roller bearings							++	+	+	---	+	+	+++	+	-	---	---	+	+	---
Spherical roller bearings							+++	+	+	---	+	+	+++	+	-	---	---	+	+	---
CARB bearings							+++	---	---	---	+	+	++	+	+	+++	+++	---	+++	+++
full complement							+++	---	---	---	-	+	+++	+	+	+++	+++	---	+++	+++
Thrust ball bearings							---	+	+	---	-	+	+	-	+	-	---	+	+	---
full complement							---	+	+	---	-	+	+	-	+	-	---	+	+	---
Needle roller thrust bearings							---	+	+	---	-	+	+	-	+	-	---	+	+	---
Spherical roller thrust bearings							---	+	+	---	-	+	+	-	+	-	---	+	+	---

Fuente: SKF.com

Ya realizada la selección del tipo de rodamiento. Se seleccionan los rodamientos respecto al diámetro interno posible de mecanizar en el tornillo de bolas 12 [mm] como se muestran:

CARACTERÍSTICAS DEL RODAMIENTO RADIAL DE BOLAS SELECCIONADO

Según muestra la figura 89 se realizó la selección del rodamiento con el detalle de sus características en la cuadro 17.

Figura 89. Selección del rodamiento de bolas radial y sus características mecánicas.

Rodamientos rígidos de bolas, de una hilera

Tolerancias , ver también el texto
 Juego radial interno , ver también el texto
 Ajustes recomendados
 Tolerancias del eje y del alojamiento

Dimensiones principales			Capacidades de carga		Carga límite de fatiga P_u	Velocidades		Masa	Designación
d	D	B	C	C_0		Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	rpm		kg	-
12	21	5	1,43	0,67	0,028	70000	43000	0,0063	61801
12	21	5	1,43	0,67	0,028	-	20000	0,0063	61801-2RS1
12	21	5	1,43	0,67	0,028	70000	36000	0,0063	61801-2Z
12	24	6	2,25	0,98	0,043	67000	40000	0,011	61901
12	24	6	2,25	0,98	0,043	-	19000	0,011	61901-2RS1
12	24	6	2,25	0,98	0,043	67000	32000	0,011	61901-2Z
12	28	8	5,4	2,36	0,1	60000	38000	0,022	6001 *
12	28	8	5,4	2,36	0,1	-	17000	0,022	6001-2RSH *
12	28	8	5,4	2,36	0,1	60000	30000	0,022	6001-2RSL *
12	28	8	5,4	2,36	0,1	60000	30000	0,022	6001-2Z *
12	28	8	5,4	2,36	0,1	-	17000	0,022	6001-RSH *
12	28	8	5,4	2,36	0,1	60000	38000	0,022	6001-RSL *
12	28	8	5,4	2,36	0,1	60000	38000	0,022	6001-Z *
12	28	12	5,07	2,36	0,1	-	17000	0,026	63001-2RS1
12	30	8	5,07	2,36	0,1	56000	34000	0,023	16101
12	30	8	5,07	2,36	0,1	-	16000	0,023	16101-2RS1
12	30	8	5,07	2,36	0,1	56000	28000	0,023	16101-2Z
12	32	10	7,28	3,1	0,132	50000	32000	0,037	6201 *
12	32	10	7,28	3,1	0,132	-	15000	0,037	6201-2RSH *
12	32	10	7,28	3,1	0,132	50000	26000	0,037	6201-2RSL *
12	32	10	7,28	3,1	0,132	50000	26000	0,037	6201-2Z *
12	32	10	7,28	3,1	0,132	-	15000	0,037	6201-RSH *
12	32	10	7,28	3,1	0,132	50000	32000	0,037	6201-RSL *
12	32	10	7,28	3,1	0,132	50000	32000	0,037	6201-Z *
12	32	14	6,69	3,1	0,132	-	15000	0,045	62201-2RS1

Fuente: SKF

Cuadro 17. Características mecánicas del rodamiento 6201.

Capacidad de carga dinámica	C	7,28 [KN]
Capacidad de carga estática	C_0	3,1 [KN]
Carga límite de fatiga	P_u	0,132 [KN]
Velocidad limite	RPM	32000 [rpm]
masa	M	0,037 [kg]

Fuente: autores

CARACTERISTICAS DEL RODAMIENTO DE CARGA COMBINADA DE BOLAS SELECCIONADO

Este rodamiento seleccionado es de doble hilera de contacto angular, con el fin de soportar tanto carga radial como axial en ambos sentidos. Ver figura 90. Con el detalle de sus características en el cuadro 18.

Figura 90. Selección del rodamiento de bolas para carga combinada y sus características mecánicas.

Rodamientos de bolas con contacto angular, de dos hileras

Tolerancias, ver también el texto
Juego axial interno, a), b), ver también el texto
Ajustes recomendados
Tolerancias del eje y del alojamiento

Dimensiones principales		Capacidades de carga		Carga límite de fatiga	Velocidades	Masa	Designación		
d	D	B	C	C ₀	Velocidad de referencia	Velocidad límite			
mm			kN		kN	rpm	kg		
10	30	14	7,61	4,3	0,183	-	17000	0,051	3200 A-2RS1TN9/MT33
10	30	14	7,61	4,3	0,183	22000	24000	0,051	3200 A-ZZTN9/MT33
10	30	14	7,61	4,3	0,183	22000	24000	0,051	3200 ATN9
10	30	14,3	7,61	4,3	0,183	-	17000	0,051	5200 A-2RS1TN9
10	30	14,3	7,61	4,3	0,183	22000	24000	0,051	5200 A-ZZTN9
10	30	14,3	7,61	4,3	0,183	22000	24000	0,051	5200 ATN9
12	32	15,9	10,1	5,6	0,24	-	15000	0,058	3201 A-2RS1TN9/MT33
12	32	15,9	10,1	5,6	0,24	20000	22000	0,058	3201 A-ZZTN9/MT33
12	32	15,9	10,1	5,6	0,24	20000	22000	0,058	3201 ATN9
12	32	15,9	10,1	5,6	0,24	-	15000	0,058	5201 A-2RS1TN9
12	32	15,9	10,1	5,6	0,24	20000	22000	0,058	5201 A-ZZTN9
12	32	15,9	10,1	5,6	0,24	20000	22000	0,058	5201 ATN9
15	35	15,9	11,2	6,8	0,285	-	14000	0,066	3202 A-2RS1TN9/MT33
15	35	15,9	11,2	6,8	0,285	17000	18000	0,066	3202 A-ZZTN9/MT33
15	35	15,9	11,2	6,8	0,285	17000	18000	0,066	3202 ATN9
15	35	15,9	11,2	6,8	0,285	-	14000	0,066	5202 A-2RS1TN9
15	35	15,9	11,2	6,8	0,285	17000	18000	0,066	5202 A-ZZTN9
15	35	15,9	11,2	6,8	0,285	17000	18000	0,066	5202 ATN9
15	42	19	15,1	9,3	0,4	-	12000	0,130	3302 A-2RS1TN9/MT33
15	42	19	15,1	9,3	0,4	15000	16000	0,13	3302 A-ZZTN9/MT33
15	42	19	15,1	9,3	0,4	15000	16000	0,13	3302 ATN9
17	40	17,5	14,3	8,8	0,365	-	12000	0,096	3203 A-2RS1TN9/MT33
17	40	17,5	14,3	8,8	0,365	15000	16000	0,10	3203 A-ZZTN9/MT33
17	40	17,5	14,3	8,8	0,365	15000	16000	0,095	3203 ATN9
17	40	17,5	14,3	8,8	0,365	-	12000	0,096	5203 A-2RS1TN9

Fuente: autores

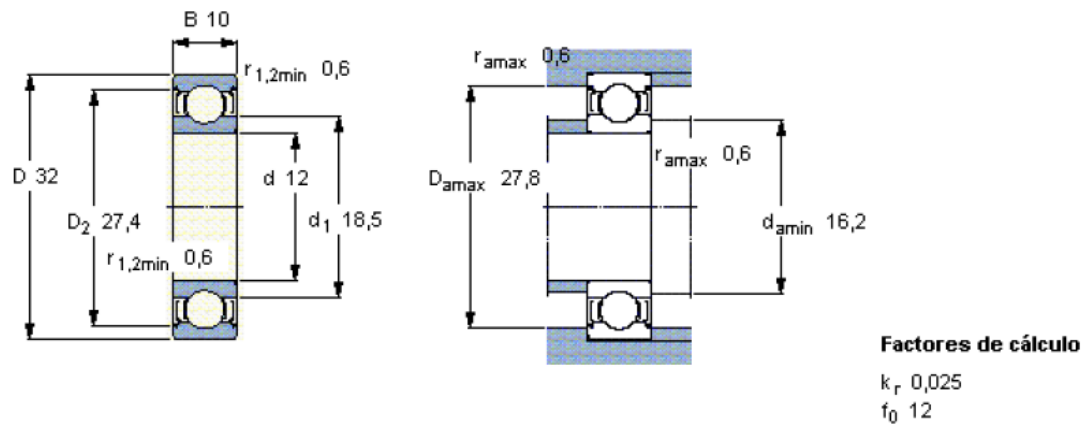
Cuadro 18. Características mecánicas del rodamiento 5201.

Capacidad de carga dinámica	C	10.1[KN]
Capacidad de carga estática	C_0	5.6[KN]
Carga límite de fatiga	P_u	0.24[KN]
Velocidad limite	RPM	22000[rpm]
masa	M	0.052[kg]

Fuente: autores

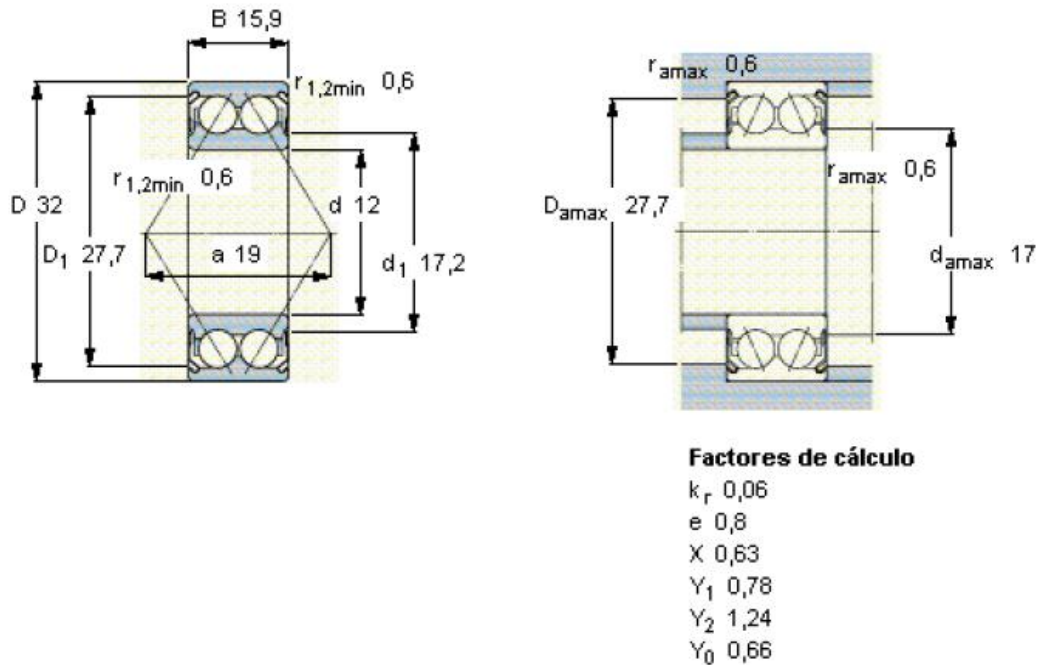
A continuación se muestran las dimensiones y montaje de los rodamientos seleccionados, útiles para el diseño de las demás piezas en la figura 91 y 92.

Figura 91. Dimensiones de rodamiento 6201.



Fuente: SKF

Figura 92. Dimensiones de rodamiento 5201.



Fuente: SKF

- **Selección de la tolerancias de los rodamientos**

Primero se evalúa si P es mayor o menor a 0.05C

Dado que $C = 10100[N]$

Según se muestra en la figura 86 y el la figura 88 para ambos rodamientos.

Y P para el rodamiento de bolas radial es $P=1615.55(N)$ y para el rodamiento

de doble hilera de contacto angular $P=3061.68(N)$

Cuadro 19. Calculo del tipo de tolerancia.

RODAMIENTO RADIAL DE BOLAR	RODAMIENTO DE DOBLE HILERA DE CONTACTO ANGULAR
$1655.55 < \sigma > 0.05 * 10100$	$3061.68 < \sigma > 0.05 * 10100$
$1655.55 > 505$	$3061.68 > 505$

Fuente: autores

Dado que en los dos rodamientos de la que P es mayor a 0.05 C en el cuadro 19, se toma de la siguiente tabla 8 la selección de la tolerancia para ambos rodamientos.

Tabla 8. Tabla de selección de tolerancia.

Ajustes para ejes de acero sólido

Rodamientos radiales con agujero cilíndrico (excepto los rodamientos de alta precisión)
Los cálculos y gráficos de presentación

Las condiciones ¹⁾	Ejemplos	Diámetro del eje, mm Rodamientos de bolas ¹⁾		La clase de tolerancia		
		Cilíndrico rodillo cojinetes	Agujas rodamientos con aros mecanizados cojinetes (Con un anillo interior)	Cónico rodillo	CARB y oscilantes de rodillos cojinetes	
Girando el anillo interior de carga o la dirección de carga indeterminada						
Ligeros y variables cargas (P ≤ 0,05 C)	Transportadores, ligarimente caja de cambios de carga (17) a 100 cojinetes	≤ 17 ≤ 25 (100) a 140	- - (25) a 60 (60) a 140	- - (10) a 25 (25) a 100	- - (25) a 60 (60) a 140	J55 (h5) ²⁾ j6 (j5) ²⁾ k5 k6 m6
Normal y cargas pasadas (P > 0,05 C)	Aplicaciones de rodamientos en general,	≤ 10 (10) a 17	- -	- -	- -	J55 j5 (J55) ²⁾
	motores eléctricos,	(17) a 100	-	≤ 25	-	k5 ³⁾
	turbinas, bombas,	(100) a 140	≤ 30 (30) a 50	- -	≤ 40 -	k6 m5
	engranajes, de madera máquinas de trabajo,	(140) a 200	-	(25) a 60	(40) a 65	m6
	molinos de viento	(200) a 500	(50) a 65 (65) a 100 (100) a 280	(60) a 100 (100) a 400	(65) a 200 (200) a 360	(40) a 60 n5 ⁴⁾ n6 ⁴⁾ p6 ⁵⁾ p7 ⁴⁾ r7 ⁴⁾
Fuertes a muy cargas pasadas y cargas de choque con dificultades condiciones de trabajo (P > 0,1 C)	Cajas de grasa para grandes vehículos ferroviarios, motores de tracción, trenes de laminación	- - - -	(50) a 65 (65) a 85 (85) a 140 (140) a 300	- (50) a 100 (100) a 200 > 200	(50) a 110 (110) a 200 (70) a 140 (200) a 500 (140) a 280	n5 ⁴⁾ n6 ⁴⁾ p6 ⁶⁾ r6 ⁷⁾ r6 min * 178 / 2 ⁶⁾ r7 min * 177 / 2 ⁶⁾
Altas exigencias de precisión de funcionamiento con cargas ligeras (P ≤ 0,05 C)	Máquinas herramientas	8-240	25 a 40 (40) a 140 (140) a 200 (200) a 500	≤ 40 (40) a 140 (140) a 200 > 200	25 a 40 (40) a 140 (140) a 200 (200) a 500	J54 J54 (J5) ⁹⁾ K4 (K5) ⁹⁾ m5 n5

Fuente: autores

La tolerancia de los rodamientos según el estado de la carga es entonces:

- (j5) para el eje maquinado en el tornillo
- (JS5) para el hueco de la placa de las balineras.

Gracias a las herramientas de calculo que tiene SKF en su portal online e puede calcular y ver gráficamente las tolerancias tanto en el eje como en el agujero de acoplamiento de cada uno de los rodamientos seleccionado como se muestra a continuación.

[Tolerancias en micras]

RODAMIENTO DE BOLAS RADIAL 6201

Según se muestra en la figura 93 y 94, las tolerancias son:

Figura 93. Tolerancias para el rodamiento 6201 pista interna.

Tolerancias del eje y se ajusta resultante

Cojinete **6201**

Teniendo la tolerancia de clase

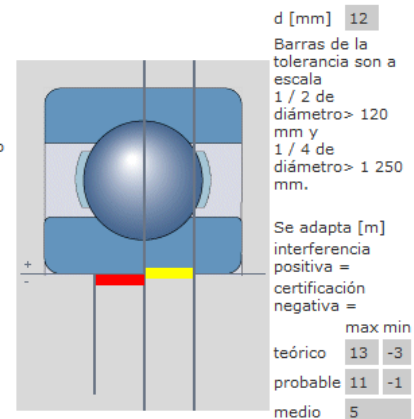
- CLN normal, CL7C
 P6
 P5
 P4, P4A, P4C, P7
 P2, PA9A P9,
 SP
 UP

Nota: Por favor, compruebe si la presión específica está disponible en la clase de tolerancia solicitada. Ver también la sección de texto relevante para el tipo de rodamiento

Eje de la clase de tolerancia

- e7
 f5 f6
 g5 g6
 h3 h4 h5 h6 h8 h9
 j5 j6
 js3 JS4 JS5 JS6 JS7
 k4 k5 k6
 m5 m6
 n5 n6
 p6 p7
 r6 r7
 s6 s7

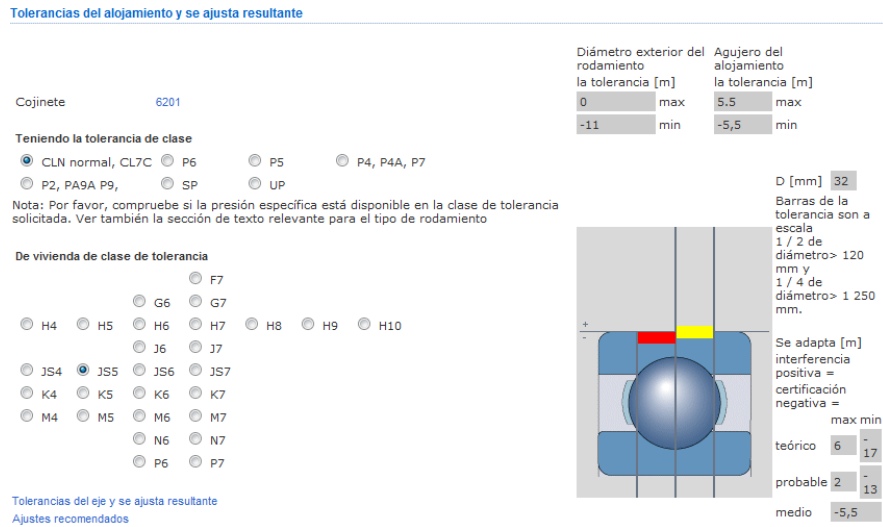
[Tolerancias del alojamiento y se ajusta resultante](#)
[Ajustes recomendados](#)



Del agujero del rodamiento la tolerancia [m]		Eje la tolerancia [m]	
0	max	5	max
-8	min	-3	min

Fuente: www.skf.com

Figura 94. Tolerancias para el rodamiento 6201 pista externa.

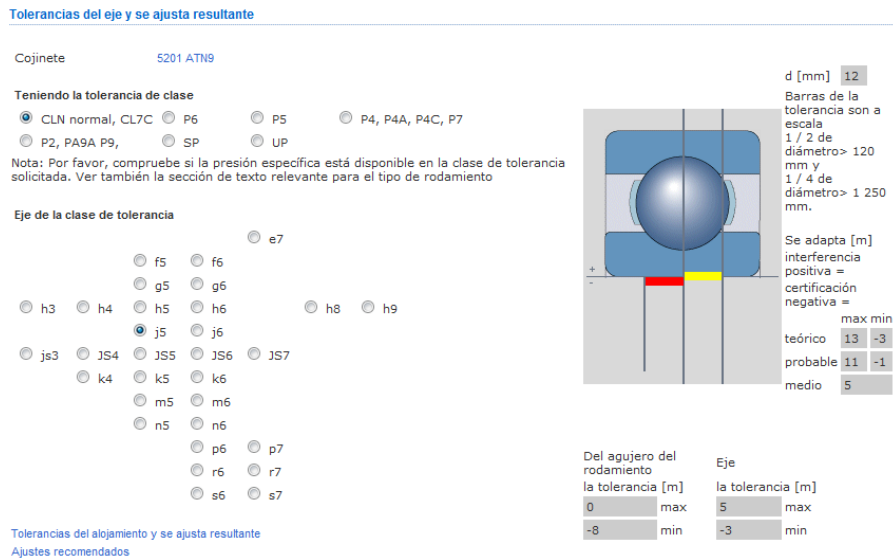


Fuente: SKF

RODAMIENTO DE DOBLE CONTACTO ANGULAR 5201

Según se muestra en la figura 95 y 96, las tolerancias son:

Figura 95. Tolerancias para el rodamiento 5201 pista interna.



Fuente: SKF

Figura 96. Tolerancias para el rodamiento 5201 pista externa.

Tolerancias del alojamiento y se ajusta resultante

Cojinete **5201 ATN9**

Teniendo la tolerancia de clase

CLN normal, CL7C P6 P5 P4, P4A, P7
 P2, PA9A P9, SP UP

Nota: Por favor, compruebe si la presión específica está disponible en la clase de tolerancia solicitada. Ver también la sección de texto relevante para el tipo de rodamiento

De vivienda de clase de tolerancia

F7
 G6 G7
 H4 H5 H6 H7 H8 H9 H10
 J6 J7
 JS4 JS5 JS6 JS7
 K4 K5 K6 K7
 M4 M5 M6 M7
 N6 N7
 P6 P7

Tolerancias del eje y se ajusta resultante
 Ajustes recomendados

Diámetro exterior del rodamiento la tolerancia [m]	Agujero del alojamiento la tolerancia [m]
0 max	5,5 max
-11 min	-5,5 min

D [mm] **32**

Barras de la tolerancia son a escala
 1 / 2 de diámetro > 120 mm y
 1 / 4 de diámetro > 1 250 mm.

Se adapta [m]
 interferencia positiva = certificación
 negativa =

	max	min
teórico	6	-17
probable	2	-13
medio	-5,5	

Fuente: autores

- **Calculo de la vida útil de los rodamientos**

Los datos necesarios para el cálculo de la vida útil según el software igualmente proporcionado por SKF son:

- Capacidad de carga estática.
- Capacidad de carga dinámica.
- Fuerza radial resultante en el rodamiento.
- Fuerza axial resultante en el rodamiento.
- A juego normal

Los cuales se encuentran en los catálogos de los rodamientos.

Los resultados son los que se muestran en las figura 97, 98 y 99.

Figura 97. Calculo de la vida útil del rodamiento 6201.

[Carga equivalente del rodamiento y duración de vida nominal](#)

Todos los datos se han tomado para garantizar la exactitud de este cálculo, pero no se acepta responsabilidad por cualquier pérdida o daños, ya sean directos, indirectos o consecuentes resultantes del uso del cálculo.
 Vea la sección " [Carga dinámica equivalente](#) "
 Vea la sección " [Carga estática equivalente](#) "

Rodamiento
 Dos rodamientos en tándem
 Dos cojinetes de regreso a la espalda o cara a cara
 Juego normal
 C3 autorización
 C4 autorización

Cojinete **6201**
 C [kN]
 C₀ [kN]
 f₀
 F_r [kN]
 F_{un} [kN]

e
 X
 Y
 P [kN]
 L₁₀ [Mrev]

X₀
 Y₀
 P₀ [kN]

Fuente: SKF

Figura 98. Calculo de la vida útil del rodamiento 5201.

[Carga equivalente del rodamiento y duración de vida nominal](#)

Todos los datos se han tomado para garantizar la exactitud de este cálculo, pero no se acepta responsabilidad por cualquier pérdida o daños, ya sean directos, indirectos o consecuentes resultantes del uso del cálculo.
 Vea la sección " [Carga dinámica equivalente](#) "
 Vea la sección " [Carga estática equivalente](#) "

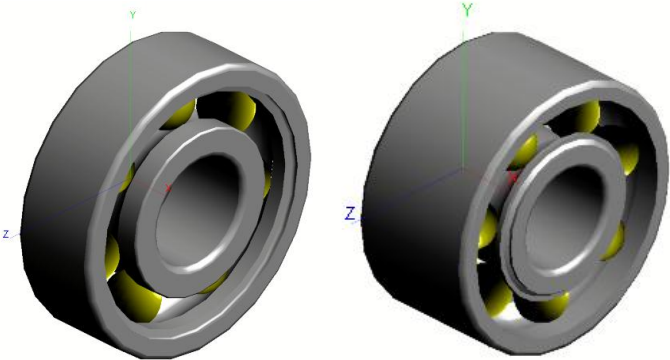
Cojinete **5201 ATN9**
 C [kN]
 C₀ [kN]
 F_r [kN]
 F_{un} [kN]

e
 X
 Y
 P [kN]
 L₁₀ [Mrev]

X₀
 Y₀
 P₀ [kN]

Fuente: SKF

Figura 99. Figura CAD del rodamiento 6201 y 5201 respectivamente.



Fuente: autores

4.10 ANALISIS DE ESFUERZOS CAE EN EL SISTEMA MODULAR

El sistema modular de mecanizado debe ser evaluado estructuralmente y mediante ayudas informáticas como las aplicaciones CAE presentes en el SOLIDWORKS Y ANSYS se evaluara la rigidez y la capacidad de soportar esfuerzos de los principales elementos dentro de cualquier montaje de mecanizado con el que funcionase el sistema modular de mecanizado.

La evaluación de resistencia realizada, se hizo a prueba de las fuerzas mayores de mecanizado ya calculadas en capítulos anteriores.

Fuerza mayor en dirección axial del tornillo de potencia (avance)

$$P_x = 1875,63 [N]$$

Fuerza mayor en dirección perpendicular a soportar por el sistema estructural del prototipo.

$$P_y = 600[N]$$

Fuerza mayor de corte perpendicular a soportar por el sistema estructural del prototipo.

$$P_z = 1500[N]$$

Momento torsor de mecanizado

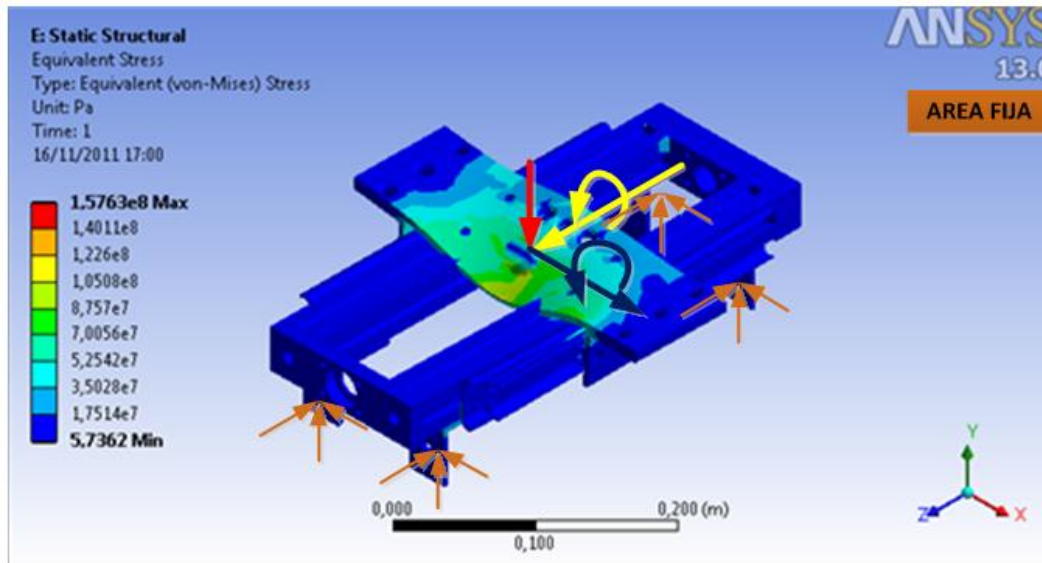
$$M = 56.43 [N.m]$$

Las partes que se evaluaron fueron las siguientes con muy buenos resultados como se muestra en las imágenes siguientes de la figura 100 a la 111.²¹

- Un módulo motriz completo tanto el de 40 cm como el d 80 cm
- Base estructural
- Tornillo de bolas re circulantes
- Perfiles estrella de soporte
- Platinas de unión principal de los módulos y de lugar de alojamiento de los rodamientos

²¹ Hay que tener presente que las deformaciones está a una escala aumentada a modo de visualizar mejor la elástica del comportamiento del análisis CAE.

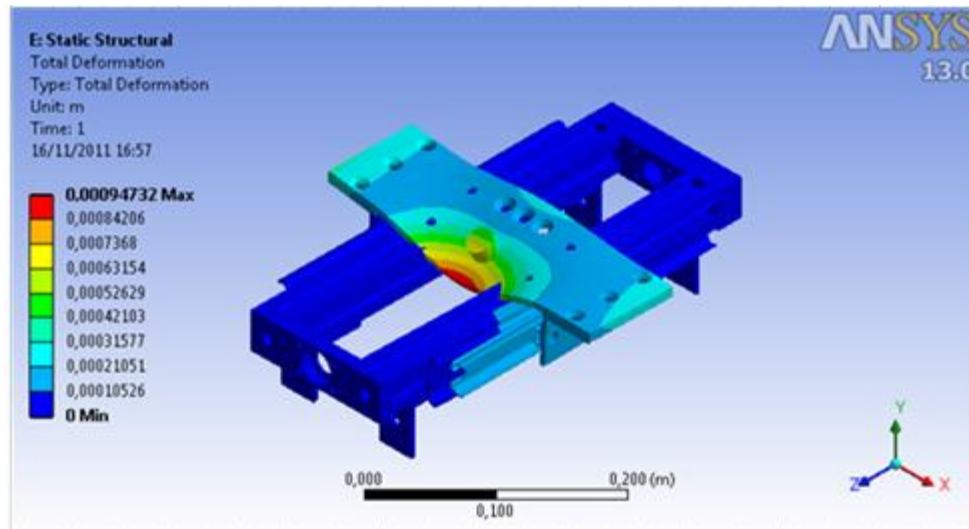
Figura 100. CAE esfuerzos. Modulo matriz de 40 completo.



Fuente: autores

Con un esfuerzo máximo de $1,401e^8$ [Pa] teniendo un factor de seguridad de 2,1 respecto al esfuerzo máximo del aluminio 6063 por el que está hecho. $2,9e^8$ [Pa] y el FS=2 de diseño.

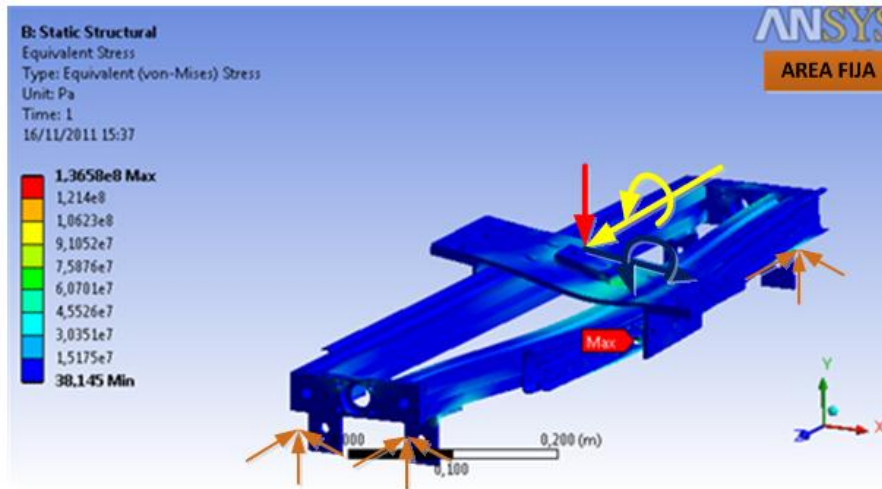
Figura 101. CAE deformaciones. Modulo matriz de 40 completo.



Fuente: autores.

Con una deformación máxima de $0,0009473$ [m]

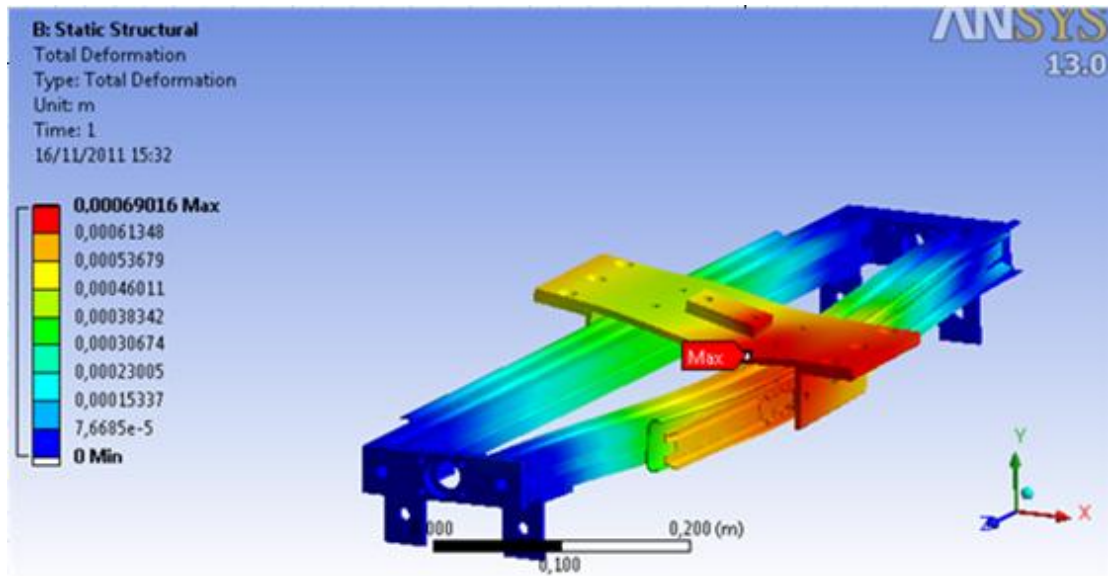
Figura 102. CAE esfuerzos. Modulo matriz de 80 completo.



Fuente: autores

Con un esfuerzo máximo de $6,070e^7$ [Pa] teniendo un factor de seguridad de 4,8 respecto al esfuerzo máximo del aluminio 6063 por el que está hecho. $2,9e^8$ [Pa] y el FS=2 de diseño.

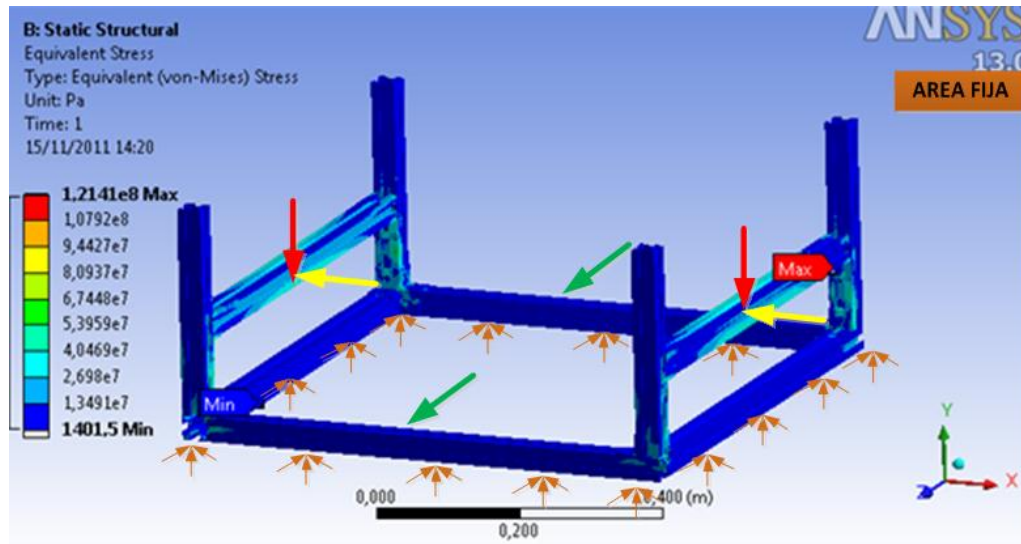
Figura 103. CAE deformaciones. Modulo matriz de 80 completo.



Fuente: autores.

Con una deformación máxima de $0,00069016$ [m].

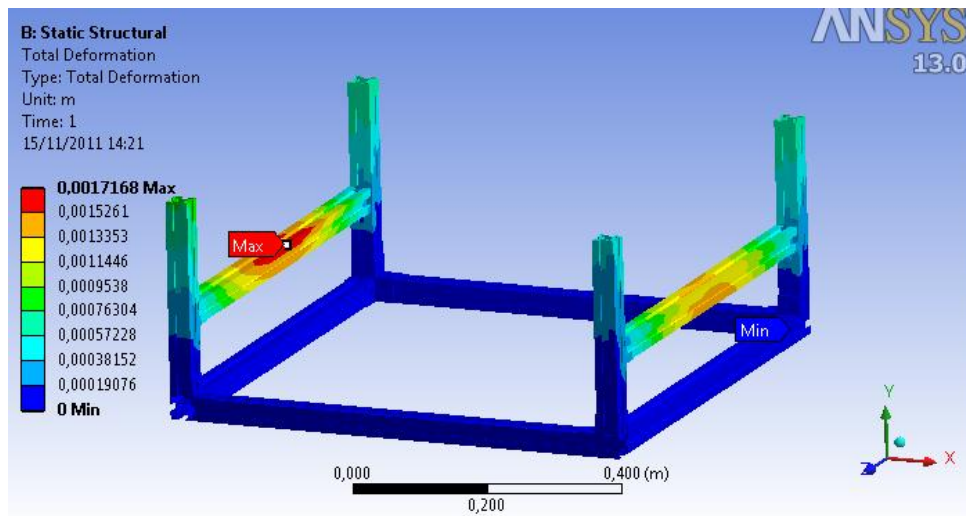
Figura 104. CAE esfuerzos. Base estructural.



Fuente: autores

Con un esfuerzo máximo de $4.0469e^7$ [Pa] teniendo un factor de seguridad de 7,18 respecto al esfuerzo máximo del aluminio 6063 por el que está hecho. $2,9e^8$ [Pa] y el FS=2 de diseño.

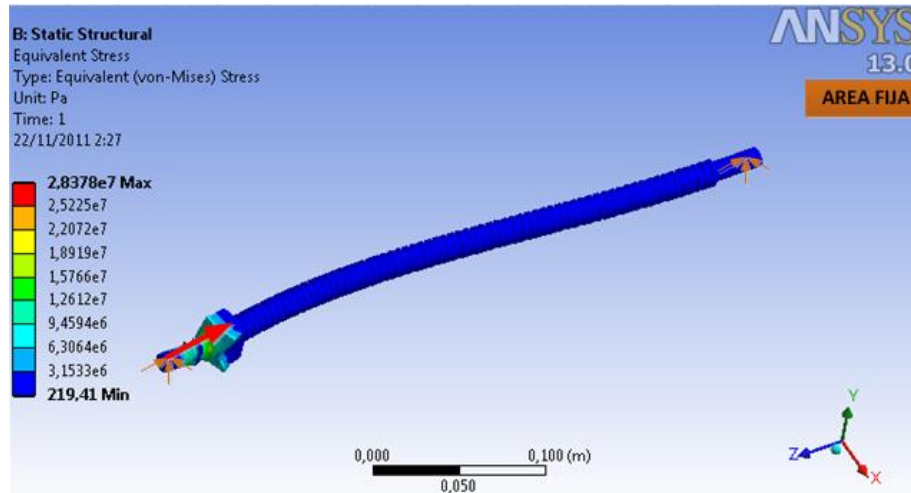
Figura 105. CAE deformaciones. Base estructural.



Fuente: autores

Con una deformación máxima de 0,001716[m] siendo un poco virtual.

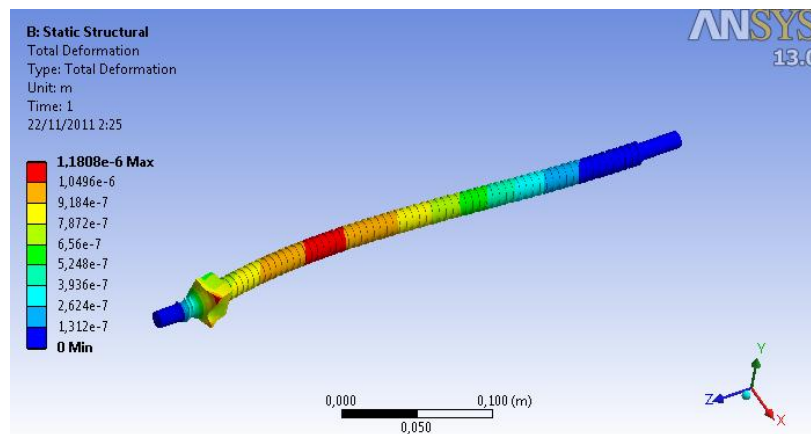
Figura 106. CAE esfuerzos. Tornillos de bolas re circulantes.



Fuente: autores

Con un esfuerzo máximo de $2,838e^7$ [Pa] teniendo un factor de seguridad de 12,15 respecto al esfuerzo máximo del acero inoxidable 345 MPa por el que está hecho y al FS =2 de diseño.

Figura 107. CAE deformaciones. Tornillos de bolas re circulantes.

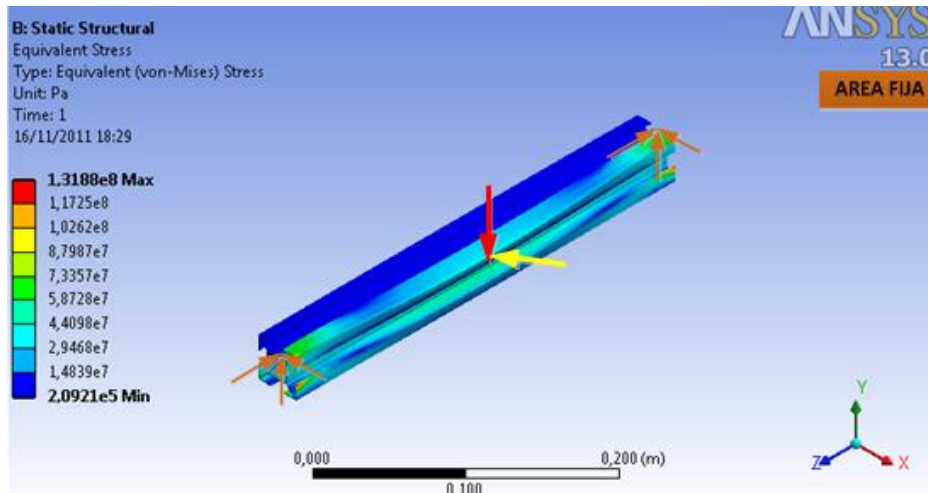


Fuente: autores

Con una deformación máxima de $1.18e^{-6}$ [m] teniendo en cuenta que la fuerza no está aplicada directamente en el filete escalonado del eje como se colocó en la simulación.

CAE de algunas de las piezas de los módulos.

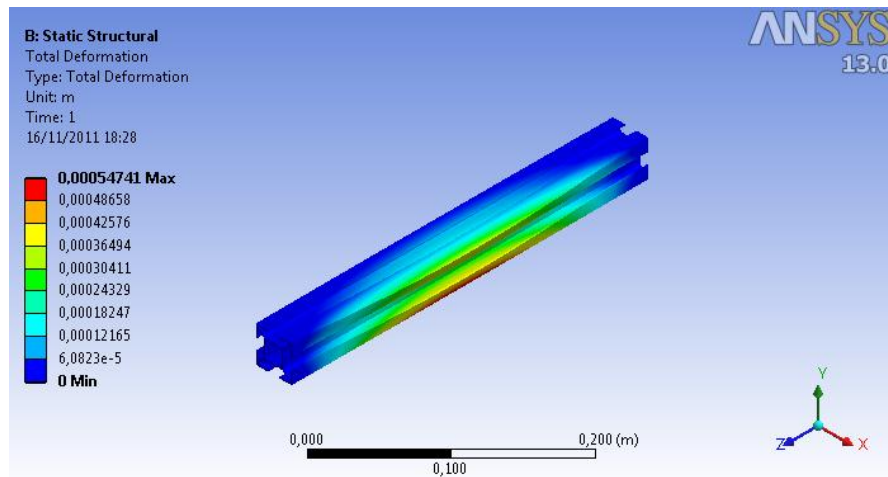
Figura 108. CAE esfuerzos. Perfiles estrella de soporte.



Fuente: autores

Con un esfuerzo máximo de $56,43e^6$ [Pa] teniendo un factor de seguridad de 4,7 respecto al esfuerzo máximo del aluminio 6063 por el que está hecho $2,9e^8$ [Pa] y el FS=2 de diseño.

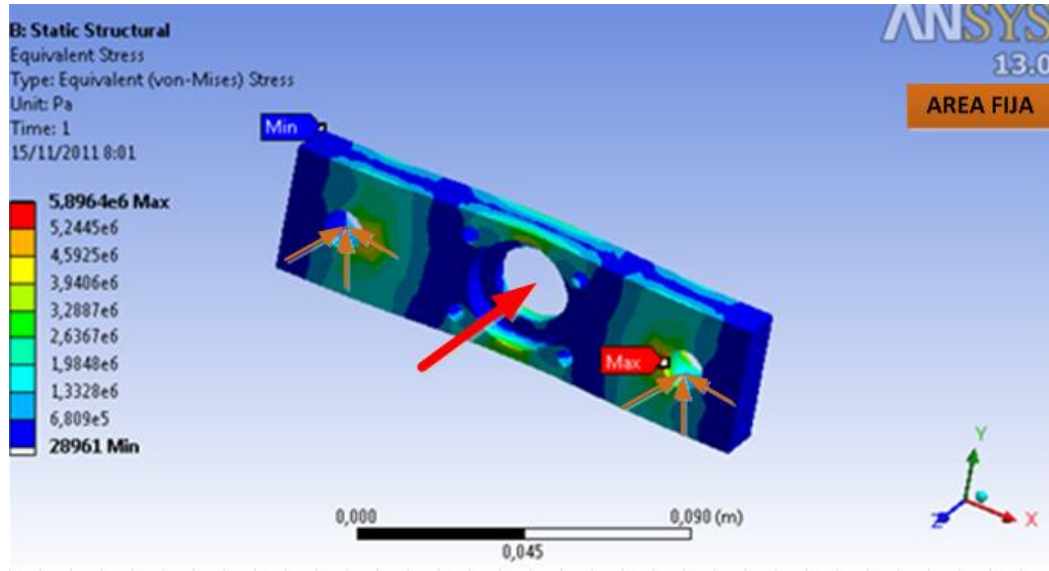
Figura 109. CAE deformaciones. Perfiles estrella de soporte.



Fuente: autores

Con una deformación máxima de $2,18e^{-001}$ [mm]

Figura 110. CAE esfuerzos. Platinas de unión principal entre módulos.

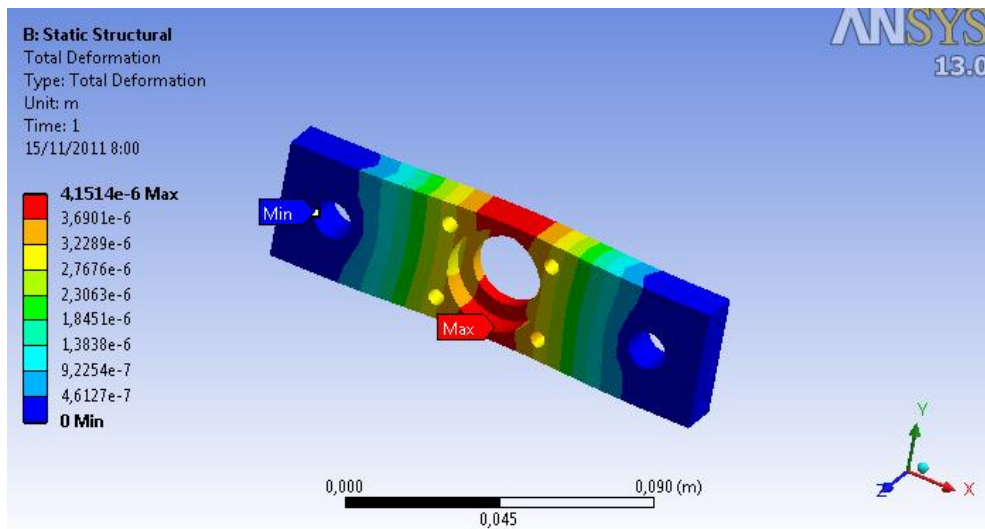


Fuente: autores

Con un esfuerzo máximo de $5.89e^6$ [Pa] teniendo un factor de seguridad de 49 respecto al esfuerzo máximo del aluminio por el que está hecho.

$2,9e^8$ [Pa] y el FS=2 de diseño.

Figura 111. CAE deformaciones. Platinas de unión principal entre módulos.

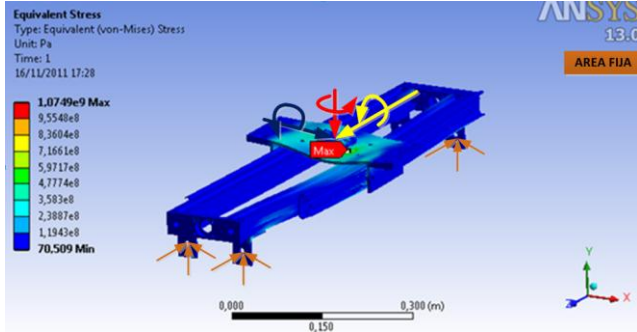
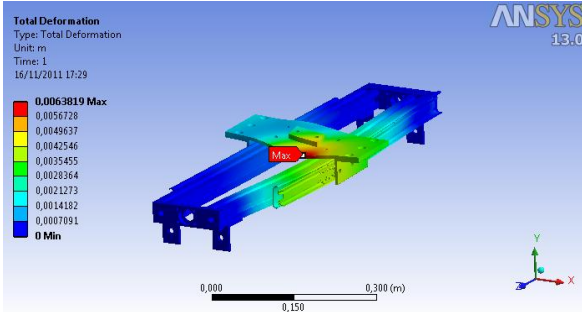


Fuente: autores

Con una deformación máxima $4,1514e^{-6}$ [m]

Igualmente mediante el análisis CAE se hizo sufrir a los tipos al módulo pequeño por ser el que más soporta esfuerzos en cada uno de los montajes, a sus esfuerzos límites de rotura del material, en cada uno de los ejes con el fin de ver hasta que valores de fuerza y momento puede llegar el modulo motriz.. ver módulos con estas fuerzas y momentos figura 109 y cuadro 20.

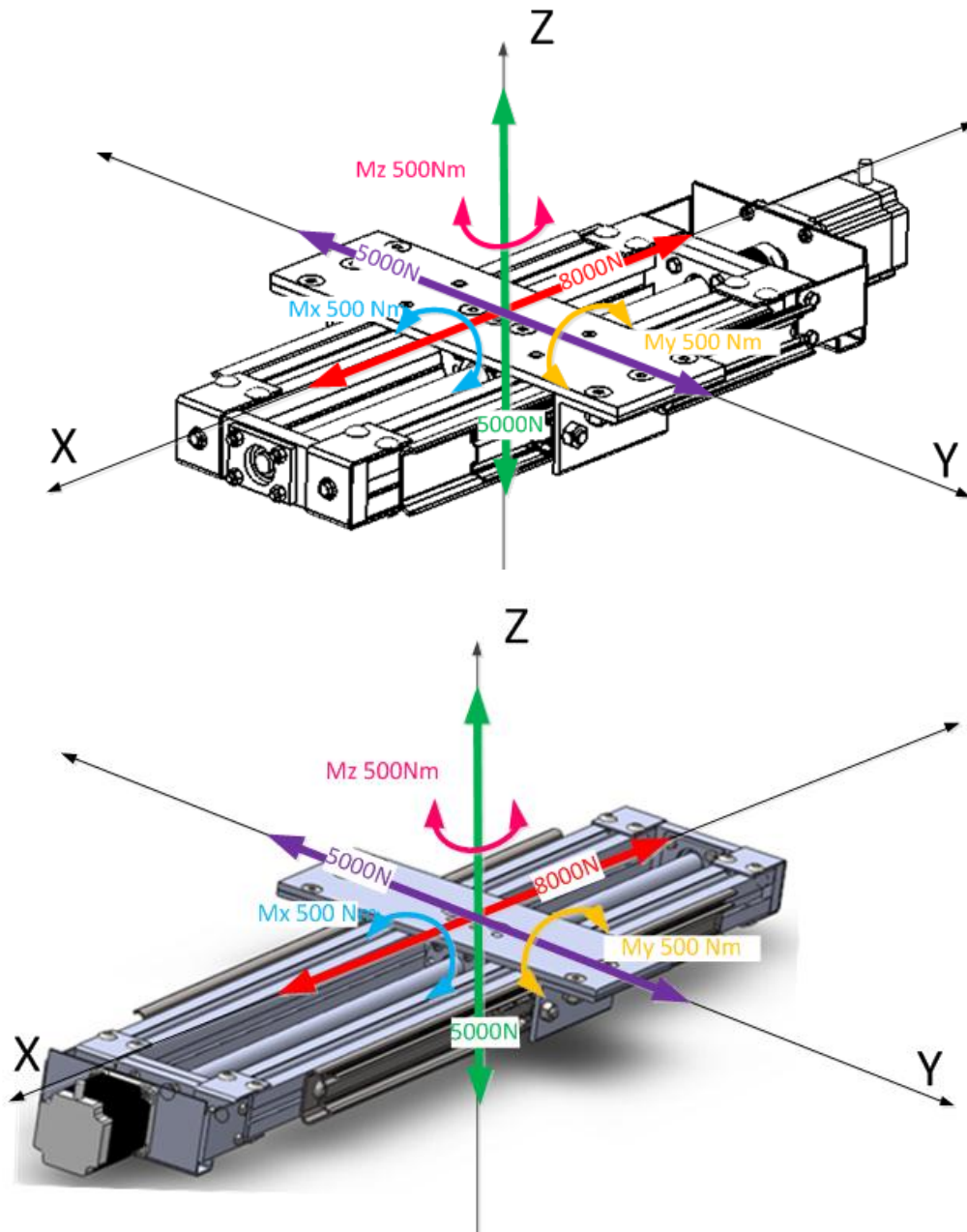
Cuadro 20. Fuerzas y momentos máximos soportados por el modulo motriz.

DIAGRAMA CAE		FUERZAS Y MOMENTOS MAXIMOS
esfuerzos		$F_x = 5000[N]$ $F_y = 5000[N]$ $F_z = 8000[N]$
deformaciones		$M_x = 500[Nm]$ $M_x = 500[Nm]$ $M_x = 500[Nm]$

Fuente: autores.

Hay que aclarar que son fuerzas y momentos de rotura por lo que no es aconsejable que se pongan a prueba en el prototipo pues no las soportara.

Figura 112. Modulo motriz con sus máximas fuerzas y momentos admisibles.



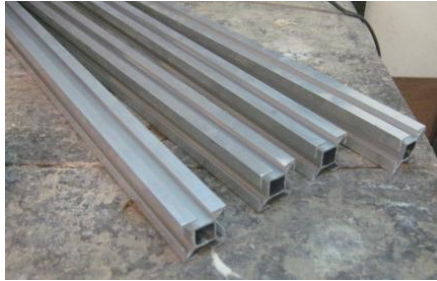
Fuente: autores.

5 RESULTADOS

5.1 SECUENCIA DE FABRICACIÓN DEL SISTEMA MODULAR

Desde la figura 113 a la 156 se muestra toda la secuencia de fabricación del sistema modular de mecanizado en sus tres montajes posibles.

Figura 113. Corte de los perfiles estrella para la estructura base.



Fuente: autores

Figura 114. Elaboración de las L como soporte y pieza de ensamblaje para la estructura base.



Fuente: autores

Figura 115. Montaje de los perfiles sterling en los perfiles estrella.



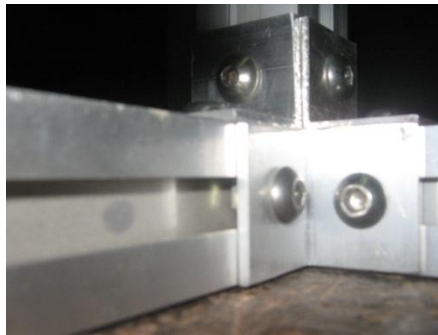
Fuente: autores

Figura 116. Ensamble de los perfiles en los dos tipos de módulos.



Fuente: autores

Figura 117. Tipo de unión de la estructura principal base.



Fuente: autores

Figura 118. Armado de la estructura principal base.



Fuente: autores

Figura 119. Mecanizado de las placas porta rodamientos.



Fuente: autores

Figura 120. Ensamblaje de riel con las L de unión a la mesa deslizante.



Fuente: autores

Figura 121. Todos los rieles cortos ensamblados.



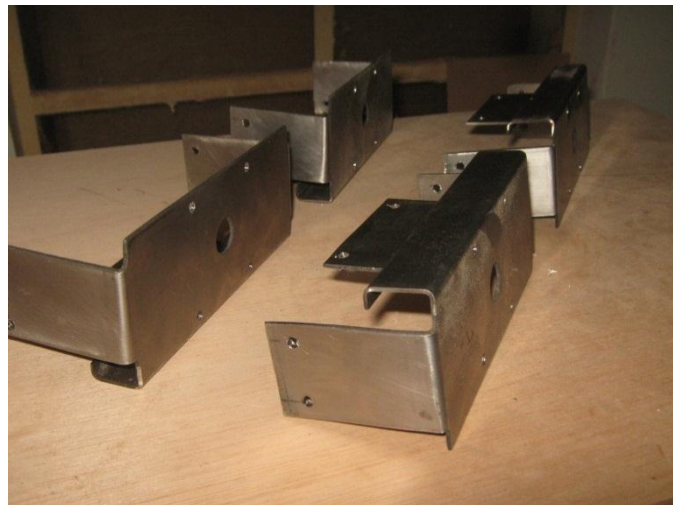
Fuente: autores.

Figura 122. Montaje de las L en los rieles con el perfil estrella.



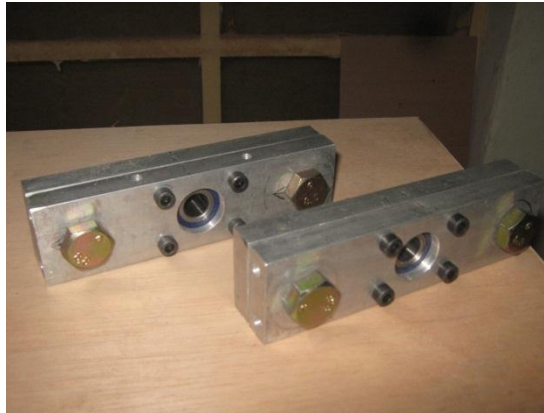
Fuente: autores.

Figura 123. Mecanizado y doblado de las láminas de soporte de los motores paso a paso.



Fuente: autores

Figura 124. Ensamble de las placas junto con sus balineras.



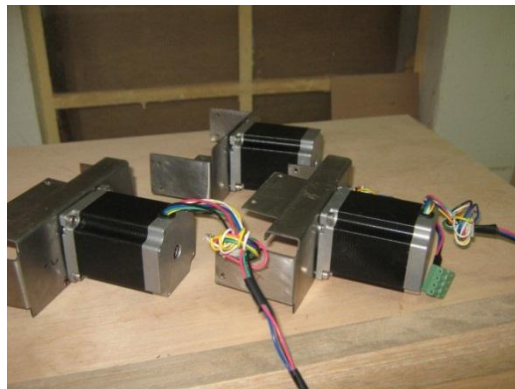
Fuente: autores.

Figura 125. Ensamble de los perfiles estrella con rieles y las placas balineras con perfiles en U.



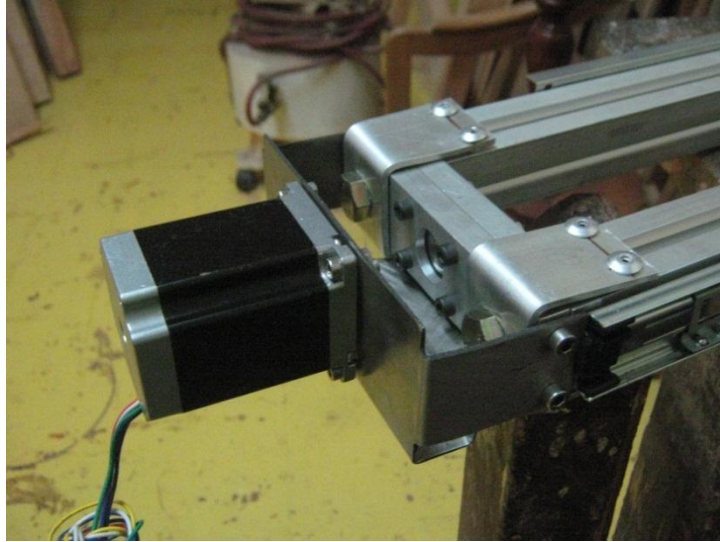
Fuente: autores

Figura 126. Ensamble de los motores paso a paso en sus laminas soporte.



Fuente: autores

Figura 127. Ensamble del conjunto del motor paso a paso en el módulo.



Fuente: autores

Figura 128. Ensamble de los tornillos de potencia dentro de las balineras de los módulos.



Fuente: autores.

Figura 129. Ensamble completo del módulo de 40 cm.



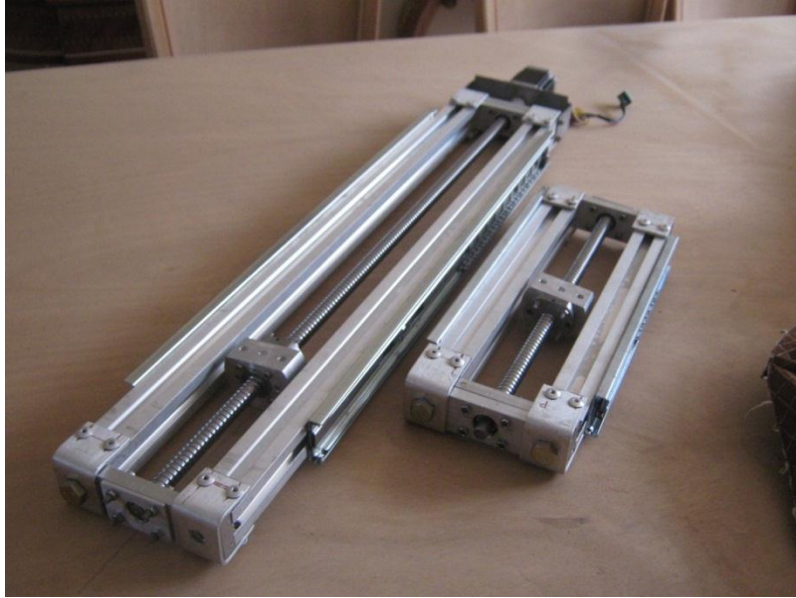
Fuente: autores

Figura 130. Ensamble completo de los módulos de 80 cm.



Fuente: autores

Figura 131. Ambos tipos de módulos.



Fuente: autores

Figura 132. Ensamble de las mesas deslizantes en los módulos.



Fuente: autores

5.1.1. Montaje de torno

Figura 133. Ensamble de módulo de 80 cm en la estructura.



Fuente: autores

Figura 134. Ensamble del módulo de 40 sobre el de 80 TORNO.



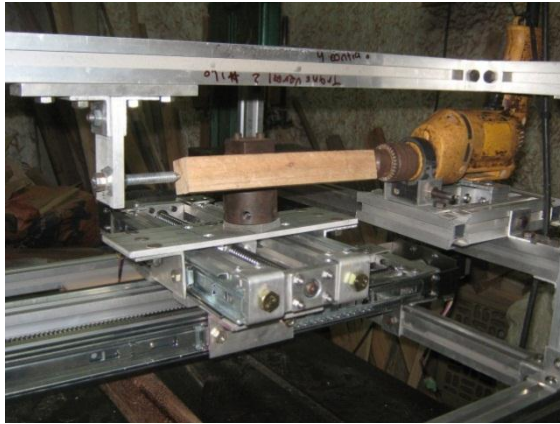
Fuente: autores

Figura 135. Ensamble del soporte del taladro. TORNO.



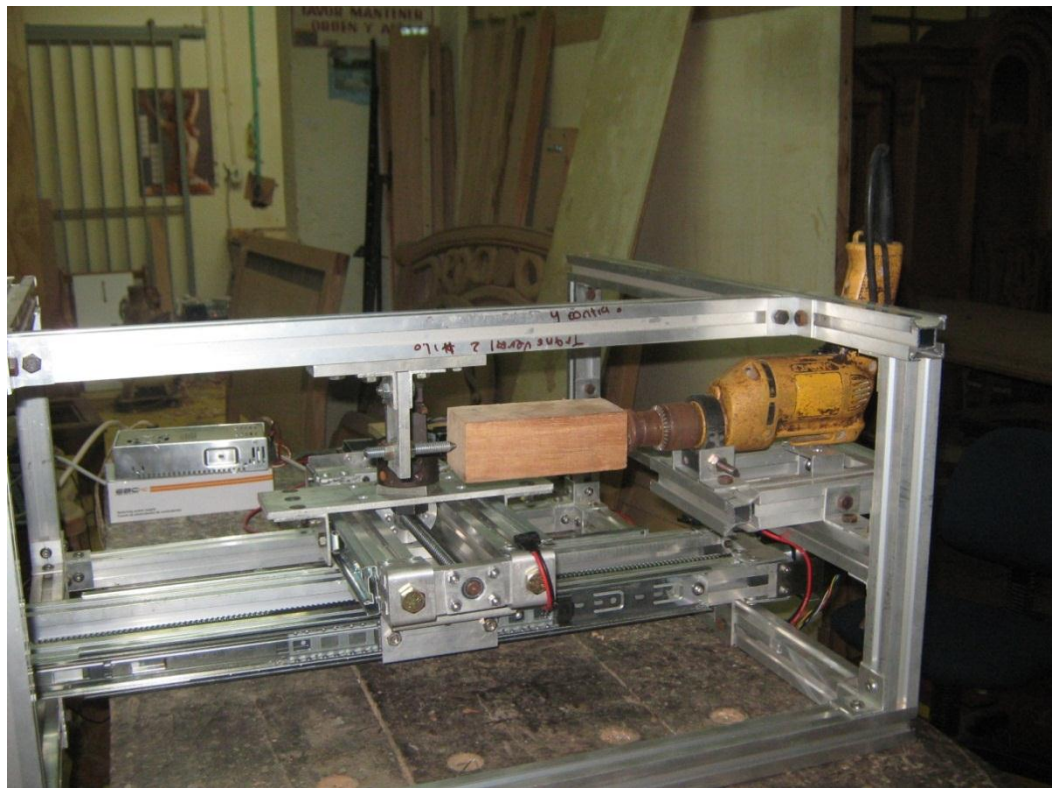
Fuente: autores.

Figura 136. Montaje del contrapunto. TORNO.



Fuente: autores.

Figura 137. Montaje completo de torno.



Fuente: autores.

5.1.2. Montaje de fresa

Figura 138. Montaje de los 3 módulos de 80 cm en la estructura FRESADO.



Fuente: autores.

Figura 139. Montaje de los perfiles estrella soporte del módulo Z de 40 cm.



Fuente: autores.

Figura 140. Ensamble en el montaje de FRESA.



Fuente: autores.

Figura 141. Montaje de la ruteadora en el módulo de 40 cm.



Fuente: autores.

Figura 142. Soporte de la ruteadora completo.



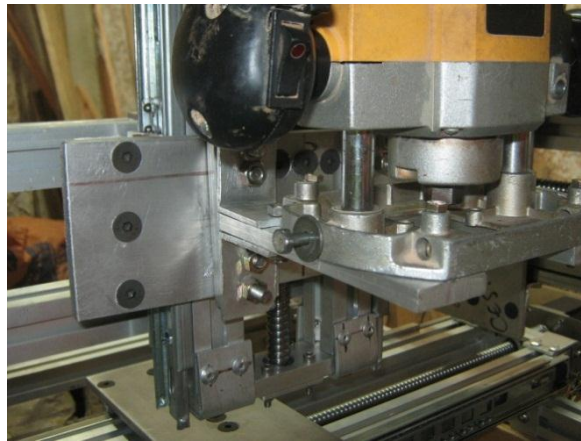
Fuente: autores.

Figura 143. Ensamble completo fresadora.



Fuente: autores.

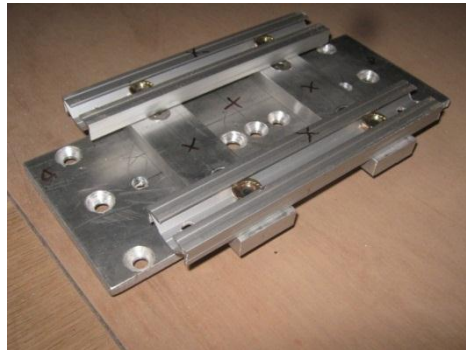
Figura 144. Detalle del soporte de la ruteadora.



Fuente: autores.

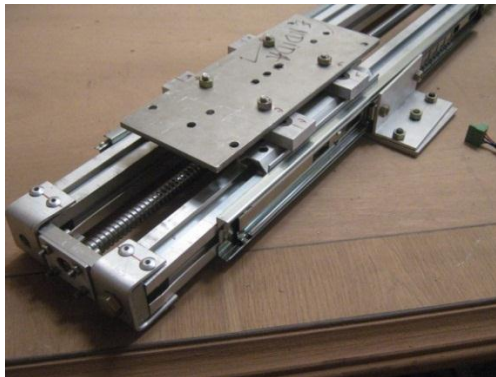
5.1.3. Montaje de corte por hilo

Figura 145. Ensamble de la unión entra módulos en la mesa deslizante.



Fuente: autores.

Figura 146. Ensamble de la unión entre módulos de un módulo a otro.



Fuente: autores.

Figura 147. Ensamble de perfil media estrella para soportar en montaje del hilo.



Fuente: autores.

Figura 148. Esquema de sujeción del alambre de corte de icopor.



Fuente: autores.

Figura 149. Ensamble completo de corte por hilo.



Fuente: autores.

5.1.4. Montaje de la parte de control.

Figura 150. Cables de extensión de los motores paso a paso.



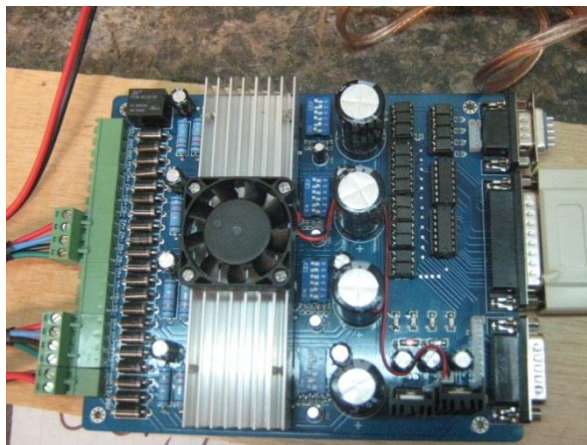
Fuente: autores.

Figura 151. Conexiones de la fuente de alimentación de 24V.



Fuente: autores.

Figura 152. Conectando la tarjeta de potencia al puerto paralelo.



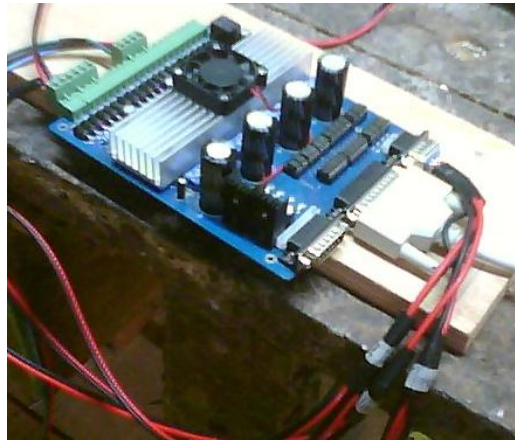
Fuente: autores.

Figura 153. Finales de carrera.



Fuente: autores.

Figura 154. Conexión de la tarjeta de potencia a los finales de carrera.



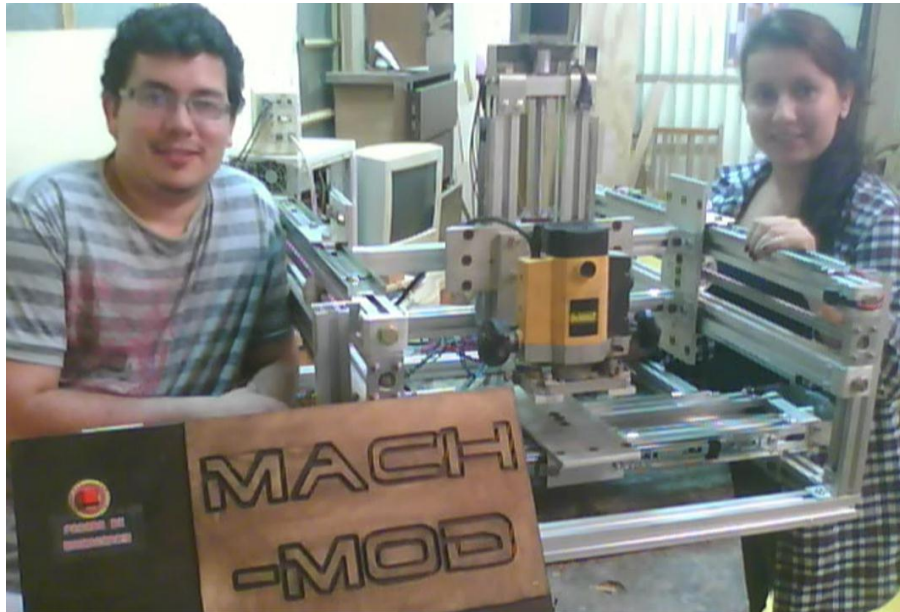
Fuente: autores.

Figura 155. Caja de conexiones finales.



Fuente: autores

Figura 156. Ensamble ruteadora final junto con la parte de control y sus autores.



Fuente: autores

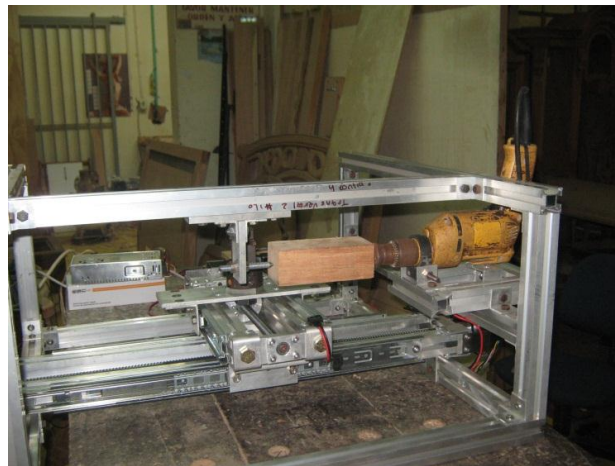
5.2. PRUEBAS REALIZADAS POR EL SISTEMA MODULAR²²

5.2.1. Prueba de torno

Las pruebas que se realizaron para el montaje de torno, consistió en cilindrar y dar forma semiesférica y cónica a piezas de madera, que rotaban gracias al taladro puesto en el ensamble completo del sistema modular.

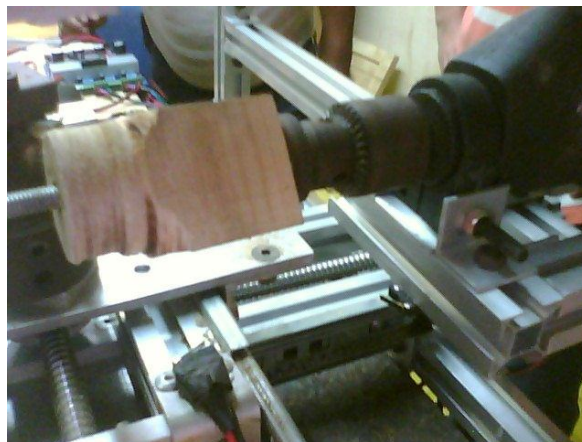
Primera pieza mecanizada: pieza de madera cilindrada hasta la mitad. Ver figura 157 , 158 , 159.

Figura 157. Montaje de la primera pieza a mecanizar.



Fuente: autores.

Figura 158. Cilindrando la pieza.



Fuente: autores.

²² Ver anexos digitales. En el hipervínculo: [Videos pruebas.](#)

Figura 159. Pieza cilindrada.



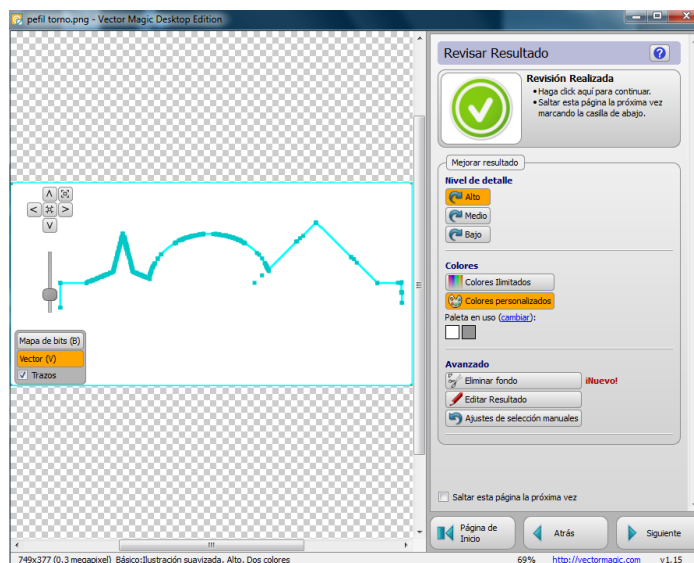
Fuente: autores.

Segunda pieza mecanizada: realizar un perfil creado en mach 3.

Los pasos de creación del código G fueron los siguientes:

Mediante el software gratuito vector magic tomamos una imagen base de lo que será el perfil a toronar y o convierte en una mapa de vectores. Ver figura 157.

Figura 160. Mapa de vectores del perfil a toronar.

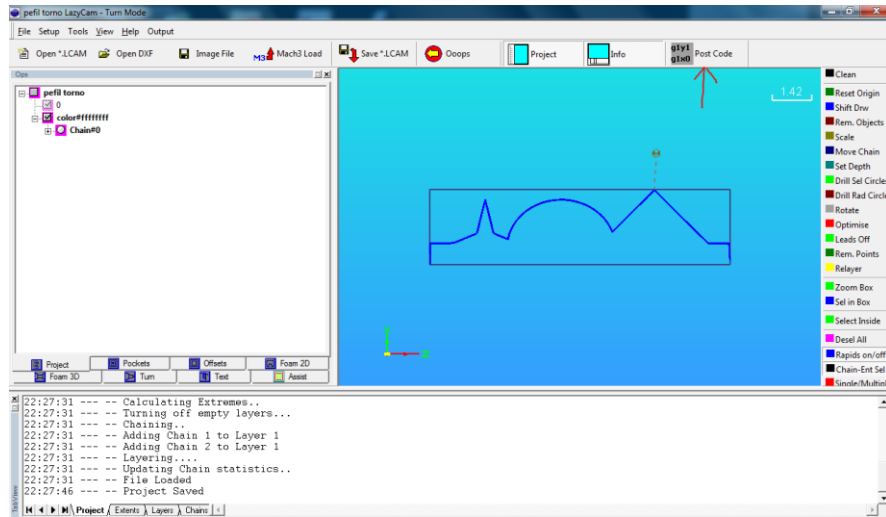


Fuente: autores.

Después de creado el mapa de vectores el perfil a tornearse se guarda este documento como .dxf (opción que tiene internamente este software).

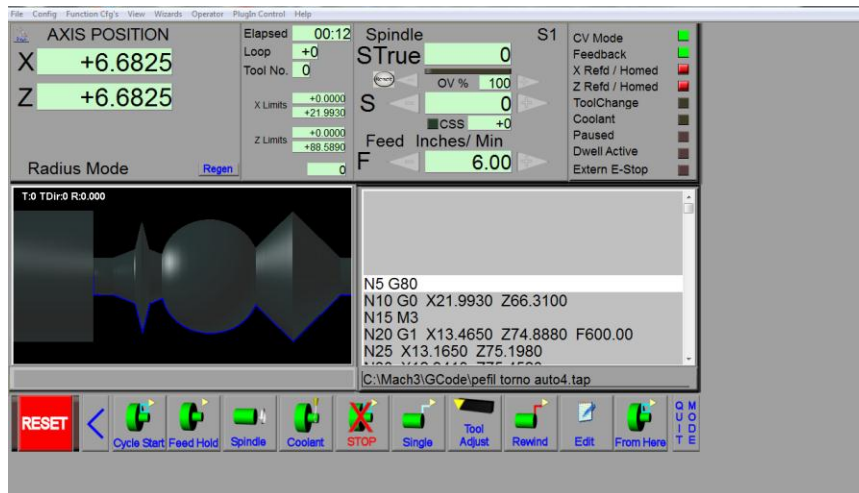
Posteriormente mediante el software lazycam tomamos el .dxf del perfil a tornearse y lo convertimos en un código G. que posteriormente se abrirá en el Mach3 como se muestra en la figura 158 y 159.

Figura 161. Lazycam en la creación del código G del perfil automático a tornearse.



Fuente: autores

Figura 162. Pantallazo mecanizado del perfil en mach 3.



Fuente: autores.

Los resultados obtenidos son bastante satisfactorios, teniendo en cuenta que la madera es un material poroso y como mucha fibra lo que ocasiona un acabado basto, necesitando posteriormente un rectificado con lija.

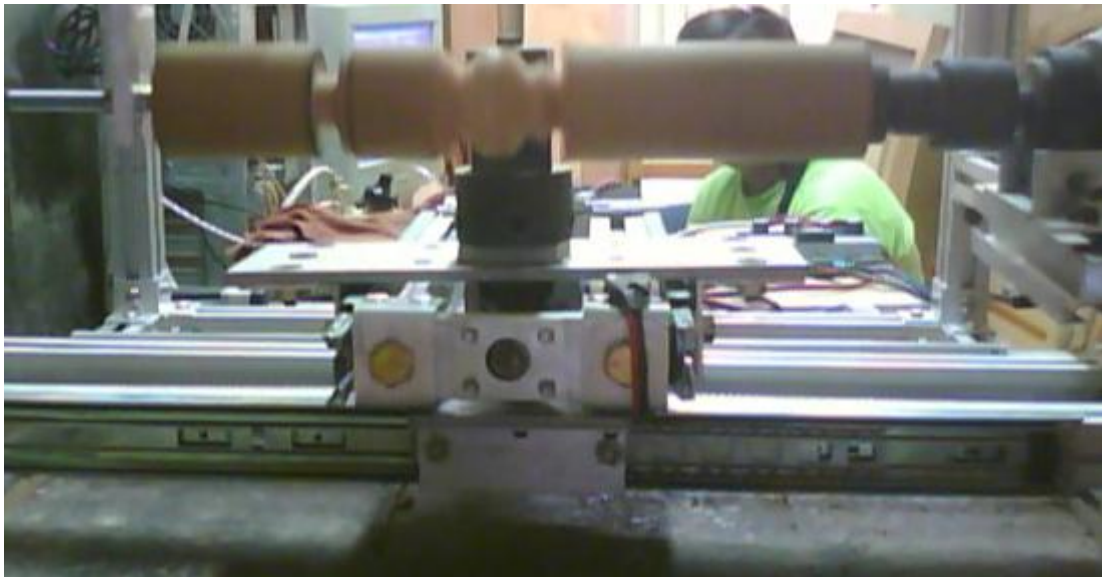
Tanto la pieza base a tornearse como el proceso del torneado se muestra en las figuras 163, 164 y 166.

Figura 163. Pieza base a tornearse para la prueba dos.



Figura: autores.

Figura 164. Pieza en proceso de torneado dos.



Fuente: autores.

Figura 165. Pieza torneada dos.



Fuente: autores.

Como se puede observar la pieza tuvo partes en los que la profundidad fue bastante mente considerable lo que ocasionó que la madera se tendiera a quemar. Por lo que se hace la prueba tres.

Tercera pieza mecanizada: realizar un cilindrado con distancias de penetración pequeñas y siguiendo un perfil de torneado sencillo.

La pieza base para este caso fue un paralelepípedo con las puntas rebajadas. Con el fin de poner a prueba la capacidad de cilindrado del sistema. Ver figura 166.

Figura 166. Pieza base a tornear prueba 3.



Fuente: autores.

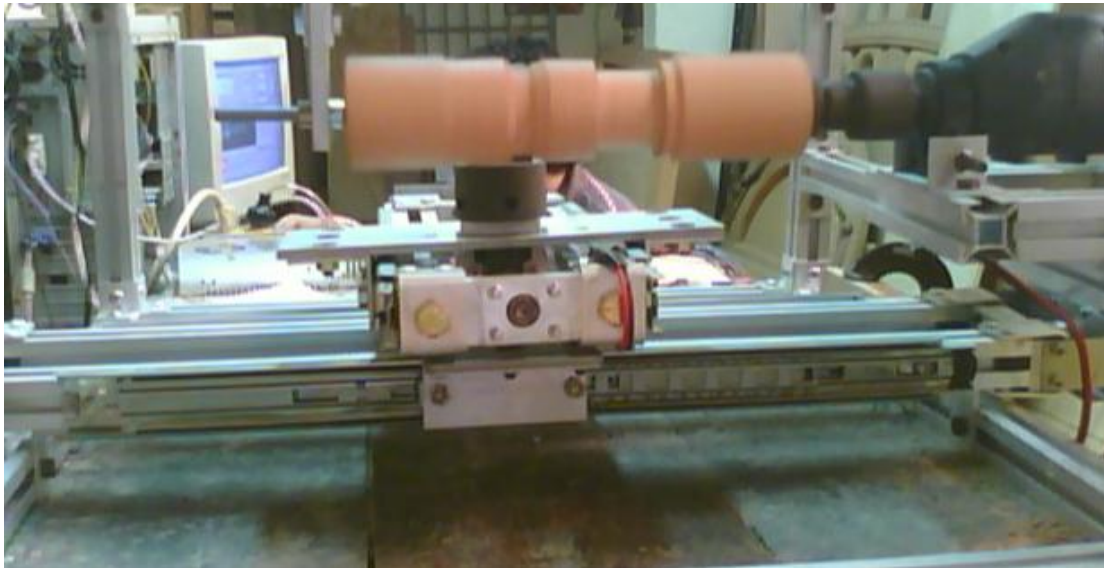
El perfil al igual que la prueba dos tuvo el mismo tratamiento para la creación del código G, a poner a correr en el Mach3. Ver figura 167.

Figura 167. Pantallazo del perfil de la prueba 3.



Fuente: autores.

Figura 168. Proceso de torneado de la prueba tres.



Fuente: autores.

Como se pudo observar la pieza en la figura 168 y 169 al tener profundidades de penetración pequeñas por pasada, tuvo un mejor acabado y respondió mejor al movimiento de los motores paso a paso.

Figura 169. Pieza torneada en el ensayo tres.



Fuente: autores.

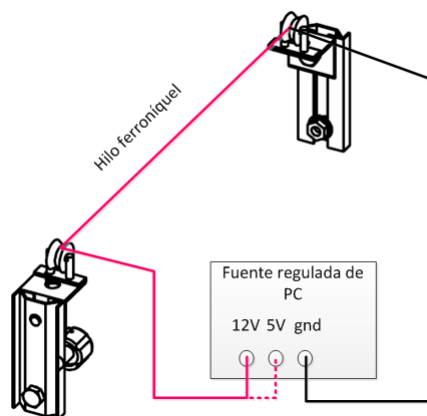
5.2.2. Prueba corte de icopor hilo caliente.

En el caso del corte de hilo caliente se manejaros dos pruebas, en las cuales el fin fue comparar el corte del sistema a la variación de velocidad.

Para esta prueba se montó alambre de ferróniquel, materialmente común en el mercado para el corte de icopor.

Y se realizó su montaje de alimentación de corriente. Para calentar el hilo como se muestra en la figura 170.

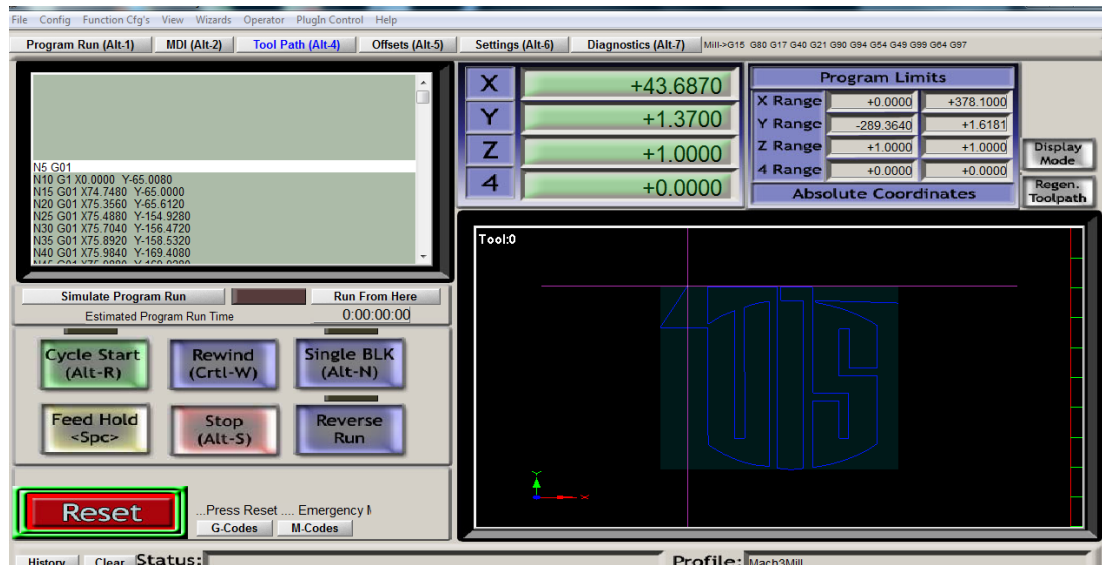
Figura 170. Montaje para el funcionamiento eléctrico del corte de hilo caliente.



Fuente: autores.

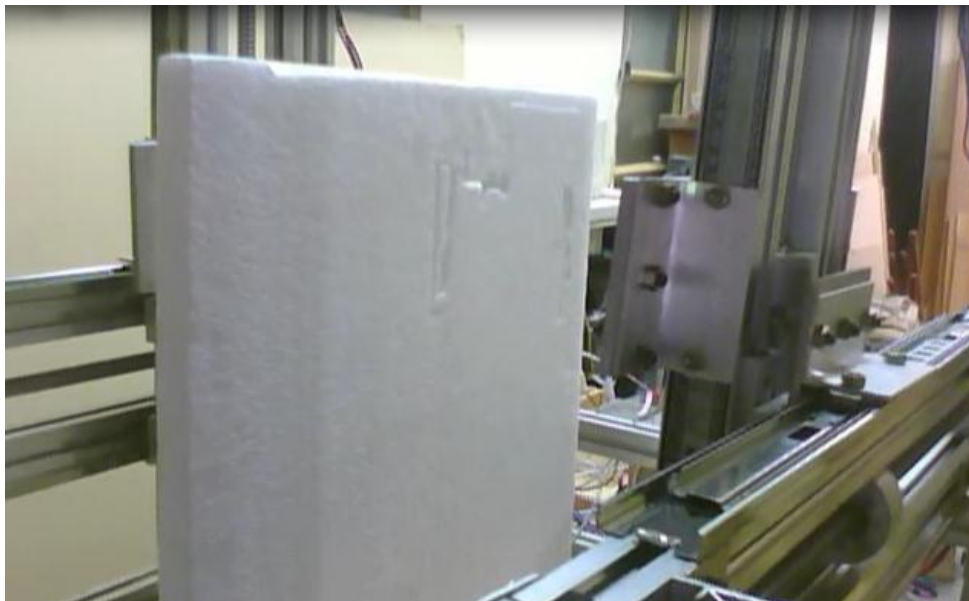
Prueba uno de corte de icopor: corte en dos dimensiones de la silueta del logo de la UIS, alambre ferroníquel a 12 V y velocidad de avance de 50mm/min. Ver figura 171 y 172.

Figura 171. Pantallazo en Mach3 de la silueta a cortar.



Fuente: autores.

Figura 172. Realizando la silueta el sistema modular.



Fuente: autores.

El resultado de la prueba, ver figura 173, fue bastante satisfactorio, aunque se pudo ver que la combinación del voltaje y la velocidad de corte no fue el más exacto por lo que se procedió a la siguiente prueba.

Figura 173. Resultado del corte de hilo. Prueba 1.

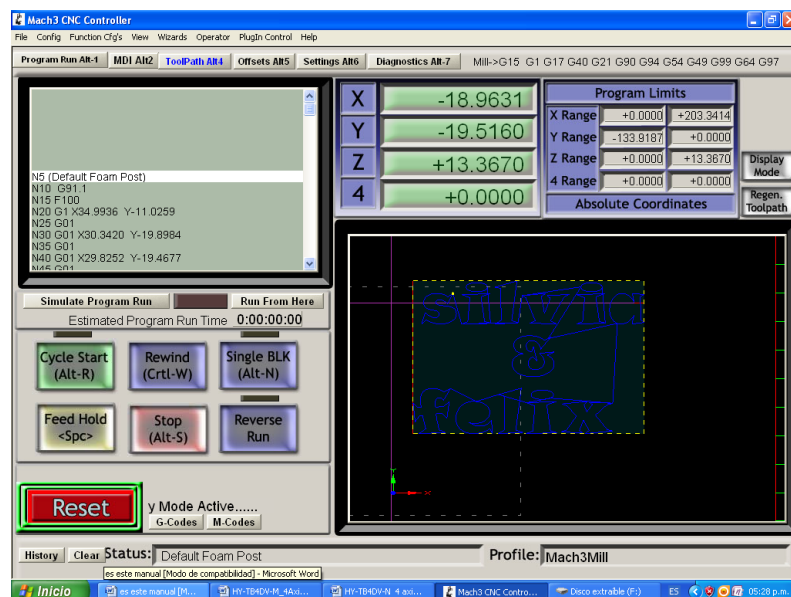


Fuente: autores.

Prueba dos de corte de hilo: para la segunda prueba se pretende crear igualmente una pieza en dos dimensiones pero realizando una mejor combinación de velocidad de corte y tensión que paso por el alambre de ferroníquel. (5 V y velocidad de 100 mm/min) y a mayor complejidad.

Ver figura 174 y 175 para visualizar lo que el computador realiza para el corte.

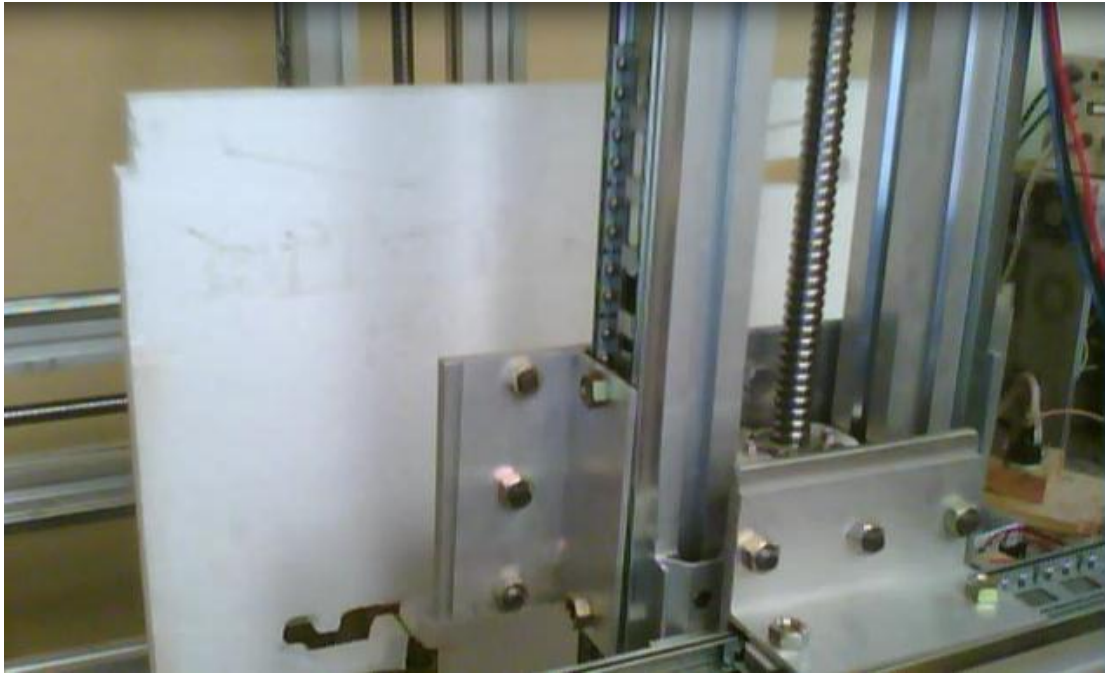
Figura 174. Pantallazo de la prueba dos de corte de hilo.



Fuente: autores.

Este modelo que se comportó de una manera mucho más adecuada. Pues aunque el tiempo de mecanizado fue mayor, presento mejores resultados.

Figura 175. Proceso de la prueba dos de corte de hilo.



Fuente: autores.

La pieza terminada se muestra en la figura 176.

Figura 176. Pieza terminada de la prueba dos de corte de icopor.



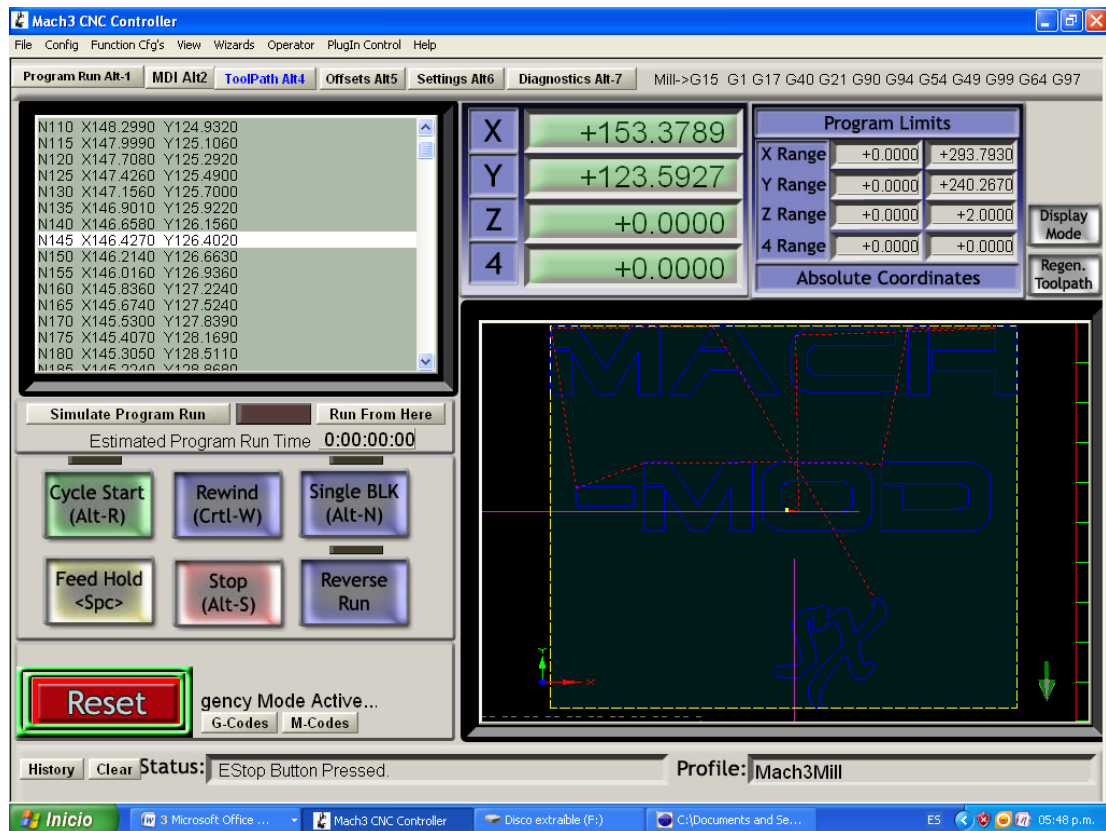
Fuente: autores.

5.2.3. Prueba de fresado

Las pruebas de fresado igualmente fueron dos en las cuales se realizaron dos siluetas una figura con bastantes curvas y una silueta con contornos más rectos y con careado con el fin de evaluar virtualmente el efecto de las diferencias sobre el sistema modular en el acabado.

Prueba de fresado uno: contorno con movimientos lineales y curvilíneos con profundizada de corte 2 mm en madera. Realizando el logo mismo de la máquina. Como se muestra figura 177, 178 y 179.

Figura 177. Pantallazo de la pieza a mecanizar en Mach 3.



Fuente: autores.

Figura 178. Fresado en curso de la silueta MACH-MOD.



Fuente: autores.

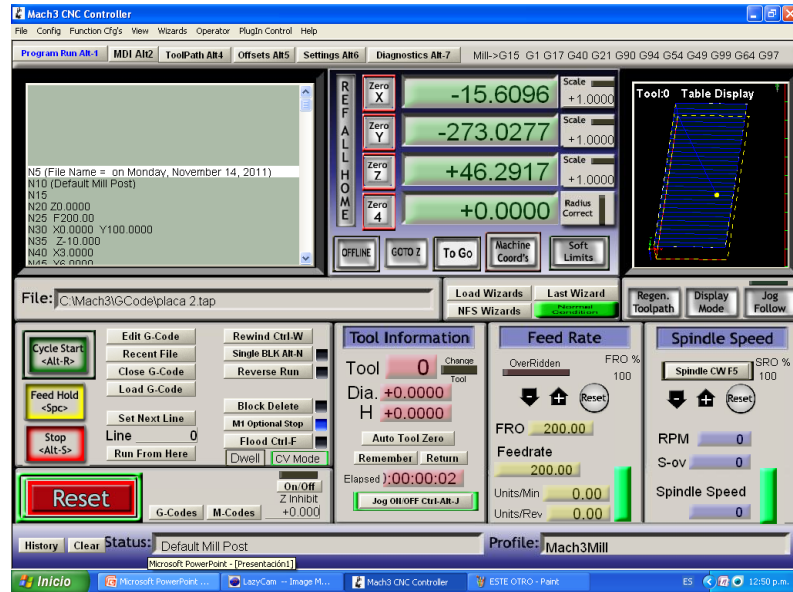
Figura 179. Resultado de la prueba uno de fresado.



Fuente: autores.

Prueba dos de fresado: fresado de contornos más rectos. Con la realización de un rectángulo tipo caja. Con las pruebas de mecanizado en las figuras 180 a 181.

Figura 180. Pantallazo de la pieza a mecanizar en Mach 3.



Fuente: autores.

Figura 181. Fresado en curso de la prueba dos de fresado.



Fuente: autores.

Figura 182. Resultado de la prueba dos de fresado.

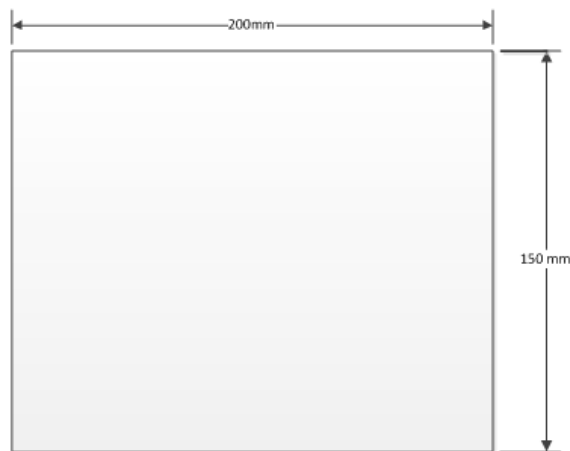


Fuente: autores.

5.3. PRUEBA DE EXACTITUD DE MOVIMIENTO DEL SISTEMA MODULAR.

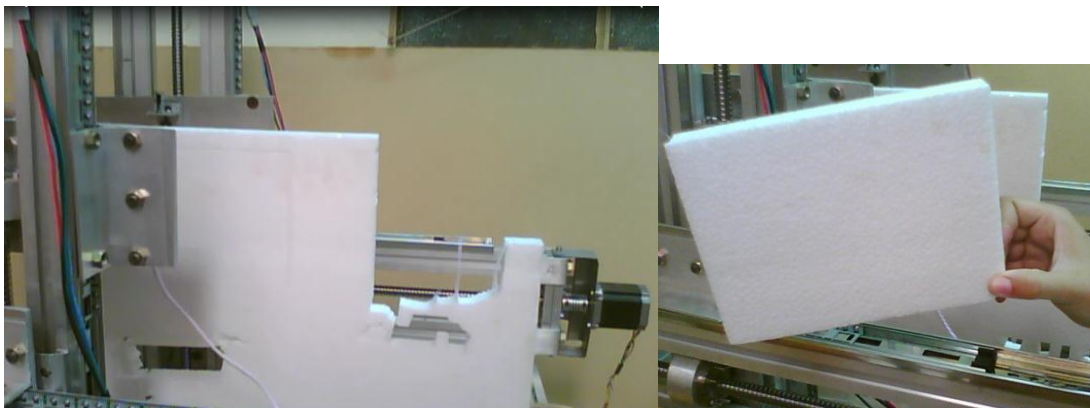
PRIMERA PRUEBA: Mediante el montaje de corte de hilo caliente, se realizó una prueba en la cual mediante el simple corte de un rectángulo y la comparación del resultado con el plano dimensionado, se logró dar un valor experimental de la exactitud de movimiento del sistema modular. Ver figura 183, 184, 185 para ver lo asociado al texto.

Figura 183. Plano dimensionado del rectángulo.



Fuente: autores.

Figura 184. Prueba en proceso y resultado.



Fuente: autores.

Figura 185. Pieza rectangular cortada.



Fuente: autores.

Cuadro 21. Comparación de las dimensiones mecanizadas con las diseñadas.

DIMENSION	VALOR VERTICAL	VALOR HORIZONTAL
teórica	150mm	200mm
real	149mm	200mm
desviación	1 mm	0
PROMEDIO TOTAL	1mm	

Fuente: autores.

Entonces la exactitud en porcentaje es entonces:

$$\%E = 100 - \frac{\text{dim real} * 100}{\text{dimmedida}}$$

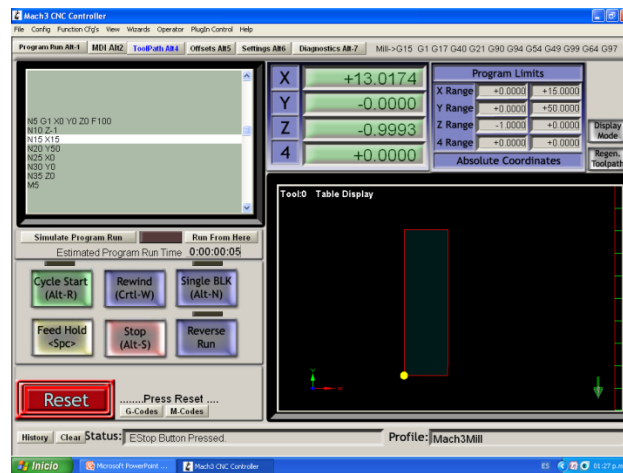
$$\%E = 100 - \frac{(200 + 150) * 100}{(200 + 149)}$$

$$\%E = 0.2857\%$$

PRUEBA DOS: la segunda prueba se realizó con aluminio a fin de evaluar el material máximo de mecanizado según los diseños del sistema modular.

La prueba consistió en medir con la mayor exactitud posible, las dimensiones diseñadas en comparación con las mecanizadas a fin de dar un valor técnico de la máquina de precisión.

Este valor involucra cada una de las deformaciones que sufre el sistema modular en cada uno de sus ejes coordenados. Por lo cual esta prueba es una muestra de las medidas de las deformaciones en conjunto del sistema modular. Las medidas fueron $X=15\text{mm}$ y $Y=50\text{mm}$. Ver figura 186, 187 y 188. Figura 186. Diseño dimensional del corte.



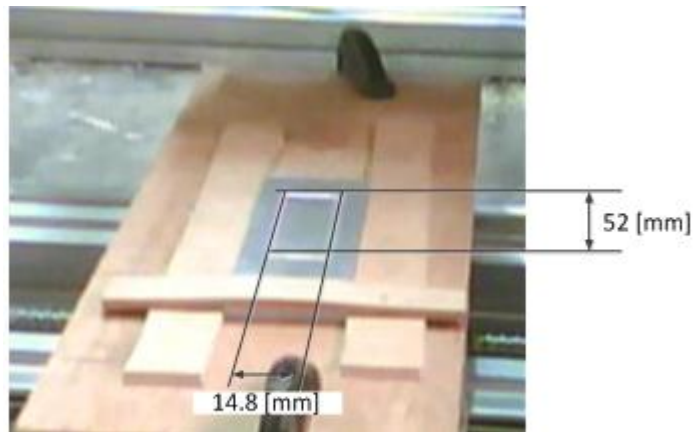
Fuente: autores.

Figura 187. Pieza mecanizada.



Fuente: autores.

Figura 188. Medidas mecanizadas por el sistema modular.



Fuente: autores

Cuadro 22. Comparación de las medidas.

DIMENSION	VALOR VERTICAL	VALOR HORIZONTAL
teórica	50mm	15mm
real	52mm	14.8mm
desviación	2mm	0,2mm
PROMEDIO TOTAL	1.1mm	

Fuente: autores.

Entonces la exactitud en porcentaje es entonces:

$$\%E = 100 - \frac{\text{dim real} * 100}{\text{dimmedida}}$$

$$\%E = 100 - \frac{(50 + 15) * 100}{52 + 14,8}$$

$$\boxed{\%E = 2,70\%}$$

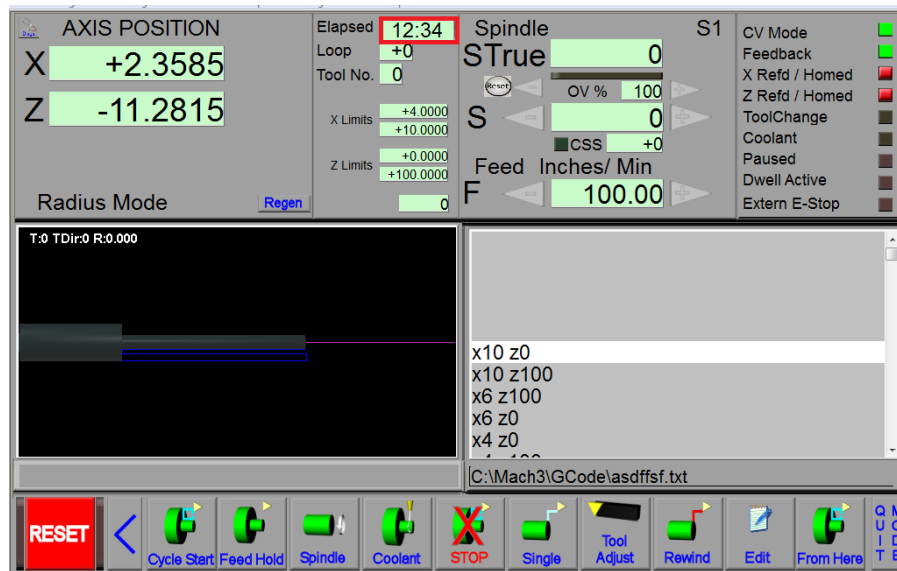
5.4. TIEMPOS DE MECANIZADO PARA LAS PIEZAS REALIZADAS POR EL SISTEMA MODULAR

Gracias a la capacidad de simulación que tiene el MACH 3 se pudo ver mediante esta. El tiempo que tardaría en mecanizar cada una de las piezas que se pusieron a prueba.

Se realizaron en total como se pudo ver el sub capítulo anterior siete pruebas para las cuales a cada una de ellas se realizó la simulación del tiempo transcurrido para la conclusión del mecanizado.

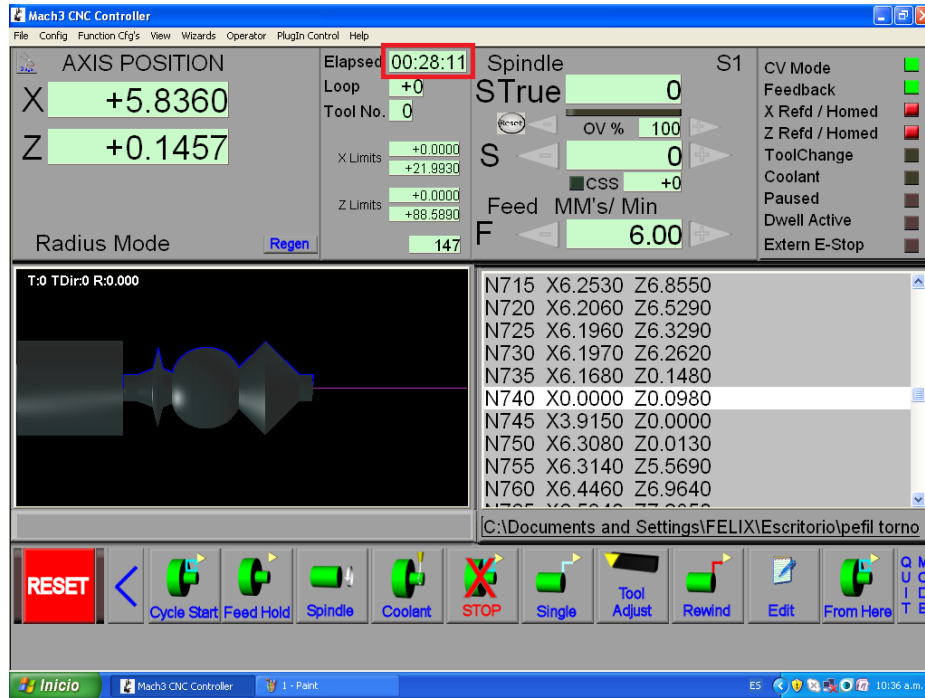
A continuación se muestra los pantallazos de cada simulación en las figuras 189 a la 195.

Figura 189. Simulación del tiempo prueba 1 torneado.



Fuente: autores.

Figura 190. Simulación del tiempo prueba 2 torneado.



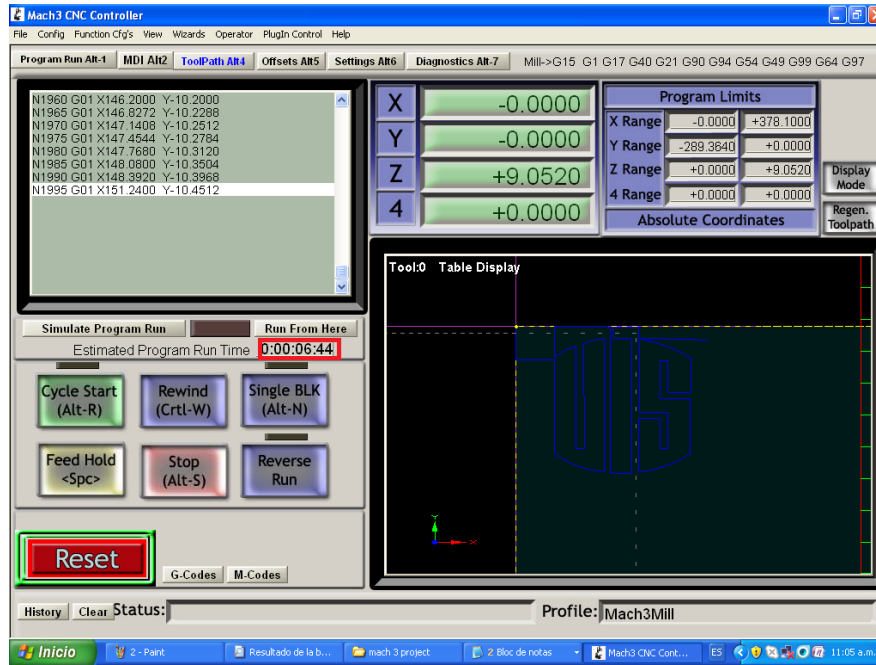
Fuente: autores.

Figura 191. Simulación del tiempo prueba 3 torneado.



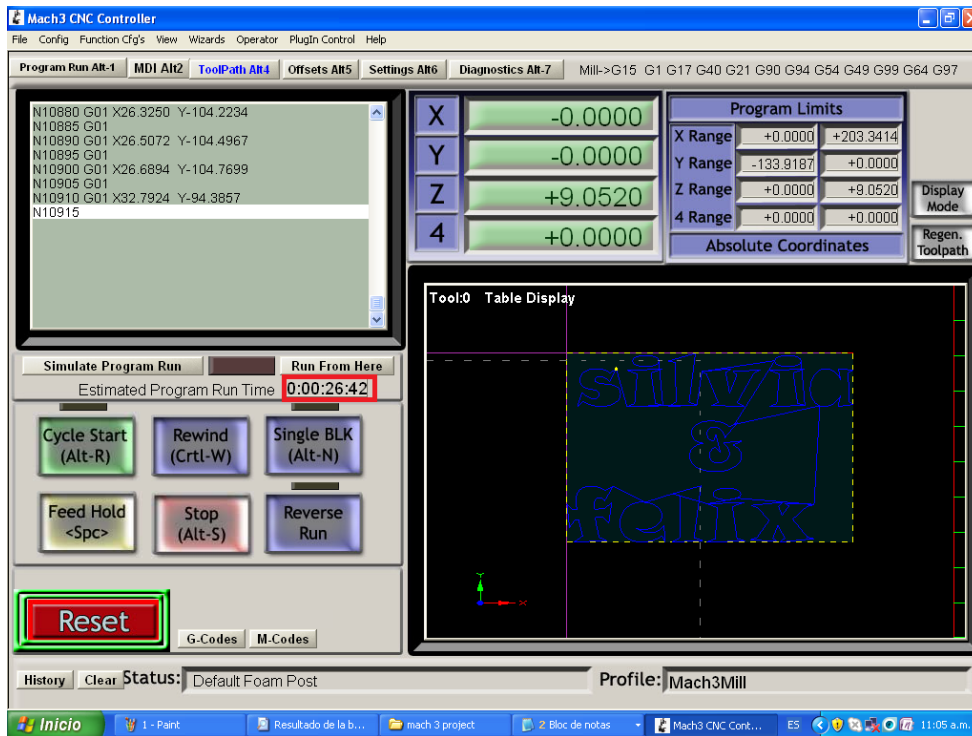
Fuente: autores.

Figura 192. Simulación del tiempo prueba 1 hilo caliente.



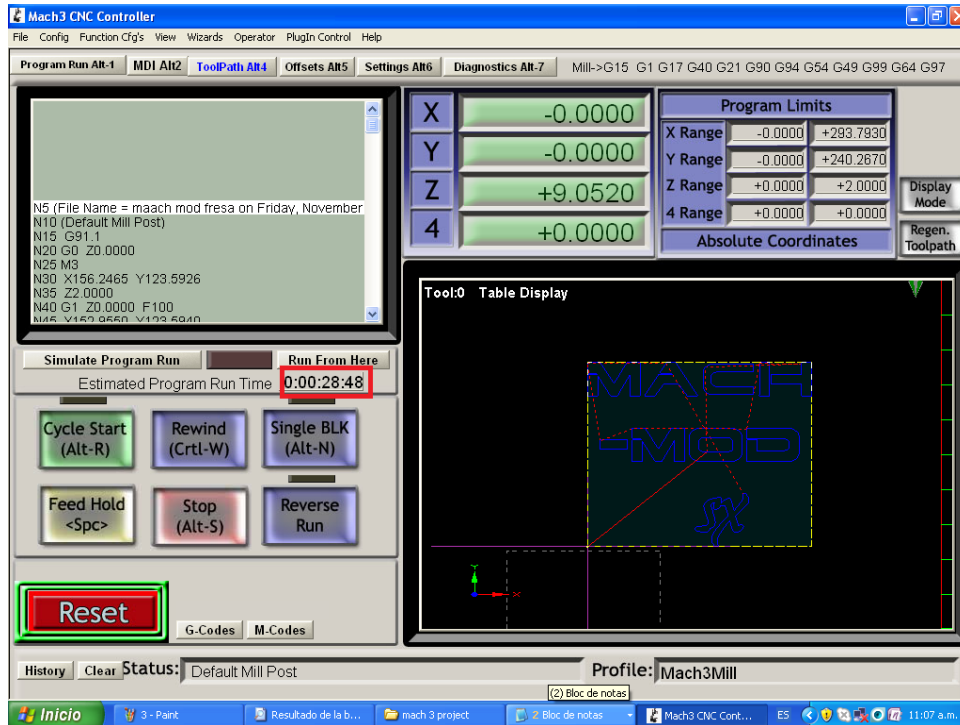
Fuente: autores.

Figura 193. Simulación del tiempo prueba 2 hilo caliente.



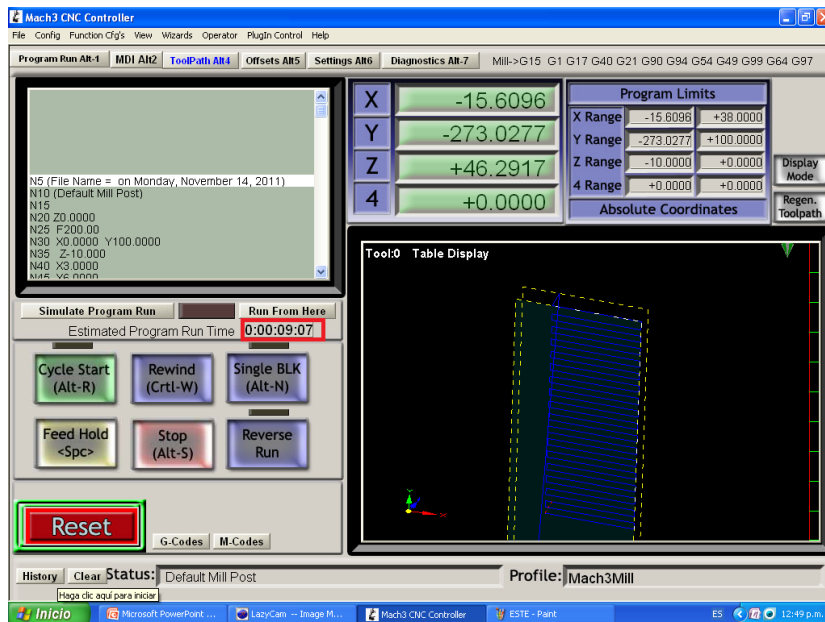
Fuente: autores.

Figura 194. Simulación del tiempo prueba 1 fresado.



Fuente: autores.

Figura 195. Simulación del tiempo prueba 2 fresado.



Fuente: autores.

El tiempo de mecanizado que tomaron las pruebas, se muestra la siguiente tabla que recopila la información con el fin de ilustrar de mejor manera lo que fueron las pruebas.

Cuadro 23. Tiempos de mecanizado de las pruebas.

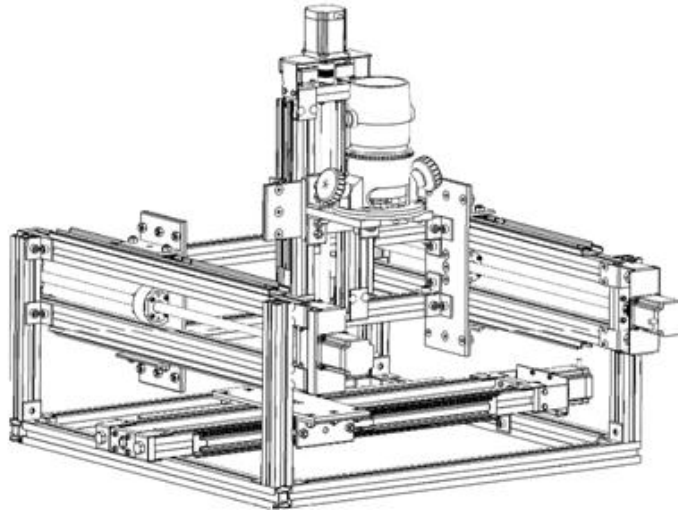
PRUEBA	TIEMPO DE MECANIZADO [segundos]
Prueba torneado uno	12 min 24 seg
Prueba torneado dos	28 min 11 seg
Prueba torneado tres	10 min 26 seg
Prueba corte de hilo uno	6 min 44 seg
Prueba corte de hilo dos	26min 42 seg
Prueba fresado uno	28 min 48 seg
Prueba fresado dos	9min 7 seg

Fuente: autores

5.5. MANUAL DEL USUARIO

El manual de usuario completo se encuentra en el ANEXO L. Pero se muestra la portada de esta para crear la idea de la presentación de este manual

Figura 196. Portada del manual de usuario de MACH-MOD.



MANUAL DEL USUARIO

1

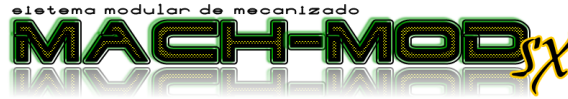
Fuente: autores.

Este manual de usuario presenta:

- Recomendaciones de uso
- Recomendaciones de instalación
- Montaje paso a paso de cada uno de los tres montajes por los cuales fue diseñado el sistema modular de mecanizado.
- Tablas de propiedades tanto mecánicas, dimensionales, como eléctricas.
- Instrucciones de uso del software de control de los motores paso a paso MACH 3
- Configuración de los puertos de comunicación entre el computador y la máquina.

5.6. FICHA TÉCNICA DEL SISTEMA MODULAR

FICHA TÉCNICA

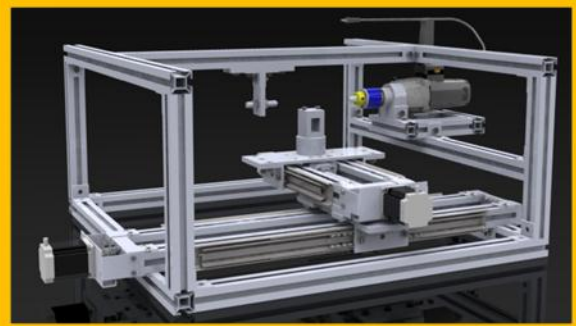
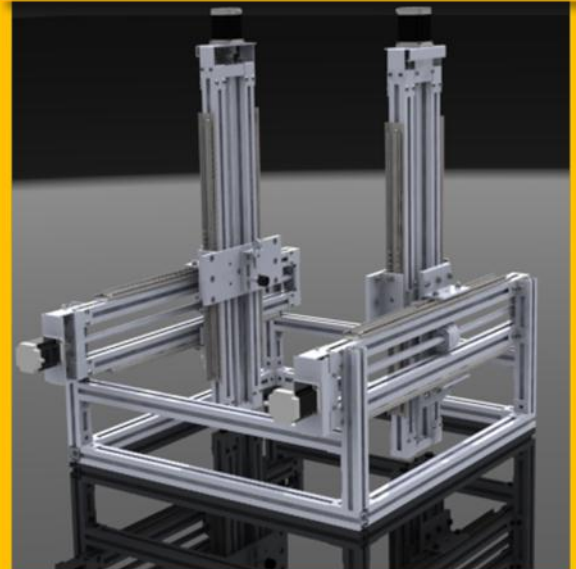
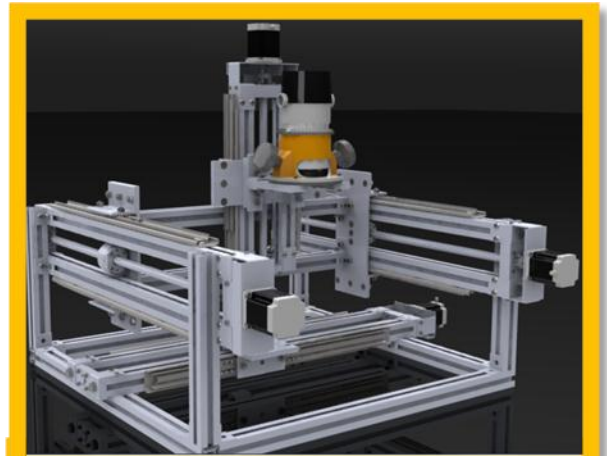


Sistema modular de mecanizado MACH MOD para control por computador, es un conjunto de módulos motrices de dos diferentes longitudes que mediante configuraciones distintas de montaje pueden realizar distintos tipos de mecanizado como los que se muestran en la figura:

- Fresado
- Corte de hilo 4 ejes
- torneado

CAMPOS DE APLICACIÓN

- ✪ Los tipos de mecanizado ya mencionado en materiales como el aluminio y materiales más blandos como maderas, plásticos, etc.
- ✪ En el modelamiento de icopor desde 2D hasta 4D debido a la multiplicidad de configuración de los módulos.
- ✪ En la industria del corte en laser de dos ejes para diversos materiales, como el cuero y plásticos, mediante el montaje propuesto de fresado.



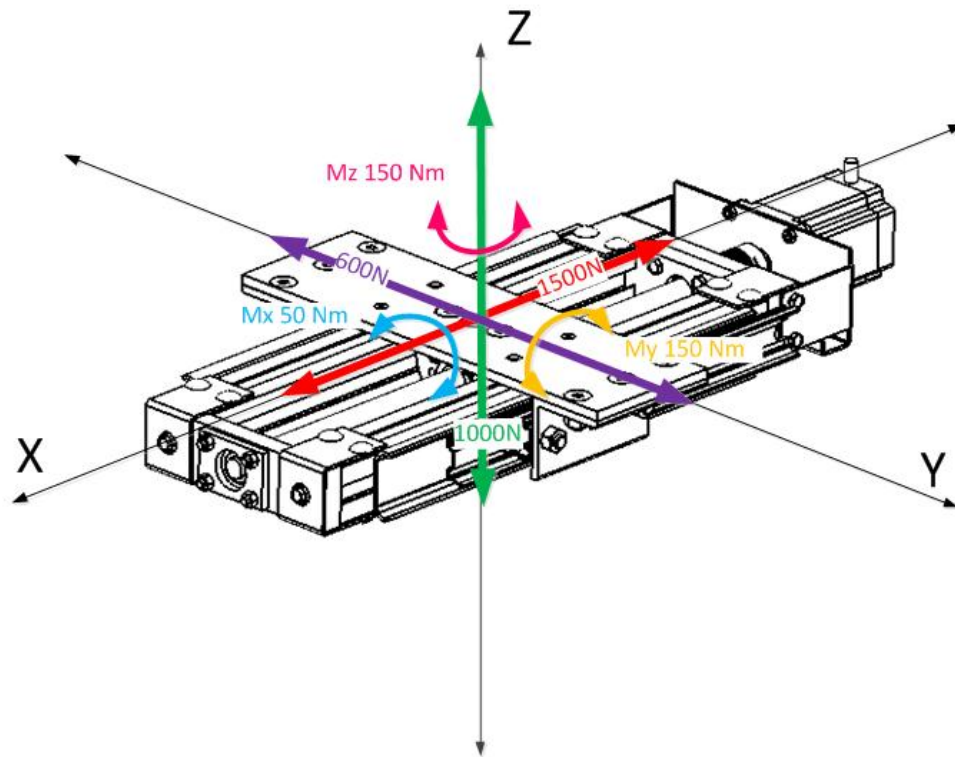
- ✪ En general para cualquier aplicación en la que se necesite posicionamiento de herramientas de corte, gracias a la modularidad que otorgan sus componentes.

CARACTERISTICAS Y VENTAJAS

- Componentes modulares que facilitan la configuración de diferentes tipos de corte y mecanizado de materiales.
- Los módulos están compuestos en su sistema de posicionamiento lineal por tornillos de bolas re circulantes, lo que hace del sistema, un sistema de bajísima fricción, alargando la vida útil del sistema modular y obteniendo mejores acabados de mecanizado.
- Estructuralmente fabricado en aluminio, material rígido que proporciona cero oxidación y buena rigidez estructural para las posibles vibraciones durante los mecanizados.
- Tiene un campo de movilidad de 80 cm gracias a los módulos motrices largos con los que cuenta el sistema modular. E igualmente poseen un módulo pequeño de 40 cm para aplicaciones como el torneado y afines en los cuales las profundidades son considerablemente pequeñas.
- Control por computador de escritorio que posea las más mínimas características técnicas. Como mínimo 500 M de RAM y Windows XP o superiores.
- Conexión a dos diferentes tipos de tomas 110 V y 220V.

CARGAS MAXIMAS SOPORTADAS POR LOS MODULOS

Para el caso de utilizarse mecanizado de materiales duros, el material límite por el cual está diseñado es el aluminio dando como resultado unas máximas cargas en los módulos como se muestra.



DATOS TÉCNICOS

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
Material	Aluminio y acero inoxidable
Dimensiones máximas	80 x 80 x80 cm
resistencia	200 [MPa]
Color	Aluminio y acero inoxidable mate
Material de mecanizado limite	Aluminio y afines.
Máximas revoluciones de los motores	3000 [RPM] (valor dado como valor límite de los motores paso a paso nema 23)
Precisión de desplazamiento	50 [micrómetros] o 2,3 % de las dimensiones reales
Cargas máximas	Mostradas en el grafico anterior
Lubricado por	Skf system24 para tornillos , silicona para rieles y demás
CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS	
Fuente de alimentación	110 V o 220 V según se posea
Motores paso a paso	Nema 23 torque 280 [onz- in]
Componentes extra	Finales de carrera 2 por cada eje coordinado

Proceso de control	Mediante cualquier computador de escritorio con puerto paralelo
Fuente de alimentación de los motores PAP	24 V de corriente regulada
Puertos de la tarjeta de potencia	3 tipos de puerto <ul style="list-style-type: none"> - El puerto paralelo 25 pines para conexión en el computador - Puerto 15 pines para accesorio de control manual (no incluido) - Puerto de 5 pines para conexión de los finales de carrera y de la parada de emergencia.

5.7. FICHA DE COSTOS Y PROVEEDORES

Cuadro 24. Costo de materiales.

COSTO DE MATERIALES					
<u>UNI</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>CANTIDAD</u>	<u>VALOR UNITARIO</u>	<u>VALOR TOTAL</u>	<u>PROVEEDOR</u>
5	Tornillos de bolas de 16 mm junto con sus respectivas roscas	3.6 [m]	224.000,00	1.120.000,00	Ricardo jose asaff
5	acoples 6 x 12 [mm]de motor paso a paso		55.000,00	220.000,00	Ricardo jose asaff
5	rodamiento 6201 bolas rígidas		3.000,00	15.000,00	rodamientos y retenes del oriente
5	rodamiento 5201 de doble contacto angular		8.000,00	40.000,00	rodamientos y retenes del oriente
1	soporte motortool		10.000,00	10.000,00	
			SUBTOTAL	1.405.000,00	
componentes eléctricos					
2	hileras de borneras		2.500,00	5.000,00	
4	conectores de cables para motores		1.800,00	7.200,00	eletrokit
1	fuelle de 24 V regulada		110.000,00	110.000,00	electrónicas DC
4	motores nema 23 bipolares paso a paso		160.000,00	640.000,00	INGEACOL
1	Tarjeta de potencia para los motores paso a paso		320.000,00	320.000,00	Ricardo jose asaff
16	cable de colores para conexiones	1[m]	350,00	5.600,00	servi-repuesto la 33
2	alambre ferroníquel para corte de icopor	1[m]	300,00	600,00	servi-repuesto la 33
	elementos eléctricos para corte de icopor		10.000,00	10.000,00	electrónica especialista
2	cable cristal para conexión de la fuente	1[m]	1.200,00	2.400,00	casa eléctrica sur
10	terminales eléctricas		300,00	3.000,00	casa eléctrica sur
1	multímetro		14.500,00	14.500,00	casa eléctrica sur
			SUBTOTAL	1.118.300,00	

Continua.

Cuadro 24. Costo de materiales. Continuación.

componentes estructurales					
12	rieles sterling de 100lb	60 [cm]	6000	72.000,00	comercializadora el especialista
2	rieles sterling de 100lb	30[cm]	2.500,00	5.000,00	comercializadora el especialista
3	perfil aluminio L 1 1/2 x 1 1/2 en crudo	1[m]	12.266,67	36.800,00	ferroaluminios
3	perfil estrella por tramo	6[m]	52.500,00	157.500,00	aluidrios
1	perfil media estrella	1[m]	5.500,00	5.500,00	disaluminios
1	ángulo L aluminio 1 ¼	1[m]	9.200,00	9.200,00	aluidrios
3	platina de aluminio 1 1/2 x 1/8	1[m]	5.600,00	16.800,00	ardisa
15	platina de aluminio 1 1/2 x 1 ½	214,50	252,00	54.054,00	todo bronces
4	platina de aluminio 1 1/2 x 1/2	61,20	235,00	14.382,00	todo bronces
5	barra circular aluminio 2 1/2 in	19,00	1.900,00	36.100,00	todo bronces
4	platina de aluminio 3/8 x 1 1/2	78,00	205,26	16.010,43	todo bronces
4	lamina de acero inox		10.275,00	41.100,00	todo bronces
5	lamina aluminio 6 mm		19.712,86	98.564,29	todo bronces
tornillería					
50	tornillo button 8x16 mm		500,00	25.000,00	torinsa
150	tuercas flange m8		310,00	46.500,00	torinsa
8	bristol inox 8x30 mm		515,00	4.120,00	torinsa
10	bristol inos 4x50 mm		310,00	3.100,00	torinsa
65	tuerca M8		82,14	5.339,29	torinsa
44	tuerca M4 inox		52,27	2.300,00	torinsa
24	bristol inox 4x12		112,92	2.710,00	torinsa
20	bristol 4x45 inox		308,00	6.160,00	torinsa
20	bristol M5 x 25 inox		300,00	6.000,00	torinsa
30	bristol M5 x 16 inox		256,59	7.697,62	torinsa
100	button inox		410,51	41.051,19	torinsa
20	bristol NG M5x30		102,62	2.052,38	torinsa
45	bristol M8 x 20		206,67	9.300,00	torinsa
10	hexagonal M12 x 30		721,00	7.210,00	torinsa
10	hexagonal M12 x 45		830,00	8.300,00	torinsa
80	remaches pop 1/4 x ½		97,50	7.800,00	torinsa
			SUBTOTAL	747.651,19	
			TOTAL DE MATERIALES	3.270.951,19	

Fuente: autores

Cuadro 25. Costos de fabricación.

COSTOS DE FABRICACION				
<u>UNI</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>VALOR UNITARIO</u>	<u>VALOR TOTAL</u>	<u>PROVEEDOR</u>
mecanizado de las piezas de aluminio				
5	roscado y perforado de los huecos soporte de la lámina porta motor	5.800,00	29.000,00	servicio industrial navas
15	maquinado de las placas porta balineras de soporte	16.000,00	240.000,00	servicio industrial navas
5	pieza de unión a las tuercas de bolas re circulante	22.000,00	110.000,00	servicio industrial navas
5	rebaje de diámetro de los dos extremos de los tornillos de bolas	8.000,00	40.000,00	servicio industrial navas
5	broca para corte de lámina M5 a M8	2.400,00	12.000,00	ferretería LEOR
1	juego de machos M5	3.600,00	3.600,00	torinsa
5	dobleces de las láminas porta motor pap	2.000,00	10.000,00	dobleces y laminas
<u>TOTAL</u>			444.600,00	

Fuente: autores.

Cuadro 26. Resumen de costos y precio total

	<u>DESCRIPCION</u>	<u>VALOR TOTAL</u>
costo de materiales	tabla anterior	3.270.951,19
costo de construcción	tabla anterior	444.600,00
transporte		100.000,00
TOTAL		3.815.551,19
DISEÑO , ENSAMBLAJE Y CONSTRUCCION	50%	1.907.775,60
ADMINISTRACION	10%	381.555,12
INPREVISTOS	3%	114.466,54
UTILIDAD	7%	267.088,58
IVA	16%	610.488,19
<u>TOTAL COSTOS</u>		7.096.925,21

Fuente: autores.

6. CONCLUSIONES

- Mediante el desarrollo de este proyecto, se cumplió el objetivo principal propuesto en la tesis, de crear un prototipo de un sistema de mecanizado modular, asequible al sector comercial local, capaz de lograr diferentes tipos de configuraciones de mecanizado: como el fresado, el torneado y el corte de hilo caliente; al poner en diferentes posiciones los diferentes módulos y accesorios que lo componen.
ar
- Con este trabajo de grado se logró afianzar y poner en práctica los conocimientos en el área de diseño y manufactura adquiridos durante todo el transcurso de la carrera, mediante el diseño y la construcción de cada una de las piezas, ensambles, componentes y demás accesorios que conforman el sistema modular de mecanizado.
- Durante el desarrollo del diseño conceptual y detallado del prototipo del sistema modular de mecanizado, se pudo resaltar la importancia de las herramientas informáticas de diseño y de análisis estructural, durante toda esta etapa, pues conforman actualmente, con el alcance tecnológico actual la herramienta principal de un diseñador mecánico; al reducir errores de ensamblaje de las piezas ; ya que estos software posibilitan la visualización de los modelos diseñados a modo de evitar los errores posibles en la etapa de construcción ; igualmente son útiles para reducir tiempos de cálculos y representación, a un grado de aproximación de tal que alcanza las condiciones de diseño aptas para la posterior etapa de construcción.

- Durante el proceso de construcción de las partes diseñadas para el sistema modular de mecanizado, se pudo comprobar que es muy posible fabricar cualquier tipo de maquinaria como esta, con recursos y proveedores de la ciudad.
- Las pruebas que se realizaron durante este proyecto, abarcaron contornos y superficies donde se demostraron las posibles trayectorias que se pueden lograr y los alcances que tiene el prototipo del sistema de mecanizado. Durante estas pruebas se hicieron mediciones y se obtuvo una exactitud de mecanizado de la máquina de 0,05 [mm]
- El sistema modular de mecanizado en sus diferentes configuraciones posee volúmenes de trabajo de :
 - Fresado: ancho 60 X largo 80 X profundidad 30 [cm].
 - Torno: piezas de diámetro de 12 [mm] cuando se utilice el mandril del taladro y en el caso de otro tipo de adaptación motriz se puede hasta diámetro de 75 [mm] y un largo de 30[cm]
 - Hilo caliente: ancho 70 X largo 70 X profundidad 50 [cm]
- Dado que el proyecto abarcó la construcción y diseño de un prototipo, este diseño es el inicio de la inclusión de este tipo de maquinaria en el mercado local, y deja la puerta abierta a próximos proyectos; en los cuales los diseños sean optimizados para cumplir a cabalidad con la necesidades de la industria a nivel de exactitud, precisión, resistencia, estabilidad y un mayor rango de materiales a mecanizar.

7. RECOMENDACIONES

- **MANTENIMIENTO:** para mejor funcionalidad y alargar la vida útil del sistema modular, se recomienda realizar algún acople de un sistema de protección de mugre, virutas y polvo, que pueda ingresar a las partes sensibles del sistema modular como: tornillos y rieles balinera.
- **OPTIMIZACION:** el sistema modular de mecanizado al igual que cualquier prototipo de máquina, puede presentar optimización en su diseño y construcción; dentro de los cuales vemos convenientes: la optimización de la estructura base de interconexión de los módulos, mediante sistemas de perfilierias completos, que comprendan tanto perfileria estructural como interconexiones estándar de los mismos y la utilización de un solo tipo de ajuste mecánico con finalidad de facilitar el ensamblaje y desensamblaje del mismo en cada una de las configuraciones.
- **MEJORAS EN EL SISTEMA DE CONTROL:** para mejoras del funcionamiento del sistema modular respecto a exactitud y rendimiento , se recomienda implementar un sistema de control mucho más completo, en el cual se tengan presente: utilizar una tarjeta de potencia que pueda controlar una cantidad mayor de señales de todo tipo , tanto entradas como salidas, a fin de poder implementar control retroalimentado, mediante encoders u otro tipo de señal de posición y velocidad. Igualmente el sistema tendría mejoras significativas al sustituir motores paso a paso por servomotores de precisión.
- **MONTAJES:** debido a que este prototipo tiene como principal característica, ser un sistema modular de mecanizado, dejamos abierta la posibilidad de otros tipos de máquinas CNC, como cortadoras plasma, laser, entre otras.

8. REFERENCIAS

1. Problemas y ejemplos de corte de metales y herramientas de corte.
N. Nefiodov. Editorial MIR
2. Manual del tecnólogo en fabricación de maquinaria .Tomo 2. 3ª edición
A. Malov.

9. BIBLIOGRAFIA

A.L. CASILLAS Maquinas. Cálculos de taller.

BLANPAIN, EDUARDO. Teoría y práctica de las herramientas de corte. Barcelona: Editorial Gustavo Gil. 1962.

FRANK W. WILSON. Fundamentos para el diseño de herramientas: ASTME. New Jersey. Editorial Prentice Hall.

GROOVER, Mikell P .Fundamentos de la manufactura moderna. Materiales, procesos y sistemas. Naucalpan de Juárez: Editorial Pearson, 1a Edicion.1997.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Normas Colombianas para la Presentación de Trabajos de Investigación. Sexta actualización. Bogotá: ICONTEC 2008. NTC 1486.

MALOV. A. Manual del tecnólogo en fabricación de maquinaria .Tomo 2, 3ª edición.

NEFIODOV. N. Problemas y ejemplos de corte de metales y herramientas de corte. Editorial MIR.

USING MACH 3 MILL .A user's guide to installation, configuration and operation.

Disponible en internet: www.r-luis.xbot.es

Disponible en internet: www.wikipedia.org/wiki/Control_num%C3%A9rico

Disponible en internet: www.skf.com

ANEXOS

ANEXO A. MARCO TEÓRICO DE REFERENCIA

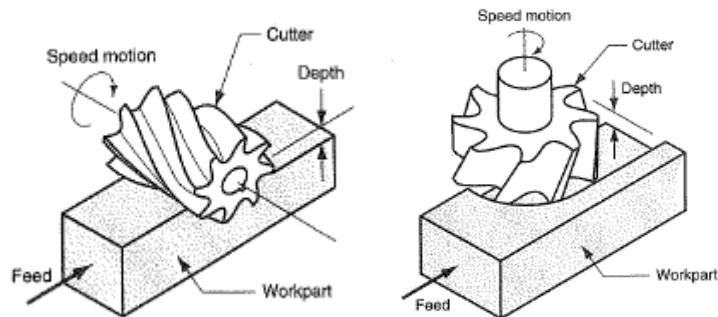
FRESADO:

El fresado consiste básicamente en el corte de material con una herramienta rotativa de varios filos, como dientes, o plaquitas de metal duro, que al girar y realizar un avance perpendicular al eje de la fresa proporcionan una superficie dada.

Existen dos tipos básicos de operación de fresado según la disposición del eje de rotación de la pieza herramienta respecto al elemento a maquinarse:

- Fresado periférico o plano
- Fresado frontal

Figura. Fresado periférico y frontal.



Fuente: fundamentos de la manufactura moderna .Groover.

FUERZAS PRESENTES EN EL FRESADO

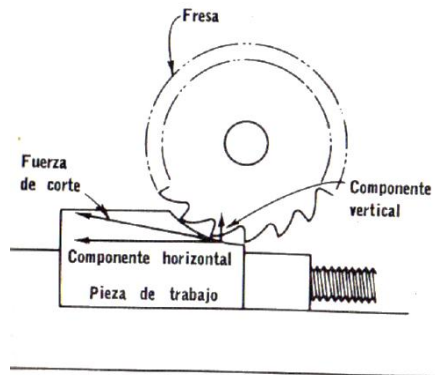
Las máquinas fresadoras al igual que otras máquinas herramientas, necesitan de subsistemas que apliquen las fuerzas necesarias para superar el esfuerzo de corte del material.

Pero para tener en cuenta a diferencia de otros métodos de remoción de material la fuerza de corte disminuye a medida que se mecaniza debido a que la viruta cada vez se hace más delgada, hasta volverse casi nula en el instante en el que el diente se sale del material haciendo de este tipo de mecanizado un proceso sin vibraciones considerables.

La fuerza primera que siente el diente de corte que es la mayor se puede calcular mediante:

- ✓ Según: teoría y práctica de las herramientas de corte. Blanpain, Eduardo

Figura. Fuerza de corte en el fresado.



Fuente: principios fundamentales para el diseño de herramientas. Frank W. Wilson, ASTME

La fuerza de corte P_t y momento torsor M necesarios para el fresado periférico está dado por la expresión:

$$P_t = 66 * t^{0.95} * S_d^{0.8} * \left(\frac{B}{D}\right)^{1.1} * d * k_{R\epsilon} * k_{v\epsilon} * k_{p\epsilon} * k_{u\epsilon}$$

$$M = P_t * \left(\frac{D}{2}\right)$$

Las constantes k_{Re} , k_{ve} , k_{pe} , k_{ue} se pueden hallar debido a diferentes factores que se presenten el mecanizado según el siguiente cuadro

Figura . Valores de los coeficientes de corrección para las distintas condiciones de corte.

Diámetro de la fresa D mm	k_D		Carga de rotura del acero trabajado R_r , kg/mm ²	k_R		Angulo de desprendimiento γ°	k_{pe}	N.º de dientes de la fresa d	k_{ue}
	k_{Dv}	k_{De}		k_{Rv}	k_{Re}				
110	0,89	1,95	≤ 60	1,20	0,85	20	0,89	2	0,33
150	0,96	1,38	60 - 80	1,00	1,00	10	1,00	4	0,66
200	1,00	1,00	80 - 100	0,69	1,15	0	1,12	6	1,00
250	1,045	0,78	100 - 120	0,52	1,30	- 10	1,26	8	1,33
300	1,09	0,64	120 - 140	0,40	1,45	- 20	1,37	9	1,66
Profundidad de pasada t mm	k_t		Duración de la fresa en minutos T	k_T		Velocidad de corte v m/min	k_{ve}	Desgaste admisible u mm	k_{ue}
	k_{tv}	k_{te}		k_{Tv}	k_{Te}				
1	1,00	1,00	100	1,22	1,32	50	1,00	0	1,00
2	0,96	2,15	200	1,09	1,11	100	0,955	0,5	1,15
3	0,94	3,35	300	1,00	1,00	150	0,930	1,0	1,25
4	0,92	4,70	400	0,95	0,93	200	0,900	1,5	1,35
5	0,91	5,90	500	0,91	0,88	300	0,875	2,0	1,45
6	0,90	7,15	600	0,87	0,84	400	0,860	3,0	1,60
Calidad del metal duro empleado	k_{nv}		maquinabilidad del acero				coeficiente k_{av}		
	$R_r \leq 90$	$R_r > 90$							
T 15 K 6	1,00	1,0	contenido en carbono del acero $C < 0,6\%$				1,00		
T 15 K 6 espec.		1,10	contenido en carbono del acero $> 0,6\%$				0,85		
T 5 K 10 espec.		0,75	acero al Cr, CrNn, CrV, CrNiMo				1,10		
Características de la superficie trabajada	k_{Bv}		acero al Mn, CrMn, CrMnMo, CrMnTi				0,90		
			aceros de herramientas al CrW				0,75		
Sin puntos duros	1,17		aceros rápidos (normales y especiales), aceros de herramientas con alto contenido de Cr				0,66		
Con puntos duros	1,00								

Fuente: teoría y práctica de las herramientas de corte. Blanpain

Y la selección de ancho de la pasada se realiza respecto al diámetro de la fresa y el número de dientes con los que cuenta la fresa y se selecciona de la tabla siguiente como se muestra a seguidamente

Tabla . Elección del diámetro (D) y el número de dientes (d) de una fresa según el ancho de la pasada.

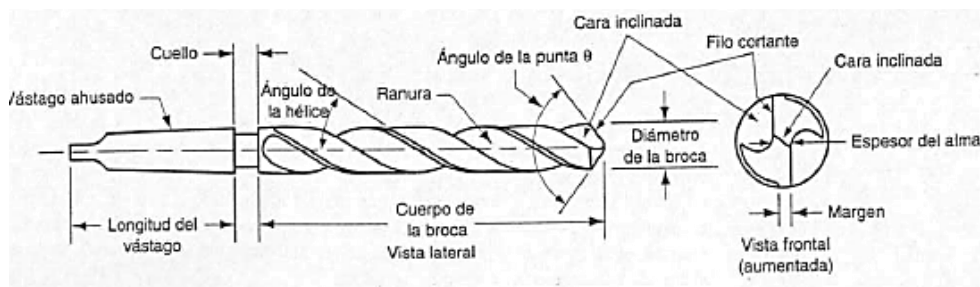
B(mm)	60/75	75/100	100/150	130/200	150/220
D(mm)	110	150	200	250	300
d	2/4	4/6	6/8	8/10	8/10

Fuente: autores y teoría y práctica de las herramientas de corte. Blanpain

TALADRADO

El taladrado como una operación de mecanizado en el cual se desea crear agujeros redondos pasantes, con una herramienta llamada broca que tiene dos bordes cortantes en su extremo; como se puede ver en la siguiente figura; presenta al igual que las otras operaciones de mecanizado ecuaciones características para el cálculo de las fuerzas involucradas para la remoción de material.

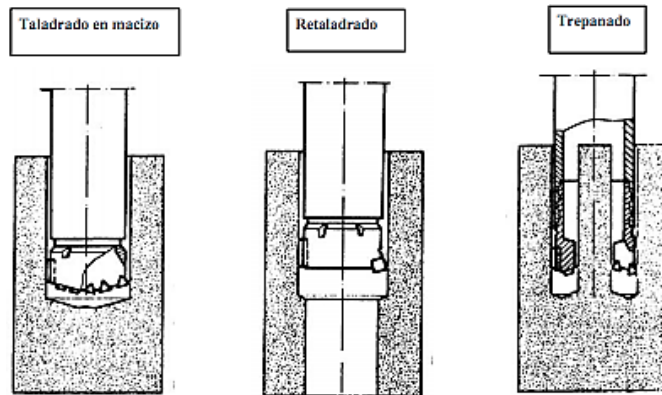
Figura . Partes principales de la herramienta de corte del taladrado.



Fuente: fundamentos de manufactura moderna. Groover

Algunas de las operaciones características de mecanizado son:

Figura . Operaciones características de mecanizado.



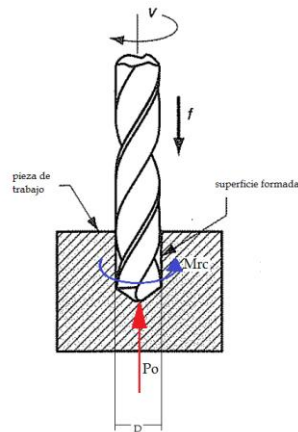
Fuente: isa.umh.es

FUERZAS PRESENTES EN EL TALADRADO

Como se podrá mostrar a continuación las fuerzas y momentos involucrados para el mecanizado son:

- **Fuerza axial a la broca:** necesaria para el avance de la perforación; esta es la fuerza más grande debido que es la fuerza que se encuentra directamente involucrada para la superación del esfuerzo a la rotura del material
- **Momento torsor:** es el momento que ocasiona el movimiento rotativo de remoción de material y es el que genera, en este tipo de mecanizado, estabilidad mediante el corte continuo de la materia prima a perforar.

Figura . Fuerzan involucradas en el taladrado.



Fuente: Autores

Diferentes autores presentan modelos matemáticos para el cálculo de estas fuerzas dentro de los cuales se tomaron para el diseño los siguientes:

- FUERZA AXIAL

Calculo de la fuerza axial P_o

$$P_o = 9.81 * C_p * D^{q_p} * S_y^{j_p} * K_p$$

$$K_p = K_{m_p} = \left(\frac{S_y}{75}\right)^{n_p}$$

Y el momento torsor se calcula mediante la ecuación siguiente

- MOMENTO TORSOR

Calculo del momento torsor M_{rc} :

$$M_{rc} = 9,81 * C_m * D^{z_m} * S_y^{j_m} * K_{m_m}$$

$$K_{m_m} = \left(\frac{S_y}{75}\right)^{n_p}$$

- ✓ **Según: Problemas y ejemplos de corte de metales y herramientas de corte. N. Nefiodov.**

- FUERZA AXIAL

Calculo de la fuerza axial P_o

$$P_o = 9.81 * C_p * D^{a_p} * S^{b_p} * K_p$$

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{S_y}{75}\right)^{n_p}$$

Y el momento torsor se calcula mediante la ecuación siguiente

- MOMENTO TORSOR

Calculo del momento torsor M_{rc} :

$$M_{rc} = 9,81 * C_m * D^{Z_m} * S^{y_m} * K_{m_m}$$

$$K_{m_m} = \left(\frac{S_y}{75}\right)^{n_p}$$

- ✓ **Según: teoría y práctica de las herramientas de corte. BLANPAIN, Eduardo**

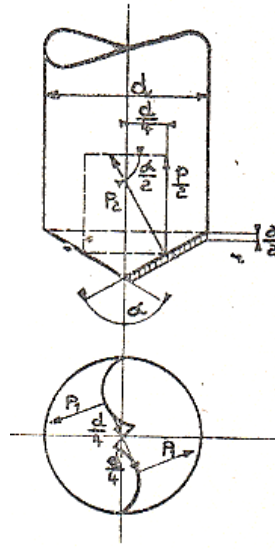
Dado el grafico que se muestra el estado de esfuerzos y dimensiones características para el cálculo de las dos principales fuerzas en el taladrado según el autor:

- Fuerza axial
- Momento

Se calculan de la siguiente manera:

Primeramente se debe calcular según las dimensiones mostradas la sección de la viruta

Figura . Modelo de fuerzas en el taladrado.



Fuente: Teoría y práctica de las herramientas de corte, BLANPAIN, EDUARDO

En una vuelta completa de la broca cada uno de los filos corta una viruta de sección

$$S = \frac{d}{2} * \frac{a}{2} = \frac{d * a}{4} [mm^2]$$

Sabiéndose que la fuerza específica de corte de un material es el valor necesarios para el cálculo de la fuerza necesaria para el corte; a partir de ella podemos conocer las fuerzas involucradas en el arranque de viruta en el taladrado.

La fuerza de corte (P) está representada por la expresión:

Componentes de corte

$$P_1 = P_2 = S * K_s = \frac{d * a}{4} * K_s$$

Pasando las fuerzas al eje de acción de la fuerza

$$P = \frac{d * a}{2} * K_s * \sin \frac{\alpha}{2}$$

Y el momento está representado por la formula respecto al grafico mostrado

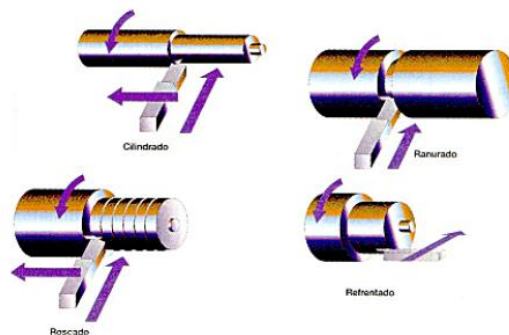
$$M = \frac{a * d^2}{8} * K_s [Kgf - mm]$$

Siendo el K_s la fuerza especifica de corte del material.

TORNEADO

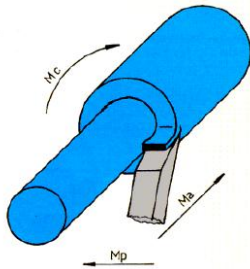
El torneado es la transformación de un sólido , mediante una máquina herramienta llamada en torno, mediante la rotación de la materia prima alrededor de un eje giratorio junto con el arranque de material periféricamente fin de obtener una geometría desea (basadas en figuras de sólidos en revolución.

Figura . Principales operaciones de torneado.



Fuente: Wikipedia

Movimientos fundamentales en el torneado



Para que se produzca el corte es necesario el movimiento relativo de la pieza a mecanizar y la herramienta que ha de producir el corte. Éste se produce por la interferencia de la pieza y la herramienta.

Podemos distinguir tres movimientos principales:

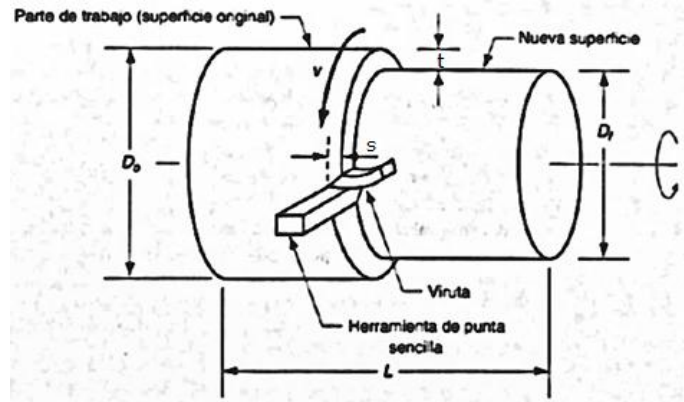
El movimiento de corte (M_c) que es el desplazamiento que experimenta la herramienta respecto a un punto de la periferia de la pieza en la dirección en que se produce el corte.

El movimiento de avance (M_a) es, generalmente, perpendicular al movimiento y es necesario porque de no existir, al terminar, bien con una vuelta bien con la longitud de la pieza, la interferencia entre pieza y herramienta terminaría y por lo tanto finalizaría el corte. Por lo tanto el movimiento de avance es el desplazamiento relativo que realiza la pieza respecto a la herramienta para desplazar el movimiento de corte paralelamente a sí mismo.

El Movimiento de penetración (M_p) que nos define la profundidad del corte y que se realiza al comienzo de cada pasada que se realice en el mecanizado. Este movimiento no es continuo, como sucede con los dos anteriores, sino que se realiza de forma escalonada y sin que la pieza esté en contacto con la herramienta.

Dimensiones características en el torneado

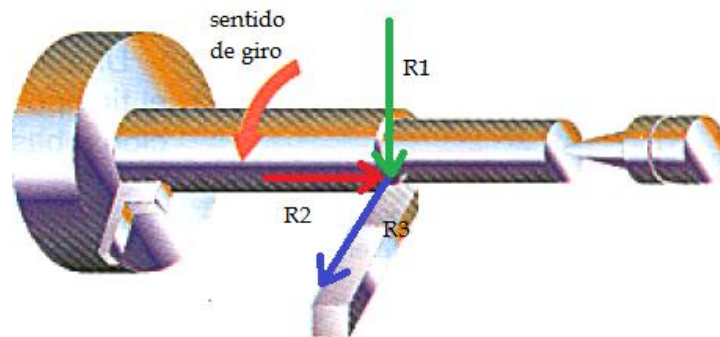
Figura . Dimensiones características del torneado.



Fuente: fundamentos de la manufactura moderna, Mikell P.Groover

FUERZAS PRESENTES EN EL TORNEADO

Figura . Fuerzas presentes en el torneado.



Fuente: Autores

- COMPONENTE TANGENCIAL A LA PIEZA(R1): dirigida en el sentido de corte que es la reacción de corte esta fuerza absorbe la mayor parte de la potencia

- COMPONENTE RESISTENCIA AL AVANCE (R2): es tangente también a la pieza pero dirigida en el sentido de avance del carro. No absorbe más que una pequeña parte de la potencia ya que la velocidad de desplazamiento de la cuchilla es relativamente pequeña
- COMPONENTE RESISTENCIA DE PENETRACION(R3): es una componente según el eje de la cuchilla , perpendicular al plano determinado por las otras dos, llamada reacción de penetración, no absorbe ninguna potencia por ser de naturaleza estática , tendiendo únicamente a rechazar la herramienta

Distintos autores al igual que el taladrado presentan distintos modelos matemáticos para el cálculo de las fuerzas de corte, dentro de los que se encuentran:

- ✓ **Según: Problemas y ejemplos de corte de metales y herramientas de corte. N. Nefiodov.**

- FUERZA TANGENCIAL (R1)

$$R_1 = 9.81 * C_{pz} * t^{x_{pz}} * S^{y_{pz}} * v^{n_{pz}} * K_{pz}$$

- FUERZA DE AVANCE (R2)

$$R_2 = 9.81 * C_{px} * t^{x_{px}} * S^{y_{px}} * v^{n_{px}} * K_{px}$$

- FUERZA DE PENETRACION (R3)

$$R_3 = 9.81 * C_{py} * t^{x_{py}} * S^{y_{py}} * v^{n_{py}} * K_{py}$$

$$K_{pz} = K_{mpz} * K_{\varphi pz} * K_{\lambda pz}$$

$$K_{py} = K_{m_{py}} * K_{\varphi_{py}} * K_{\lambda_{py}}$$

$$K_{px} = K_{m_{px}} * K_{\varphi_{px}} * K_{\lambda_{px}}$$

$$K_{m_{pz}} = \left(\frac{S_u}{75}\right)^{n_{p1}}$$

$$K_{m_{py}} = \left(\frac{S_u}{75}\right)^{n_{p2}}$$

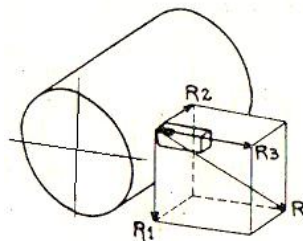
$$K_{m_{px}} = \left(\frac{S_u}{75}\right)^{n_{p2}}$$

Donde cada una de las constantes mostradas de pueden conseguir del libro texto del autor²³

✓ **Según: teoría y práctica de las herramientas de corte. BLANPAIN, Eduardo**

Respecto a la figura mostrada por el autor

Figura . Fuerzas involucradas en el torneado.



Fuente: teoría y práctica de las herramientas de corte. BLANPAIN

Siendo:

²³ Ver Referencia 1

R1= reacción de corte

R2=reacción de avance

R3=reacción de penetración

Según graficas dadas por el texto podemos calcular cada una de estas tres fuerzas mediante la intersección de cada una de estas curvas para el corte de un material específico con la sección de viruta S que se desea cortar y realizando el cálculo para las propiedades de resistencia ultima a la rotura del acero de $45 \left[\frac{Kgf}{mm^2} \right]$ y posteriormente realizando la aproximación para las fuerzas de corte del aluminio podemos obtener los valores de estas fuerzas de corte presentes en el torneado.

✓ **Según: Cálculo de las fuerzas según la influencia de la sección de la viruta según Kronenberg**

Para el cálculo de las fuerzas presentes en el torneado para este autor es solo primordial calcular la fuerza de reacción máxima durante el mecanizado y a partir de esta el cálculo de las otras es muy sencillo pues son porcentajes de la mayor.

$$R_1 = S * \kappa_s$$

$$R_2 = \frac{R_1}{5}$$

$$R_3 = \frac{R_1}{2.5}$$

La constante K_s llamada presión de corte se puede tomar de la siguiente tabla respecto al material que se desea torneear junto con la ecuación característica que se muestra:

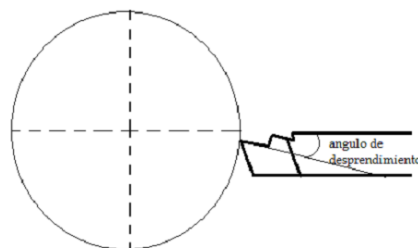
$$K_s = \frac{C_{ks}}{E_{ks}\sqrt{S}}$$

Cuadro. Valores de C_{ks} en $\left[\frac{Kgf}{mm^2}\right]$

Angulo de desprendimiento en grados	acero resistencia en Kgf/mm ²			
	50	60	70	80
5	263	301	340	380
10	254	291	329	367
15	245	280	317	354
20	235	270	304	340
25	225	258	291	325
30	215	246	278	310

C_{ks} y E_{ks} dependen del material trabajado, de la forma de cuchilla y principalmente del Angulo de desprendimiento

Figura 189. Angulo de desprendimiento en el buril.



Fuente: autores

Cuadro. Factor $\frac{S}{E_{ks}\sqrt{S}}$ para el corte de acero.

	Acero						
S	2	3	4	5	10	15	20
$\frac{S}{E_{ks}\sqrt{S}}$	1,75	2,4	3,1	3,6	6,4	8,8	11,2

Fuente: Problemas y ejemplos de corte de metales y herramientas de corte. N. Nefiodov

✓ **Según: Taylor**

Taylor nos presenta otro modelo matemático para el cálculo de la fuerza de corte principal en el torneado en función del avance y profundidad de corte de la siguiente manera:

Fórmula para el cálculo de la fuerza de corte en aceros semidulces

$$R_1 = 170 * p * a^{0.93}$$

ANEXO B. COMANDOS DE CODIGO G

LISTA COMPLETA DE COMANDOS

Códigos G	Grupo	Función
G00	1	Avance rápido
G01	1	Interpolación lineal (avance de maquinado)
G02	1	Interpolación circular horaria
G03	1	Interpolación circular anti-horaria
G04	0	Espera para la puerta de la fresadora
G09	0	Parada exacta
G10	0	Colocar el cero del programa
G11	0	Cancelar modo cero del programa
G17	2	Seleccionar plano XY
G18	2	Seleccionar plano ZX
G19	2	Seleccionar plano YZ
G20	6	Entrada de datos en pulgadas
G21	6	Entrada de datos en milímetros
G22	9	
G23	9	
G27	0	Chequear el cero de máquina o la posición de referencia (home)
G28	0	Ir a la posición de referencia de la máquina (home)
G29	0	
G30	0	Regresar al punto de referencia
G31	0	Regresar al segundo punto de referencia
G33	1	Saltar una función
G39	0	Corte para rosca

G40	7	Interpolación circular en esquinas
G41	7	Cancelar compensación en el corte
G42	7	Compensación en el corte a la izquierda
G43	8	Compensación en el corte a la derecha
G44	8	Compensación en la longitud de la herramienta
G49	8	Compensación en la longitud de la herramienta
G50	11	Cancelar compensación en la longitud de la herramienta
G51	11	Cancelar la escala
G54	14	
G55	14	Escala
G56	14	
G57	14	Selección del sistema 1 de coordenadas de trabajo
G58	14	Selección del sistema 2 de coordenadas de trabajo
G59	14	Selección del sistema 3 de coordenadas de trabajo
G60	0	Selección del sistema 4 de coordenadas de trabajo
G61	15	Selección del sistema 5 de coordenadas de trabajo
G62	15	Selección del sistema 6 de coordenadas de trabajo
G63	15	Posición en una sola dirección
G64	15	Parar modo exacto
G65	0	Sistema de control en el modo automático en las esquinas
G66	12	Modo de roscado
G67	0	Modo de corte
G68	16	Llamado de marcos
G69	16	Esperar señal
G73	9	Esperar cancelación de la señal
G74	9	

G76	0	Coordinar rotación
G80	9	Cancelar coordinar rotación
G81	9	Avance rápido en el ciclo de perforado
G82	9	Ciclo de perforado con velocidades de corte
G83	9	Roscado
G84	9	Cancela el ciclo
G85	9	Ciclo de perforado sencillo
G86	9	Taladrado con tiempo de espera en el fondo
G87	9	Profundidad del agujero en el ciclo de perforado
G88	9	Ciclo de roscado
G89	9	Ciclo para ampliar agujeros
G90	3	Ciclo para ampliar agujeros
G91	3	Regresar al ciclo de ampliar agujeros
G92	0	Ciclo de ampliar agujeros
G94	5	Ciclo de ampliar agujeros
G95	5	Coordenadas absolutas
G98	10	Coordenadas incrementales
G99	10	Desplazamiento hasta el origen del sistema
		Velocidad de avance en mm / min
		Velocidad de avance en rev / min
		Regresar al nivel inicial
		Regresar al punto R

INTERPOLACIONES LINEALES (G00 Y G01)

Interpolación es el proceso mediante el cual, conocidos los valores que toma una función en dos puntos (A,B), se determina con cierto grado de exactitud los valores de un tercer punto (C) comprendido entre A y B.

En palabras más simples por ejemplo si se conoce la ubicación del extremo (A) de una línea, y conoces la ubicación del otro extremo (B), entonces es posible conocer cada punto (C) por los cuales debes pasar para llegar desde A hasta B.

G00 es un movimiento rápido, en este caso no existe contacto entre la herramienta y la pieza de trabajo, es decir se desplaza sin realizar corte alguno.

G01 es un movimiento lineal pero cortando el material, es decir que se está graficando, para ello utiliza la velocidad programada en el registro F, el cual ya describimos anteriormente.

INTERPOLACIONES CIRCULARES O MOVIMIENTOS CIRCULARES (G02 Y G03)

Lo único que indican estos comando es que el movimiento será circular, G02 en sentido Horario, y G03 en sentido Anti-horario, y que el movimiento debe mantenerse constante a la velocidad programada en el registro F.

Hay dos formas de realizar un Arco o un círculo, una es utilizando el Radio (R) y otra es indicando el centro u origen de la curva por las coordenadas (I,J,K)

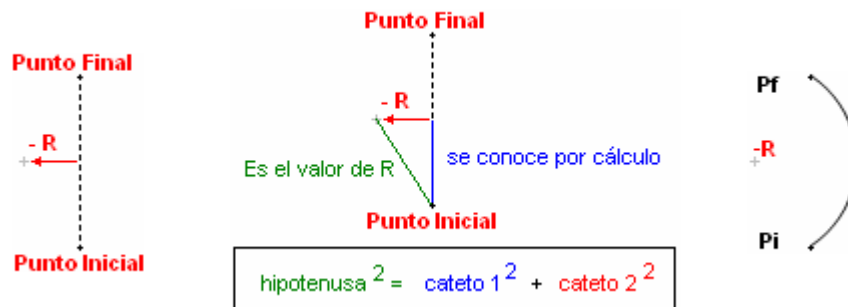
TRAZADO DE ARCOS UTILIZANDO EL RADIO (R):

Veamos la primera. Si el comando es G03 significa que el arco se trazará en sentido anti-horario, y si el centro de la curva está dado por el Radio (R),

Hay dos posibilidades $-R$ o $+R$.

Si el Radio es Negativo, el centro del Radio se encuentra del lado Izquierdo de la línea imaginaria que une los puntos Inicial y Final de la curva.

Figura 190. Indicación en pasos de la creación de arcos.



Fuente: electronica.com

Si el Radio es Positivo, el centro del Radio se encuentra del lado Derecho de la línea imaginaria que une los puntos Inicial y Final de la curva, mira la diferencia, es algo así.

TRAZADO DE ARCOS UTILIZANDO LOS COMANDO I,J Y K:

El comando K se utiliza cuando tu máquina trabaja en 3D.

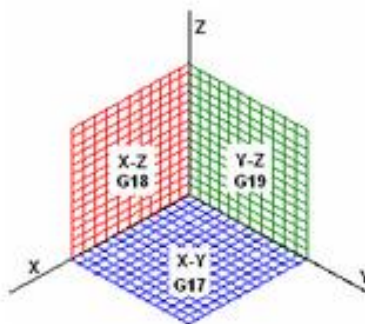
Si se conoce la ubicación del punto inicial y el punto final, lo único que se necesita para trazar una curva es la ubicación del centro del radio, cuando utilizamos anteriormente el comando **R** la ubicación del centro la obtenías por cálculo.

En este caso, la ubicación del radio está dada por las coordenadas **I,J**. El valor numérico que acompañe a la letra **I** será la ubicación respecto del eje **X**, mientras que el valor que acompañe a **J** será la ubicación respecto del eje **Y**.

SELECCIÓN DEL PLANO (G17, G18, G19)

Cuando la máquina trabaja en 3D, es obvio que se tendrán tres vistas o caras de trabajo, es decir trabajo en los tres ejes, para este caso es importante conocer de qué lado te encuentras, en la siguiente imagen se puede ver con más claridad.

Figura 191. Código de selección del plano.



Cuando trabajes en 2D, los planos X-Z (G18), Y-Z (G19) no existirán, sólo te quedarás con el plano X-Y (G17).

FUNCIONES PREPARATORIAS - COMPENSACIONES (G40, G41, G42)

La compensación, no es otra cosa que un pequeño desplazamiento de la herramienta sobre la línea de corte, es decir, puedes cortar justo por el centro de la línea (**G40**), o bien a un lado (Derecha (**G42**) o Izquierda (**G41**)).

A estos tres comandos, no les acompaña ningún valor que le indique de cuánto será la compensación, sin embargo la máquina debe tener la capacidad suficiente para reconocer el diámetro de la herramienta con la que está trabajando en el momento de aplicarla y así calcular, de cuánto será la compensación, si recuerdas, anteriormente, habíamos visto los comando del tipo T00, T01, T02, bueno, pues justamente este valor está cargado en la memoria de la máquina, es decir, sabe perfectamente el diámetro de la herramienta que está utilizando, o al menos debería saberlo.

UNIDAD DE DATOS (G70, G71)

Internamente una máquina trabaja con puntos, y la resolución de la misma estará dada en Puntos por Pulgada (G70), o bien Puntos por Milímetros (G71), de allí surgirá una equivalencia que luego será traducida en las dimensiones de las piezas que se estén trabajando.

MODOS DE DESPLAZAMIENTO (G90, G91)

De estos dos comandos, dependerá el modo en que la máquina deberá desplazarse sobre cada eje.

los comando X,Y y Z,son los valores que acompañan a cada comando son los desplazamientos sobre cada eje, ahora, la máquina debe tener siempre un punto de referencia. Por lo general, el punto de referencia es la coordenada 0,0 también conocida como punto de origen, o Punto Cero.

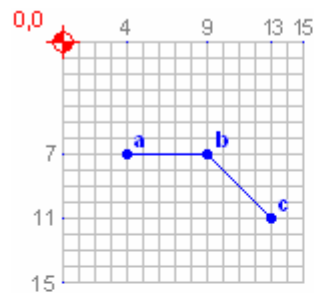
El comando **G90** indica **Modo Absoluto**, es decir que todos los valores de las coordenadas X,Y serán referidos a ese punto de origen.

El comando **G91** indica **Modo Incremental o Relativo**, o sea, utilizará el Punto Cero sólo cuando comience el trazado, de allí en más, el último punto,

se convertirá en punto de origen para el próximo desplazamiento.

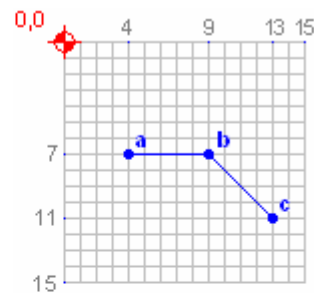
En la siguiente imagen las instrucciones de trazado serán distintas, en un caso lo haremos en **Modo Absoluto (G90)**, y en el otro lo haremos en **Modo Incremental o Relativo(G91)**.

Figura 192. Desplazamiento absoluto e incremental.



Desplazamiento Absoluto

```
N0000 G90 G00 X4 Y7
N0010 G01 X9
N0020 X13 Y11
N0030 G00 X0 Y0
```



Desplazamiento Incremental

```
N0000 G91 G00 X4 Y7
N0010 G01 X5
N0020 X4 Y4
N0030 G00 X-13 Y-11
```

Desplazamiento en Modo Absoluto:

N0000 Dice algo así: **G90** (los desplazamientos que siguen serán referidos al punto 0,0); **G00** (el desplazamiento será rápido, sin realizar cortes); se debe dirigir al punto X=4,Y=7 (a).

N0010 Dice algo así: **G01** (el movimiento es realizando corte); se debe dirigir hasta el punto X=9 (b).

N0020 Dice algo así: Continúa cortando hasta el punto X=13,Y=11 (c).

N0030 Dice algo así: **G00** (Movimiento sin corte y rápido); desplazarse hasta el punto $X=0, Y=0$ (Regresa al punto de origen **0,0**)

Desplazamiento en Modo Incremental o Relativo:

N0000 Dice algo así: **G91** (los desplazamiento que siguen serán en modo incremental); **G00** (el desplazamiento será rápido, sin realizar cortes); se debe mover 4 puntos en el Eje X, y 7 puntos en el Eje Y, (llega al punto **a**)

N0010 Dice algo así: **G01** (el movimiento es realizando corte); debe moverse 5 puntos en el Eje X, (alcanza el punto **b**)

N0020 Dice algo así: Desplazarse 4 puntos en el Eje X, y 4 puntos en el Eje Y (llega al punto **c**)

N0030 Dice algo así: **G00** (el desplazamiento será rápido, sin realizar cortes); Desplazarse 13 puntos hacia atrás en el Eje X, y 11 puntos hacia atrás en el Eje Y (Regresa al punto de origen 0,0)

**ANEXO C. VELOCIDADES Y AVANCES PARA MAQUINAS-
HERRAMIENTAS SEGÚN MAQUINAS. CALCULOS DE TALLAR A.L.
CASILLAS**

- **NUMERO DE REVOLUCIONES EN FUNCION DE VELOCIDAD Y DIAMETROS DE LAS PIEZAS, FRESAS, BROCAS Y ESCARIADORES**

Velocidad en metros por minuto	4	6	8	10	12	14	16
Diámetro mm.	NUMERO DE REVOLUCIONES POR MINUTO						
1	1273	1910	2546	3180	3820	4460	5100
2	637	955	1274	1590	1910	2230	2550
3	425	637	850	1062	1270	1490	1700
4	319	478	638	796	956	1120	1275
6	212	318	424	530	638	742	848
8	159	239	318	398	478	558	636
10	127	191	254	318	382	446	508
12	106	159	212	265	318	371	424
14	91	136	182	227	273	318	364
16	80	120	160	200	239	278	320
18	71	106	142	178	212	247	284
20	64	96	128	160	191	223	256
24	53	79	106	133	159	186	212
28	45.5	68	91	114	136	159	182
32	39.8	60	79.6	99.5	120	140	159
36	35.4	53	71	88.5	106	124	142
40	31.9	48	63.6	79	96	112	127
45	28.3	42	56.6	71	85	99.2	113
50	25.5	38	51	63.5	76.4	89.2	102
55	23.2	34	46.4	58	69.5	81	93
60	21.2	32	42.4	53	63.8	74.2	85
65	19.7	29.5	39.4	49	59	69	78
70	18.2	27	36.4	45.5	54.7	63.8	73
75	17	25.6	34	42.4	51	60	68
80	16	24	32	40	47.8	55.8	64
90	14.1	21	28.2	35.2	42.5	49.5	56.4
100	12.7	19	25.4	31.8	38.2	44.6	50.8
115	11	16.5	22	28	33.2	38.7	44.3
120	10.6	16	21.2	26.5	31.8	37.1	42.4
125	10.2	15.2	20.4	25.4	30.6	35.6	40.8
140	9.1	13.6	18.2	22.7	27.3	31.8	36.4
150	8.5	12.8	17	21.2	25.4	30	34
160	8	12	16	20	23.9	27.8	32
175	7.3	11.2	14.6	18.2	21.8	25.6	29.2
180	7.1	10.6	14.2	17.8	21.2	24.7	28.4
200	6.4	9.6	12.8	16	19.1	22.3	25.6
225	5.7	8.6	11.4	14.3	17	19.8	23
250	5.1	7.6	10.2	12.7	15.3	17.8	20.4
275	4.65	7	9.3	11.6	13.9	16.2	18.6
300	4.25	6.4	8.5	10.6	12.7	14.9	17
325	3.92	5.9	7.8	9.85	11.8	13.7	15.7
350	3.64	5.6	7.28	9.1	10.9	12.8	14.6
375	3.4	5.1	6.8	8.5	10.2	11.9	13.6
400	3.19	4.7	6.3	7.9	9.6	11.2	12.6
450	2.83	4.3	5.6	7.1	8.5	9.9	11.3
500	2.55	3.8	5.1	6.35	7.6	8.9	10.2

Velocidad en metros por minuto	18	20	22	24	30	35	40
Didmetro mm.	NUMERO DE REVOLUCIONES POR MINUTO						
1	5740	6376	7000	8280	9550	11150	12730
2	2870	3188	3500	4140	4780	5580	6370
3	1910	3120	2340	2760	3190	3720	4250
4	1435	1594	1750	2070	2390	2790	3190
6	955	1060	1166	1378	1590	1856	2120
8	718	797	875	1034	1193	1391	1590
10	574	638	698	825	952	1114	1270
12	477	530	583	689	795	928	1060
14	410	455	500	591	682	797	910
16	358	398	440	520	600	700	800
18	318	354	390	461	532	621	710
20	287	319	352	416	480	558	640
24	238	265	291	344	397	464	530
28	205	227	250	296	342	398	455
32	180	200	219	259	299	348	398
36	159	177	195	235	277	310	354
40	144	159	175	207	248	278	318
45	128	142	155	183	211	247	283
50	115	127	140	166	192	223	255
55	104	116	127	150	183	203	232
60	95,5	106	117	138	159	186	212
65	89	98,5	108	128	147	171	196
70	82	91	100	118	136	169,5	182
75	76,4	84,8	92,6	112	128	148	172
80	71,8	80	88	104	120	140	160
90	63,7	71	77,4	91	105	123,4	141
100	57,4	64	70	83	96	111	127
115	50	55,6	61	72	83,5	96,5	110
120	47,7	53	58,4	69	80	93	106
125	46	51	56	66	76	89	102
140	41	45,5	50	60	69	79,6	91
150	38,2	42,4	46,8	56	64	74	86
160	35,8	40	44	52	60	70	80
175	32,8	36,4	40,4	48	55,2	64	72
180	31,8	35,4	39	46	53	62	71
200	29,7	32	35,2	41,6	48	56	64
225	25,5	28,3	31,6	37,3	43	50	57
250	22,9	25,5	28	33	38	44,6	51
275	20,8	23	25,6	30	35	40,7	47
300	19,1	21,2	23,4	28	32	39	43
325	17,6	19,6	21,6	25,5	29,4	34	39
350	16,4	18,2	20,2	24	27,6	32	36
375	15,3	17	18,7	22	25,4	30	34
400	14,4	16	17,3	20,5	23,7	28	32
450	12,8	14,2	15,6	18,4	21,2	25	28
500	11,5	12,7	14	16,6	19,1	22	26

- VELOCIDADES DE CORTE EN METROS MOS MINUTO PARA TRABAJAR DIVERSOS MATERIALES EN LAS MAQUINAS HERRAMIENTAS- VALORES MEDIOS UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE ACERO RAPIDO 18-20% W

MATERIAL A TRABAJAR	CLASE DE TRABAJO							
	Tornear	Taladrar	Fresar	Acepillar **	Roscar a Torno *	Escariar	Brochar	Fresado de Engranajes
Acero 40-50..... Kg/mm ²	D 28 A 40	24	D 20 A 30	18	16	14	10	D 18 A 26
Acero 50-60..... Kg/mm ²	D 22 A 30	20	D 18 A 24	16	12	10	9	D 16 A 22
Acero 60-85..... Kg/mm ²	D 18 A 24	16	D 16 A 22	14	9	8	8	D 14 A 20
Acero 85-110..... Kg/mm ²	D 16 A 18	14	D 14 A 16	12	7	6	7	D 12 A 14
Acero 110-140..... Kg/mm ²	D 10 A 12	8	D 8 A 10	6	5	4	—	D 6 A 8
Acero 140-180..... Kg/mm ²	D 8 A 10	6	D 6 A 8	4	3	2	—	D 5 A 7
Acero Moldeado 38. Kg/mm ²	D 20 A 24	18	D 16 A 20	14	12	10	10	D 15 A 18
Acero Moldeado 45. Kg/mm ²	D 18 A 20	16	D 14 A 16	12	10	8	9	D 13 A 15
Acero Moldeado 52. Kg/mm ²	D 14 A 16	12	D 12 A 14	10	8	7	8	D 11 A 13
Acero al Manganeso 12 %...	D 3 A 4	3	—	2	—	—	—	—
Acero INOXIDABLE.....	D 8 A 14	6	D 6 A 10	6	5	4	3	D 5 A 9
METAL MONEL.....	D 15 A 18	12	D 12 A 14	10	8	7	4	—

D = Desbaste. A = Afinado. * Con cuchilla o macho. ** En limadoras y acepilladoras.

MATERIAL A TRABAJAR	CLASE DE TRABAJO							
	Tornear	Taladrar	Fresar	Acepillar **	Roscar a Torno *	Escariar	Brochar	Fresado de Engranajes
Aluminio Magnesio. Latón dulce.....	D 140 A 170	125	D 114 A 160	100	—	70	Máximo de la máquina	—
Aleaciones de Alu- minio. Latón duro..	D 90 A 120	80	D 70 A 98	60	—	44	Máximo de la máquina	—
Cupro-Aluminio....	D 20 A 24	18	D 16 A 22	14	12	10	4	—
Cobre para Colectores.....	D 36 A 46	32	D 28 A 40	26	—	—	—	—
Carbón de Electrodos.....	D 10 A 12	9	—	6	—	—	—	—
Materiales Plásticos.	D 30 A 50	26	D 24 A 30	26	16	20	—	D 22 A 30
Bronce Corriente...	D 42 A 56	38	D 34 A 46	32	26	20	10	D 30 A 40
Bronce Fosforoso...	D 18 A 30	16	D 14 A 20	12	10	10	8	D 12 A 18
Hierro fundido 15 Kg/mm ²	D 22 A 26	20	D 18 A 24	16	12	12	4	D 16 A 22
Hierro fundido 18 Kg/mm ²	D 20 A 24	18	D 16 A 22	15	12	10	4	D 14 A 20
Hierro fundido 22 Kg/mm ²	D 16 A 20	14	D 14 A 20	12	9	9	4	D 12 A 18
Hierro fundido 26 Kg/mm ²	D 12 A 14	11	D 10 A 14	9	7	8	3	D 8 A 12

D = Desbaste. A = Afinado. * Con cuchilla o macho. ** En limadoras y acepilladoras.

- **CALCULOS PARA TRABAJOS DE TORNEADO**
AVANCES NORMALIZADOS PARA TORNEAR CON CUCHILLAS DE
ACERO RAPIDO 18-20%W

GAMA N.º	AVANCE	APLICACION
<p style="text-align: center;">I</p> <p>Desbaste a gran pasada</p>	1 - 1,5 mm.	Piezas con grandes aumentos de material procedentes de Forjado o Fundición.
<p style="text-align: center;">II</p> <p>Desbaste con pasada corriente</p>	0,6 - 0,8 mm.	Piezas con aumentos prudentiales de material.
<p style="text-align: center;">III</p> <p>PASADA UNICA</p>	0,4 - 0,6 mm.	Piezas que después del torneado son terminadas en la Rectificadora. Superficies sin afinado.
<p style="text-align: center;">IV</p> <p>DESBASTE con pasada ligera</p>	0,25 - 0,4 mm.	Piezas pequeñas.
<p style="text-align: center;">V</p> <p>AFINADO</p>	0,05 - 0,1 mm. 0,15 - 0,2 mm.	Afinados a punta de cuchilla.
TRONZAR	0,02 - 0,1 mm.	Con velocidad de 75 % de Torneado.

- **CALCULOS PARA TRABAJOS DE FRESADO .VOLUMEN DE VIRUTA QUE SE PUEDE CORTAR EN CM³ POR KW MINUTO**

MATERIAL A FRESAR	C = Volumen cortado en cm ³ /kW minuto
Acero de 40-60 kg/mm ²	14
Acero de 60-85 kg/mm ²	12
Acero de 85-110 kg/mm ²	10
Acero de 110-180 kg/mm ²	8
Fundición blanda 180 Brinell	25
Fundición Semidura 200 Brinell	20
Latón	40
Bronce corriente.	30
Bronce Fosforoso	20
Aluminio	65
Aleaciones de Aluminio.	50

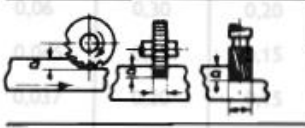
S = Avance por minuto de la mesa (N Z H). Z = Número de dientes de la fresa.
 l = Ancho de la fresa. a = Profundidad del corte. H = Avance por diente.

Atención a la rigidez de los sistemas de fijación de las piezas a la máquina, con el fin de asegurar la máxima solidez de la sujeción.

AVANCES PARA TRABAJAR DIVERSOS MATERIALES EN LAS MAQUINAS FRESADORAS CON HERRAMIENTA DE ACERO RAPIDO 18-20% W

TIPO DE FRESAS						
	Avance en milímetros por diente de la Fresa					
Aceros	40- 50 kg/mm ²	0,075	0,30	0,20	0,10	0,20
	50- 60 kg/mm ²	0,06	0,30	0,20	0,09	0,20
	60- 85 kg/mm ²	0,045	0,25	0,15	0,08	0,15
	85-110 kg/mm ²	0,037	0,20	0,15	0,07	0,12
	110-140 kg/mm ²	0,026	0,15	0,10	0,06	0,10
	140-180 kg/mm ²	0,02	0,10	0,07	0,05	0,10
Acero moldeado	38 kg/mm ²	0,075	0,20	0,20	0,09	0,10
	45 kg/mm ²	0,06	0,20	0,15	0,08	0,10
	52 kg/mm ²	0,05	0,20	0,15	0,08	0,10
Acero inoxidable	0,037	0,15	0,10	0,05	0,10	
Metal monel	0,045	0,30	0,15	0,06	0,10	
Aluminio, Magnesio, Latón dulce	0,12	0,20	0,20	0,10	0,15	
Aleaciones de Aluminio, Latón duro	0,09	0,20	0,15	0,10	0,10	
Cupro-Aluminio	0,06	0,15	0,15	0,10	0,10	
Cobre para colectores	0,09	0,20	0,20	0,10	0,10	
Materiales plásticos	0,07	0,20	0,20	0,10	0,10	
Bronce corriente	0,075	0,30	0,15	0,10	0,15	
Bronce fosforoso	0,052	0,25	0,10	0,08	0,12	

NORMALIZACION DE LAS PROFUNDIDADES DE FRESADO

	Profundidades de fresado «a» y ancho de corte		
	Fresado en terminación y con pasada única	Fresado en desbaste	Fresado en Afinado
1. Fresas Cilíndricas.	Todo el ancho de la fresa, a = 3 mm.	Todo el ancho de la fresa, a = 5-8 mm.	Todo el ancho de la fresa, a = 1 mm.
2. Fresas Frontales.	Ancho = al diámetro de la fresa, a = 3 mm.	La mitad del diámetro de la fresa, a = 5 mm.	Igual al diámetro de la fresa, a = 1 mm.
3. Fresas Frontales de mango.	Igual al diámetro de la fresa, a = 2 mm.	La mitad del diámetro de la fresa, a = 4 mm.	Igual al diámetro de la fresa, a = 0,5 mm.
4. Fresas de disco.	a = Ancho de la fresa como máximo	a = a la mitad del ancho de la fresa	a = 5 % del ancho de la fresa
5. Fresas de forma.	a = Todo el perfil en pequeñas formas	a = 1.ª Pasada 45 % altura, 2.ª 45 %	a = 10 % de la altura de su forma

Los avances indicados en las tablas, son para fresado en terminación con PASADA ÚNICA

Para desbaste, aumentar el 75 %. Para afinado, reducir el 25 %.

Referente al trabajo en desbaste con Fresas Cilíndricas y sus diversos avances por diente en función de la máquina Fresadora a emplear, véase tabla aparte.

VALORES MEDIOS PARA DESBASTAR EN LA MAQUINA FRESADORA UTILIZANDO FRESAS CILÍNDRICAS DE PLANEAR DE ACERO RÁPIDO 18-20%W

MATERIAL		AVANCE EN MM. POR DIENTE DE LA FRESA		
		Máquinas corrientes	Máquinas fuertes	Máquinas muy fuertes
Aceros	40 - 50 kg/mm ²	0,10	0,20	0,25
	50 - 60 kg/mm ²	0,08	0,17	0,20
	60 - 85 kg/mm ²	0,06	0,15	0,17
	85 - 110 kg/mm ² *.....	0,05	0,10	0,12
	110 - 140 kg/mm ² *.....	0,035	0,075	0,10
	140 - 180 kg/mm ² *.....	0,025	0,05	0,075
Acero molibdenado	38 kg/mm ²	0,10	0,20	0,25
	45 kg/mm ²	0,08	0,17	0,20
	52 kg/mm ²	0,07	0,15	0,17
Acero INOXIDABLE.....		0,05	0,12	0,15
Metal MONEL.....		0,06	0,15	0,17
Aluminio, Latón dulce, Magnesio...		0,17	0,40	0,45
Aleaciones Aluminio, Latón duro...		0,12	0,25	0,30
Cupro-Aluminio.....		0,08	0,17	0,20
Cobre para colectores.....		0,09	0,20	0,25
Materiales plásticos.....		0,09	0,20	0,25
Bronce corriente.....		0,10	0,25	0,30
Bronce Fosforoso.....		0,07	0,15	0,17
Hierro fundido	15 kg/mm ²	0,08	0,30	0,35
	18 kg/mm ²	0,08	0,25	0,30
	22 kg/mm ²	0,07	0,20	0,25
	26 kg/mm ²	0,07	0,17	0,20

VELOCIDADES DE CORTE EN METROS POR MINUTO Y AVANCES PARA TRABAJAR DIVERSOS MATERIALES EN LAS MAQUINAS HERRAMIENTAS UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE MATERIAL DURO

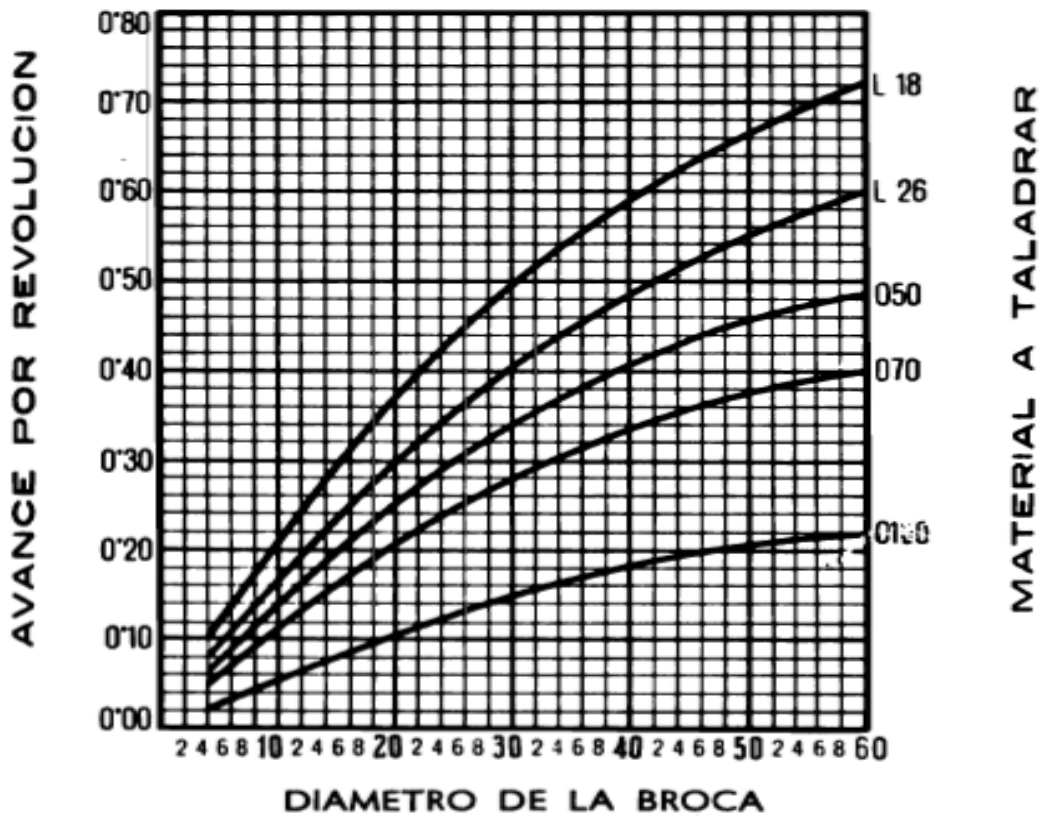
MATERIAL A TRABAJAR	FRESAS NORMALES			Fresado con coronas de cuchillas		
	Marca Widia	V = metros minuto	H = avance por diente	Marca Widia	V = metros minuto	H = avance por diente
Acero hasta 75 kg/mm ²	s 1	100—120	0,02—0,0	s 1	150—250	0,02—0,05
	s 3	40—50	0,05—0,5	s 3	40—60	0,05—0,15
Acero 75 - 110 kg/mm ²	s 1	80—100	0,02—0,03	s 1	120—150	0,02—0,05
	s 3	25—35	0,05—0,1	s 3	40—50	0,05—0,15
Acero 110 - 125 kg/mm ²	s 1	60—80	0,02—0,03	s 1	80—120	0,02—0,05
	s 3	20—30	0,02—0,05	s 3	30—35	0,05—0,08
Acero de más 125 kg/mm ²	s 1	30—50	0,01—0,03	s 1	50—70	0,02—0,03
	s 3	15—20	0,02—0,05	s 3	20—25	0,02—0,05
Acero Fundido hasta 50 kg/mm ²	s 1	100—120	0,02—0,05	s 1	150—250	0,02—0,05
	s 3	40—50	0,05—0,1	s 3	40—60	0,05—0,15
Acero Fundido más de 70 kg/mm ²	s 1	80—100	0,02—0,03	s 1	120—150	0,02—0,05
	s 3	25—35	0,05—0,1	s 3	40—50	0,05—0,15
Fundición Gris hasta 200 Brinell	G 1	50—60	0,1 —0,15	G 1	120—180	0,1 —0,2
Fundición Gris más de 200 Brinell	H 1	30—40	0,05—0,1	H 1	35—45	0,05—0,1
Fundición roja, Bronce, Latón	G 1	80—100	0,05—0,1	G 1	100—250	0,1 —0,15
Metales ligeros	G 1	100—800	0,1 —0,15	G 1	800—1.500	0,1 —0,25
Aleaciones de aluminio	G 1	50—70	0,05—0,15	G 1	200—500	0,1 —0,2
Materiales plásticos	G 1	80—100	0,05—0,1	G 1	100—200	0,1 —0,2
Acero INOXIDABLE	s 1	60—80	0,01—0,03	s 1	80—100	0,02—0,03
	s 3	20—30	0,02—0,05	s 3	30—35	0,02—0,05
METAL MONEL	s 1	70—90	0,01—0,03	s 1	90—110	0,02—0,03
	s 3	30—40	0,02—0,03	s 2	40—50	0,02—0,05

- CÁLCULOS PARA TRABAJO DE TALADRADO Y ESCARIADO UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE ACERO RÁPIDO 18-20%W

AVANCE EN MM POR REVOLUCIÓN PARA OPERACIONES DE ESCARIADO A MAQUINA

AVANCE EN mm. POR REVOLUCION PARA OPERACIONES DE ESCARIADO A MAQUINA										
MATERIAL A TRABAJAR	DIAMETRO DEL ESCARIADOR EN mm.									
	5 a 6	6,1-8	8,1-10	10,1-15	15,1-20	20,1-25	25,1-30	30,1-40	40,1-60	60,1-75
Latón, Aluminio, Metal Blanco, Fundición hasta 18 kg/mm ²	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20
Cobre, Bronce, Fundición hasta 26 kg/mm ²	0,30	0,35	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10
Acero hasta 50 kg/mm ²	0,22	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70
Acero hasta 70 kg/mm ²	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65
Acero hasta 100 kg/mm ²	0,18	0,22	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60

SOBREMETAL PARA AGUJEROS ESCARIADOS A MAQUINA										
Sobremetal que dejará la broca	0,15	0,18	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,50	0,60	0,70
Sobremetal para escariado 1.º	—	—	—	—	—	0,20	0,20	0,30	0,40	0,50
Sobremetal para afinado	0,15	0,18	0,20	0,25	0,30	0,15	0,20	0,20	0,20	0,20



- L 18 = Latón - Aluminio - Metal blanco y Fundición hasta 18 kgs/mm²
- L 26 = Cobre - Bronce - Fundición hasta 26 kgs/mm²
- 050 = Acero hasta 50 kgs/mm²
- 070 = » » 70 »
- 0100 = » » 100 »

VELOCIDADES Y CORTE Y AVANCES PARA TRABAJAR DIVERSOS MATERIALES UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE METAL DURO

MATERIAL A TRABAJAR	TALADRADO			ESCARIADO		
	Marca Widia	V = metros minuto	S = avance mm. por revolución	Marca Widia	V = metros minuto	S = avance mm. por revolución
Acero hasta 75 kg/mm ²	S 3	40 - 50	0,015 × Ø de la Broca	G 1	15 - 25	0,05 - 0,1
Acero 75 - 110 kg/mm ²	S 3	25 - 35	0,01 × Ø	G 1	10 - 15	0,02 - 0,1
Acero 110 - 140 kg/mm ²	S 3	20 - 25	0,008 × Ø	G 1	15	0,02 - 0,1
Acero de más 140 kg/mm ²	S 3	15 - 20	0,005 × Ø	G 1	15	0,02 - 0,1
Acero Fundido hasta 50 kg/mm ²	S 3	40 - 50	0,01 × Ø	G 1	15 - 25	0,05 - 0,1
Acero Fundido más de 70 kg/mm ²	S 3	25 - 35	0,01 × Ø	G 1	10 - 15	0,02 - 0,1
Fundición Gris hasta 200 Brinell	G 1	60 - 75	0,02 × Ø	G 1	30	0,1 - 0,4
Fundición Gris más de 200 Brinell	H 1	30 - 40	0,02 × Ø	H 1	15	0,1 - 0,2
Fundición roja, Bronce, Latón	G 1	80 - 100	0,02 × Ø	G 1	80	0,1 - 0,3
Metales ligeros	G 1	100 - 200	0,03 × Ø	G 1	40 - 60	0,1 - 0,3
Aleaciones de aluminio	G 1	60 - 80	0,02 × Ø	G 1	30 - 40	0,1 - 0,2
Materiales plásticos	G 1	80 - 100	0,015 × Ø	G 1	30 - 50	0,1
Acero INOXIDABLE	S 1	30 - 40	0,01 × Ø	S 1	15	0,02 - 0,1
METAL MONEL	S 1	50 - 80	0,015 × Ø	S 1	20	0,02 - 0,1

ANEXO D. DATA SHEET MOTORES PASO A PASO NEMA 23

Stepper Motors and Encoders



Overview

National Instruments offers a complete stepper motion control solution – including stepper motors, drives, controllers, and software – that is easy to set up, configure, and program. Stepper motors available from NI offer high torque, precision, and easy connectivity to stepper motor drives. Due to their ease of use, simplified control needs, and freedom from expensive feedback requirements, stepper motors are an excellent solution for applications such as machine control, manufacturing test, semiconductor positioning, biomedical machines, and lab automation.

[Back to Top](#)

Application and Technology

Stepper Motors

- NEMA 17, 23, and 34 frame sizes
- Up to 1710 oz-in. (12.1 N · m) holding torque
- 3000 rpm max speed
- 1.8 deg step angle
- Matched with P7000 drives for high performance

Encoders

- 1000 counts/revolution resolution
- NEMA 23 and 34 motor compatibility
- Low profile 1 in. (25.4 mm) height design and easy mounting
- Industrial construction

Hardware

Stepper motors provide very precise, extremely cost-effective motion control. The 2-phase motors inherently move in small, precise, 1.8 degree increments at 200 steps/revolution and are brushless and maintenance-free. Stepping action is simple to control and does not require complicated, expensive feedback devices. National Instruments also offers

encoders matched to the motors for applications where position verification is required. Stepper motors are available from NI in three different National Electrical Manufacturers Association (NEMA) frame sizes and with either a single or a dual shaft. The motors provide optimum performance and easy connectivity when matched with the P7000 series stepper drives available from NI.

[Back to Top](#)

Support and Services

System Assurance Programs

NI system assurance programs are designed to make it even easier for you to own an NI system. These programs include configuration and deployment services for your NI PXI, CompactRIO, or Compact FieldPoint system. The NI Basic System Assurance Program provides a simple integration test and ensures that your system is delivered completely assembled in one box. When you configure your system with the NI Standard System Assurance Program, you can select from available NI system driver sets and application development environments to create customized, reorderable software configurations. Your system arrives fully assembled and tested in one box with your software preinstalled. When you order your system with the standard program, you also receive system-specific documentation including a bill of materials, an integration test report, a recommended maintenance plan, and frequently asked question documents. Finally, the standard program reduces the total cost of owning an NI system by providing three years of warranty coverage and calibration service. Use the online product advisors at ni.com/advisor to find a system assurance program to meet your needs.

Calibration

NI measurement hardware is calibrated to ensure measurement accuracy and verify that the device meets its published specifications. NI offers a number of calibration services to help maintain the ongoing accuracy of your measurement hardware. These services allow you to be completely confident in your measurements, and help you maintain compliance to standards like ISO 9001, ANSI/NCBL Z540-1 and ISO/IEC 17025. To learn more about NI calibration services or to locate a qualified service center near you, contact your local sales office or visit ni.com/calibration.

Technical Support

Get answers to your technical questions using the following National Instruments resources.

- **Support** - Visit ni.com/support to access the NI KnowledgeBase, example programs, and tutorials or to contact our applications engineers who are located in NI sales offices around the world and speak the local language.
- **Discussion Forums** - Visit forums.ni.com for a diverse set of discussion boards on topics you care about.
- **Online Community** - Visit community.ni.com to find, contribute, or collaborate on customer-contributed technical content with users like you.

Repair

While you may never need your hardware repaired, NI understands that unexpected events may lead to necessary repairs. NI offers repair services performed by highly trained technicians who quickly return your device with the guarantee that it will perform to factory specifications. For more information, visit ni.com/repair.

Training and Certifications

The NI training and certification program delivers the fastest, most certain route to increased proficiency and productivity using NI software and hardware. Training builds the skills to more efficiently develop robust, maintainable applications, while certification validates your knowledge and ability.

- **Classroom training in offices worldwide** - the most comprehensive hands-on training taught by engineers.
- **On-site training at your facility** - an excellent option to train multiple employees at the same time.
- **Online instructor-led training** - lower-cost, remote training if classroom or on-site courses are not possible.
- **Course kits** - lowest-cost, self-paced training that you can use as reference guides.
- **Training memberships and training credits** - to buy now and schedule training later.

Visit ni.com/training for more information.

Extended Warranty

NI offers options for extending the standard product warranty to meet the life-cycle requirements of your project. In addition, because NI understands that your requirements may change, the extended warranty is flexible in length and easily renewed. For more information, visit ni.com/warranty.

OEM

NI offers design-in consulting and product integration assistance if you need NI products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit ni.com/oem.

NEMA 23 Motor

Electrical

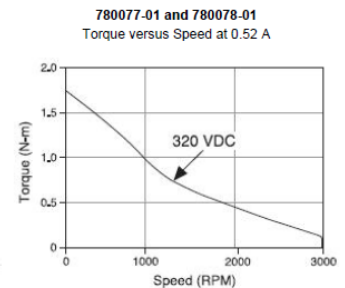
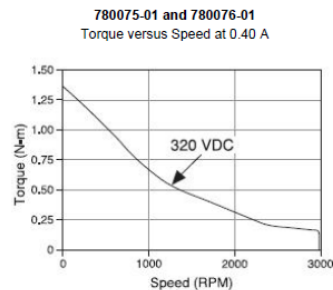
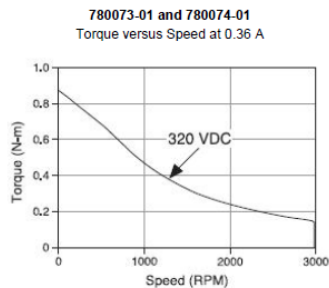
Step angle	1.8 deg
Steps per revolution	200
Angular accuracy	±3%
Phases	2

Industry Standards

Industrial standards	CE, cUR, UR
RoHS Compliance	Yes
Physical	
Operating temperature	-20 to 40 °C
Rated ambient temperature	40 °C
Shaft load (20,000 hours at 1,500 rpm)	
Radial	20 lb (9.1 kg) at shaft center
Axial push	6 lb (2.7 kg)
Axial pull	50 lb (22.7 kg)
Recommended heat sink size	10 x 10 x 1/4 in. aluminum plate
Recommended encoder	780251-01

NI Part Number	Manufacturer Part Number	Dual Shaft	Drive	Amps/Phase	Holding Torque oz-in. (N . m)	Rotor Inertia oz-in.-s ² (kg-m ² x10 ⁻³)	Phase Inductance mH	Phase Resistance Ω ±10%	Detent Torque oz-in. (N . m)	Thermal Resistance °C/watt	Max Speed rpm	
780073-01	T21NRLC-LNN-NS-00	no	P70360	0.40	180 (1.27)	0.0034 (0.0248)	209	42.9	2.97 (0.021)	4.64	3000	
780074-01	T21NRLC-LDN-NS-00	yes			0.46	280 (1.98)	0.0056 (0.0408)	209	41.4	5.95 (0.042)		3.69
780075-01	T22NRLC-LNN-NS-00	no				0.67	380 (2.68)	0.0084 (0.0612)	136	23.5		6.94 (0.049)
780076-01	T22NRLC-LDN-NS-00	yes		2.7			180 (1.27)	0.0034 (0.0248)	4.6	0.85		2.97 (0.021)
780077-01	T23NRLC-LNN-NS-00	no			2.5		280 (1.98)	0.0056 (0.0408)	7.1	1.23		5.95 (0.042)
780078-01	T23NRLC-LDN-NS-00	yes				3.0	380 (2.68)	0.0034 (0.0248)	6.2	1.00		6.94 (0.049)
780079-01	T21NRLH-LNN-NS-00	no	P70530	2.5			280 (1.98)	0.0056 (0.0408)	7.1	1.23	5.95 (0.042)	3.69
780080-01	T21NRLH-LDN-NS-00	yes										
780081-01	T22NRLG-LNN-NS-00	no										
780082-01	T22NRLG-LDN-NS-00	yes										
780083-01	T23NRLH-LNN-NS-00	no	P70530	3.0	380 (2.68)	0.0034 (0.0248)	6.2	1.00	6.94 (0.049)	3.04		
780084-01	T23NRLH-LDN-NS-00	yes										

Torque versus Speed

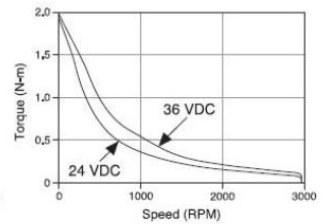
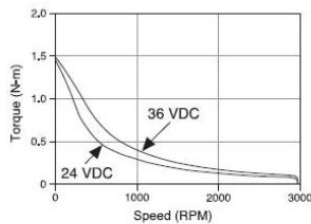
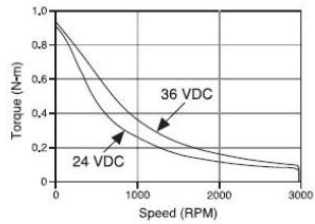


780079-01 and 780080-01
Torque versus Speed at 2.7 A

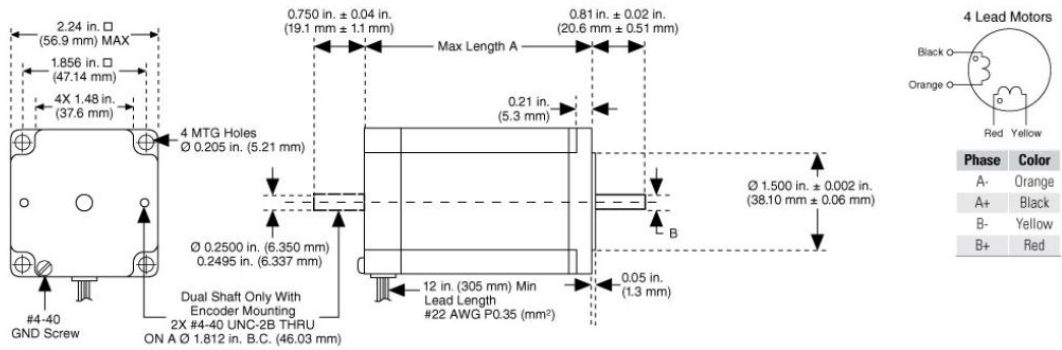
780081-01 and 780082-01
Torque versus Speed at 2.5 A

780083-01 and 780084-01
Torque versus Speed at 3.0 A

NI Part Number	Manufacturer Part Number	Dual Shaft	Max Length A in. (mm)	B Diameter in. (mm)	Net Weight lb (kg)
780073-01	T21NRLC-LNN-NS-00	no	2.21 (56.1)	0.2500 (6.350)	1.6 (0.7)
780074-01	T21NRLC-LDN-NS-00	yes	2.21 (56.1)	0.2495 (6.337)	1.6 (0.7)
780075-01	T22NRLC-LNN-NS-00	no	3.06 (77.7)	0.2500 (6.350)	2.3 (1.0)
780076-01	T22NRLC-LDN-NS-00	yes	3.06 (77.7)	0.2495 (6.337)	2.3 (1.0)
780077-01	T23NRLC-LNN-NS-00	no	4.06 (103.1)	0.313 (7.940)	3.2 (1.5)
780078-01	T23NRLC-LDN-NS-00	yes	4.06 (103.1)	0.313 (7.940)	3.2 (1.5)
780079-01	T21NRLH-LNN-NS-00	no	2.21 (56.1)	0.2500 (6.350)	1.6 (0.7)
780080-01	T21NRLH-LDN-NS-00	yes	2.21 (56.1)	0.2495 (6.337)	1.6 (0.7)
780081-01	T22NRLG-LNN-NS-00	no	3.06 (77.7)	0.2500 (6.350)	2.3 (1.0)
780082-01	T22NRLG-LDN-NS-00	yes	3.06 (77.7)	0.2495 (6.337)	2.3 (1.0)
780083-01	T23NRLH-LNN-NS-00	no	4.06 (103.1)	0.313 (7.940)	3.2 (1.5)
780084-01	T23NRLH-LDN-NS-00	yes	4.06 (103.1)	0.313 (7.940)	3.2 (1.5)



Dimensions and Wiring



ANEXO E. CATALOGO DEL FABRICANTE DEL TORNILLO DE POTENCIA

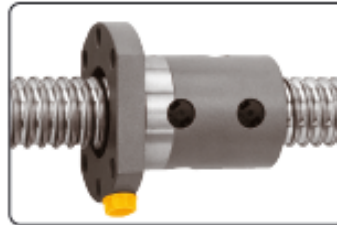
SKF BALL SCREWS

PND preloaded screws, DIN standard 69051

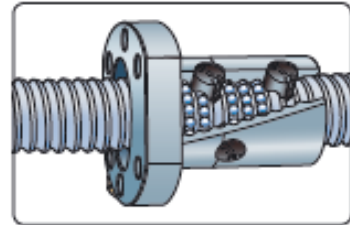
Rolled thread ball screw with internal recirculation nut.

Standard version: composite inserts.
Special version: steel inserts which can act as a safety device for severe requirements or vertical applications. Contact us.

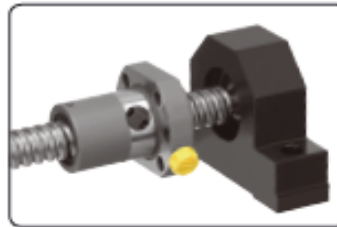
- Nominal diameter: 16 to 63 mm
- Lead: 5 to 10 mm
- Lubrication hole for nipple or automatic SKF SYSTEM 24
- One-piece nut with integral flange offering an internal preload for optimum rigidity
- Wipers available
- Screw shaft can be phosphated on request
- Screw shaft accessories: FLBU-PLBU and BUF off the shelves (→ pages 42 to 47).



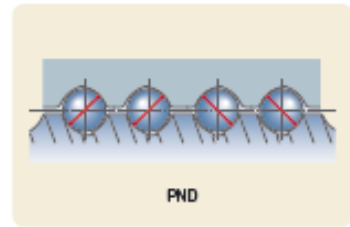
Standard



Recirculation

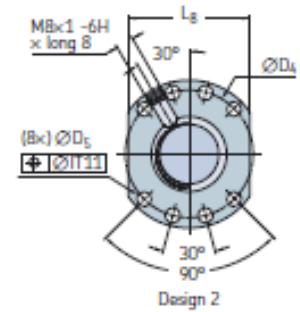
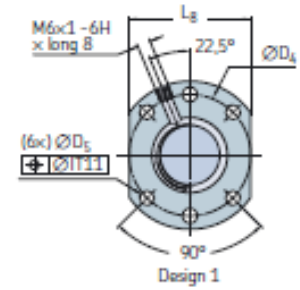
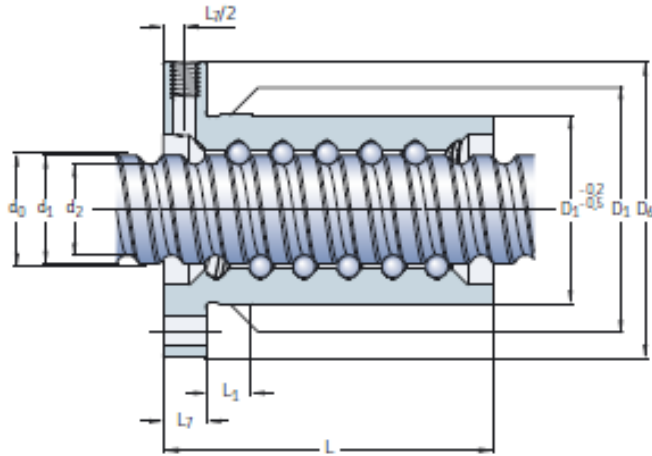


With plunger housing



PND

Nominal diameter	Lead (right hand)	Nut Basic load ratings		Number of circuits of balls	Preload torque average T_{pr}	Stiffness R_s	Inertia	Grease	Weight	Screw		Grease	Designation
		dynamic C_d	static C_{st}							Mass	Inertia		
d_t	P_h	C_d	C_{st}							kg/m	kgmm ² /m	cm ³ /m	
mm	mm	kN		-	Nm	N/μm	kgmm ²	cm ³	kg				-
16	5	5,7	8,3	2-2	0,08	147	46	1	0,19	1,3	33	2,1	PND 16x5 R
	10	10,7	17	2-2-1,8	0,25	263	56	2,7	0,28	1,21	30,7	1,9	PND 16x10 R ²⁾
20	5	8,2	12,2	2-2	0,14	248	91	1,3	0,26	2	85	2,7	PND 20x5 R
25	5	13	22,7	2-3	0,28	436	405	2	0,4	3,3	224	3,4	PND 25x5 R
	10	14,2	21,8	2-2	0,3	264	245	4,5	0,53	3,2	255	3,2	PND 25x10 R
32	5	19,1	40,4	2-4	0,52	734	453	3,2	0,715	5,6	641	3,2	PND 32x5 R
	10	22,6	41,8	2-3	0,61	490	490	7,6	0,81	5,6	639	4,1	PND 32x10 R
40	5	25,4	63,2	2-5	0,71	968	1110	4,8	1,3	9	1639	5,5	PND 40x5 R
	10	52,5	101,7	2-4	1,47	793	1290	15,5	1,8	8,4	1437	4,9	PND 40x10 R
50	10	70,6	157,6	2-5	2,47	1222	2940	27,5	2,6	13,6	3736	7,9	PND 50x10 R
63	10	78,4	202,9	2-5	3,46	1448	5290	26,8	3,2	22	9913	7,9	PND 63x10 R



Screw	Nut		Design	D ₅ H13	D ₆ h13	L	L ₁	L ₇	L ₈ h13	Screw	Support bearing		Recommended support bearing type	
d ₀ × P _s	D ₁ g6	D ₆ js12								length max.	d ₂	d ₁		Recommended thrust bearing type
mm	mm								mm	-				
16×5	28	38	1	5,5	48	48	10	10	40	2 000	12,7	15,2	FLBU 16/PLBU 16	BUF 16
16×10	28	38	1	5,5	48	87	77	10	40	2 000	12,6	15,2	FLBU 16/PLBU 16	BUF 16
20×5	36	47	1	6,6	58	50	10	10	44	4 700	16,7	19,4	PLBU 20/FLBU 20	BUF 20
25×5	40	51	1	6,6	62	62	10	10	48	4 700	21,7	24,6	PLBU 25/FLBU 25	BUF 25
25×10	40	51	1	6,6	62	75	10	10	48	4 700	20,5	24,6	PLBU 25/FLBU 25	BUF 25
32×5	50	65	1	9	80	74	10	12	62	5 700	28,7	31,6	PLBU 32/FLBU 32	BUF 32
32×10	50	65	1	9	80	100	10	12	62	5 700	27,8	32	PLBU 32/FLBU 32	BUF 32
40×5	63	78	2	9	93	88	10	14	70	5 700	36,7	39,6	PLBU 40/FLBU 40	BUF 40
40×10	63	78	2	9	93	130	20	14	70	5 700	34	39,4	PLBU 40/FLBU 40/FLRBU 4 ²⁾	BUF 40
50×10	75	93	2	11	110	151	10	16	85	5 700	44	49,7	PLBU 50/FLBU 50/FLRBU 5 ²⁾	BUF 50
63×10	90	108	2	11	125	153	10	18	95	5 700	57	62,8	PLBU 63/FLBU 63	BUF 63

Shaft end combinations

In the order code, shaft end machining is defined by:

- one letter for diameter < 16 mm
- two letters for diameter ≥ 16 mm

resulting from the combination of two machined ends (→ designation [page 50](#)).

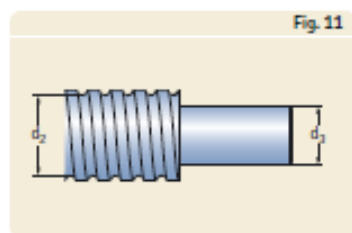
Machined ends are represented in details in [page 37](#) for diameter < 16 mm and [page 38](#) for diameter ≥ 16 mm.

UA end machining

¹⁾ UA: end machined to diameter d_3 under induction hardening, any possible lengths (→ [fig. 11](#)).

Diameter < 16 mm		Diameter ≥ 16 mm	
Order code	Two machined ends	Order code	Two machined end
A (without length indication)	cut only	AA (without length indication)	cut only
A (+ length)	cut + annealed		
B	1 + 2	BA	1A + 2A
F ¹⁾	2 + 2	FA ¹⁾	2A + 2A
G ¹⁾	2 + 3	GA ¹⁾	2A + 3A
H	2 + 4	HA	2A + 4A
J	2 + 5	JA	2A + 5A
M	3 + 5	MA	3A + 5A
S (+ length)	Ends to root diameter, any possible lengths	SA (+ length)	Ends to root diameter d_2 , any possible lengths.
		UA ¹⁾ (+ length)	End machined to diameter d_3 under induction hardening, any possible lengths.
K	Keyway	K	Keyway
Z	To customer's drawing	Z	To customer's drawing

¹⁾Attention! This mounting requires the greatest precautions. Please contact us.



Dimensions	d_2	d_3
	mm	mm
16×5	12,7	9
20×5	16,7	14
25×5	21,7	19
25×10	20,5	18
25×20	21,7	19
25×25	21,5	18
32×5	28,7	26
32×10 DIN	27,8	25
32×10	26	23
32×20	27,5	24
32×32	28,4	26
32×40	26,9	24

Dimensions	d_2	d_3
	mm	mm
40×5	36,7	34
40×10	34	31
40×20	35,2	32
40×40	34,2	31
50×10	44	41
50×50	43,5	40
63×10	57	54

Calculation formulae

Basic life rating

$$L_{10} = \left(\frac{C_a}{F_m} \right)^3$$

Basic load rating

$$C_{req} = F_m (L_{10})^{1/3}$$

where

L_{10} = life [million revolutions]
 C_a = basic dynamic load rating [N]
 C_{req} = required dynamic load rating [N]
 F_m = cubic mean load [N]

Cubic mean load

$$F_m = \frac{(F_1^3 L_1 + F_2^3 L_2 + F_3^3 L_3 + \dots)^{1/3}}{(L_1 + L_2 + L_3 + \dots)^{1/3}}$$

where

L_n = load period n (→ fig. 12)
 F_n = average load during period n
 (→ fig. 12)

$$F_m = \frac{F_{min} + 2F_{max}}{3}$$

where

F_{min} = minimum load (→ diagram 2)
 F_{max} = maximum load (→ diagram 2)

Critical speed of screw shaft (no safety factor)

$$n_{cr} = 49 \times 10^6 \frac{f_1 d_2}{l^2}$$

where

n_{cr} = critical speed [rpm]
 d_2 = root diameter [mm]
 l = free length, or distance between the two support bearings [mm]
 f_1 = mounting correction factor
 0,9 ●● — fixed, free
 3,8 ●● — fixed, supported
 5,6 ●● — fixed, fixed

Note: a safety factor of 0,8 is generally recommended.

Speed limit of the mechanism (maximal speed applied through very short periods)

With recirculation by tubes/inserts (SH/SHS/SQ/SQS/BD/BDS-SX/BX-SN/BN/PN-SND/BND/PND):

$$n d_0 < 50\,000$$

With recirculation through flange (SL/TL-SLD/TLD):

$$n d_0 < 90\,000$$

If $n d_0 > 50\,000$ or $90\,000$ respectively, consult SKF.

where

n = rotational speed [rpm]
 d_0 = screw shaft nominal diameter [mm]
 Maximum admissible acceleration is $4\,000 \text{ rad/s}^2$

Buckling strength, with safety factor 3

$$F_c = \frac{34 \times 10^3 f_3 d_2^4}{l^2}$$

where

F_c = buckling strength [N]
 d_2 = root diameter [mm]
 l = free length, or distance between the two support bearings [mm]
 f_3 = mounting correction factor
 0,25 ●● — fixed, free
 1 ●● — supported, supported
 2 ●● — fixed, supported
 4 ●● — fixed, fixed

Fig. 12

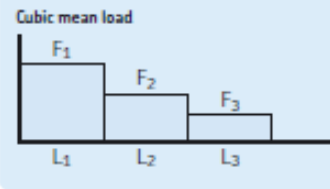


Diagram 2

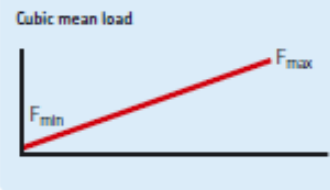
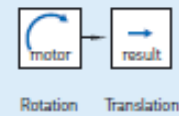
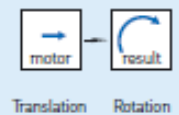


Fig. 13



Rotation Translation

Fig. 14



Translation Rotation

Theoretical efficiencies
direct (→ fig. 13)

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{n d_0}{P_h} \mu}$$

where

$\mu = 0,0065$ for SH/SHS
 $\mu = 0,006$ for SD/SDS, BD/BDS, SX, SL,
 SN, SND, BX, BN, TL, PN, PND
 d_0 = nominal diameter of screw shaft [mm]
 P_h = lead [mm]

indirect (→ fig. 14)

$$\eta' = 2 - \frac{1}{\eta}$$

Practical efficiency

$$\eta_p = 0,9 \eta$$

The value 0,9 used is an average value between the practical efficiency of a new screw and that of a properly run in screw. It should be used for industrial applications in all normal working conditions. For extreme cases, call us.

Input torque in a steady state

$$T = \frac{F P_h}{2\,000 n \eta_p}$$

where

T = input torque [Nm]
 F = maximum load of the cycle [N]
 P_h = lead [mm]
 η_p = practical efficiency

Power required in a steady state

$$P = \frac{F n P_h}{60\,000 \eta_p}$$

where

P = power required [W]
 n = revolutions per minute [rpm]

Preload torque [Nm]

$$T_{pr} = \frac{F_{pr} P_h}{1\,000 n} \left(\frac{1}{\eta_p} - 1 \right)$$

where

T_{pr} = preload torque [Nm]
 F_{pr} = preload [N]

Restraining torque (considering system backdriving)

$$T_B = \frac{F P_h \eta'}{2\,000 n}$$

where

T_B = restraining torque [Nm]
 F = load [N]

For safety, we use the theoretical indirect efficiency.

Nominal motor torque when accelerating

For a horizontal screw

$$T_t = T_f + T_{pr} + \frac{P_h [F + m_L \mu_f g]}{2\,000 n \eta_p} + \dot{\omega} \Sigma$$

For a vertical screw

$$T_t = T_f + T_{pr} + \frac{P_h [F + m_L g]}{2\,000 n \eta_p} + \dot{\omega} \Sigma$$

where

T_t = nominal torque [Nm]
 T_f = torque from friction in support bearings, motors, seals, etc... [Nm]
 T_{pr} = preload torque [Nm]
 μ_f = coefficient of friction
 $\dot{\omega}$ = angular acceleration [rad/s²]
 m_L = mass of the load [kg]
 g = acceleration of gravity [9,8 m/s²]
 Σ = $I_M + I_t + I_S$ l 10⁻⁹

Nominal braking torque when decelerating

For a horizontal screw

$$T_t = T_f + T_{pr} + \frac{P_h \eta' [F + m_L \mu_f g]}{2\,000 n} + \dot{\omega} \Sigma$$

For a vertical screw

$$T_t = T_f + T_{pr} + \frac{P_h \eta' [F + m_L g]}{2\,000 n} + \dot{\omega} \Sigma$$

where

$$I_L = m_L \left(\frac{P_h}{2n} \right)^2 10^{-6}$$

where

I_M = inertia of motor [kgm²]
 I_S = inertia of screw shaft per metre [kgmm²/m]
 l = length of screw shaft [mm]

Static axial stiffness

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_n} + \frac{1}{R_p}$$

Fix-free or fix-support

$$R_s = 165 \frac{d_2^2}{l}$$

Fix-fix assembly

$$R_s = \frac{165 d_2^2 l}{l_2 (l - l_2)}$$

where

R_s = shaft rigidity [N/μm]
 R_n = nut rigidity [N/μm]
 R_p = end bearing rigidity [N/μm]

For details see **page 10**.

For additional information, please contact SKF

ANEXO F. DATA SHEET TARJETA DE POTENCIA

COMPONENTES DE LA TARJETA DE POTENCIA

- Circuito integrado Toshiba TB6560AHQ de alta potencia con una máximo de corriente de 3.5 A
- Ajuste de micro pasos 1-1/16. mayor precisión y funcionamiento más suave que el estándar de 1, ½ de paso
- configuración de la unidad de corriente ajustable para cada eje - 25%, 50%, 75%, 100% de la corriente total. Se puede ajustar para diferentes motores paso a paso.
- Sobrecarga, la seguridad sobre corriente y exceso de temperatura - completa protección para su computadora y equipos periféricos.
- Potencia de salida se puede configurar de acuerdo a los requisitos específicos del usuario.
- Total aislamiento óptico del tipo cerrado para proteger el ordenador del usuario y el equipo.
- Interfaz por Relay - Max salidas. 36V 7,5 A para motores de giro o de la bomba de refrigerante (sólo un dispositivo puede ser alimentado por esta salida.
- 4 canales de entrada de interfaz se puede utilizar para el límite de XYZ y de parada de emergencia.
- Diseño profesional - Dos etapas de procesamiento de señales con super anti-jamming
- Bipolar constante unidad de helicóptero actual no resonante región - Control de motores sin problemas en todo el rango sin efecto de arrastre.
- Cuatro entradas de control (dividido en pares de cuchillas) - Permite el ajuste de límite y de parada de emergencia.

- Cuatro entradas de control (dividido en pares de cuchillas) - Permite el ajuste de límite y de parada de emergencia
- Estructura Universal - Compatible con la mayoría del software paralelo MACH3, KCAM4, EMC2, etc.

Configuración de los pines ajustables

Configuración	1	2	Modo de configuración	3	4	Configuración Micro pasos	5	6
100%	ON	ON	FAST	ON	ON	1	ON	ON
75%	ON	OFF	25%	ON	OFF	1/2	ON	OFF
50%	OFF	ON	50%	OFF	ON	1/8	OFF	OFF
25%	OFF	OFF	SLOW	OFF	OFF	1/16	OFF	ON

NOTAS IMPORTANTES

Fuente de alimentación DC 12-36V (no incluido)

* Selección de voltaje:

12-16V DC fuente de alimentación para Nema17 motores paso a paso

16-24V DC fuente de alimentación para Nema23 motores paso a paso

24-36V DC fuente de alimentación para Nema34 motores paso a paso

(Alta tensión se queman los chips o motores paso a paso)

* selección de amperaje

Corriente de salida de la fuente de alimentación se puede calcular mediante las siguientes expresiones:

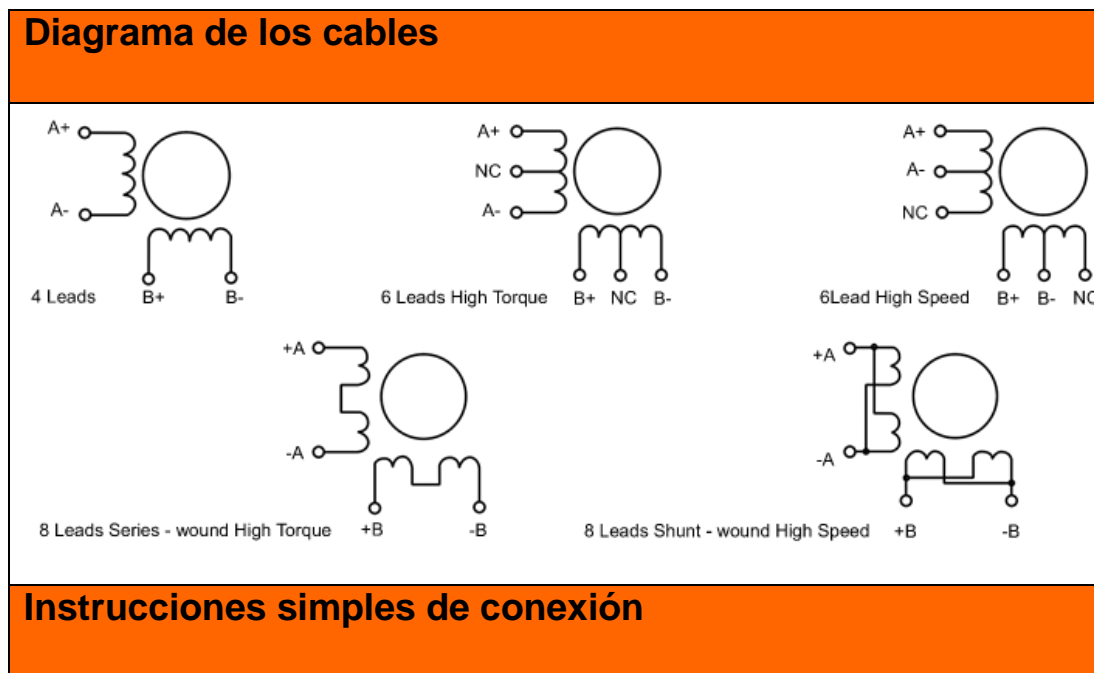
Salida = Corriente nominal del motor paso a paso * Cantidad + 2A

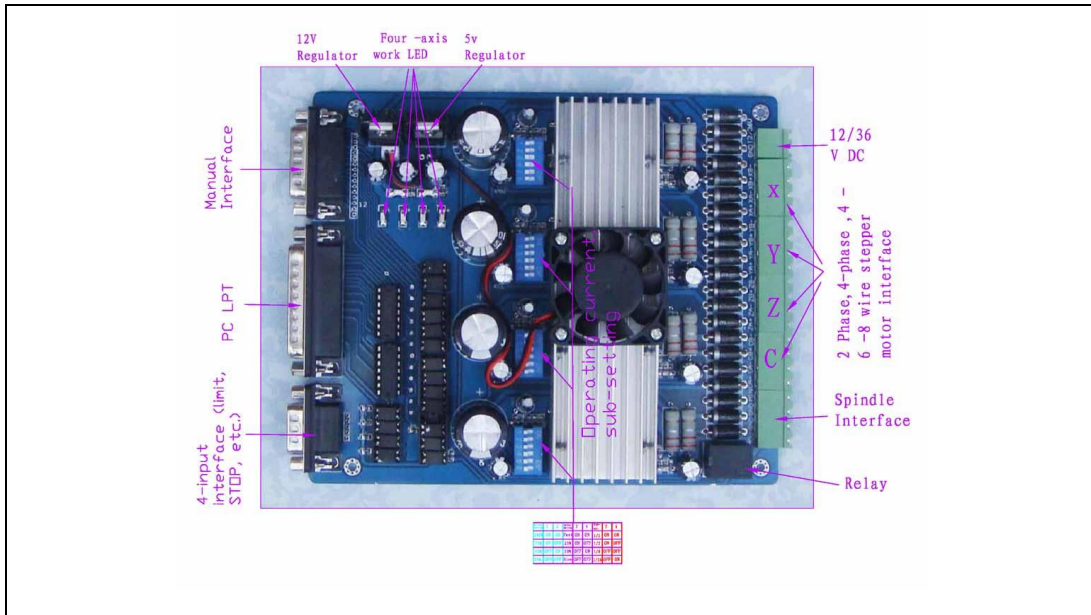
(Por ejemplo, si desea conducir de 3 * 3 A Nema23 motores paso a

paso, teóricamente 24V 11A Fuente de alimentación DC se recomienda, pero de mayor potencia, como 15A 24V también será bueno.

Si no está seguro acerca de la selección de fuente de alimentación, no dude en contactar con nosotros en busca de ayuda)

- La potencia de salida de 12 V se aplicarán a la del ventilador del radiador de 12V
- Controlador de salida compatible con 2 o 4 fases, 4,6 u 8 de plomo motores paso a paso, 3A máx.
- Apto para motores paso a paso unipolar o bipolar.
- Tensión regulada husillo con control de velocidad de la interfaz paralela en función de la tensión de alimentación.





Configuración de los 1-PIN 25 del Puerto paralelo

Spindle motor	PIN2
X Enable	PIN4
X Dir	PIN1
X Step	PIN16
Y Enable	PIN17
Y Dir	PIN7
Y Step	PIN14
Z Enable	PIN5
Z Dir	PIN6
Z Step	PIN3
C Enable	PIN5
C Dir	PIN8

Configuración de los 1-PIN 15 del Puerto paralelo

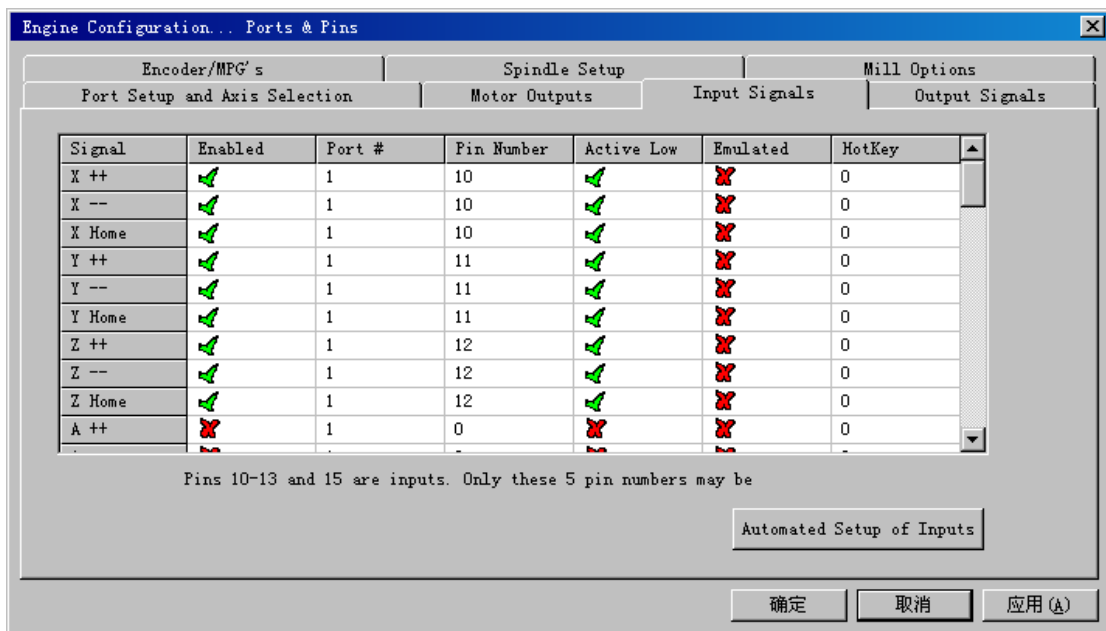
Z/C	P1
C Step	P2
Z Step	P3
X Dir	P4
X	P5
Y	P6
Y Dir	P7
Z Dir	P8
C Dir	P9
Spindle	P10
Y Step	P11
X Step	P12
STOP	P13
GND	P14
5V/vdd	P15

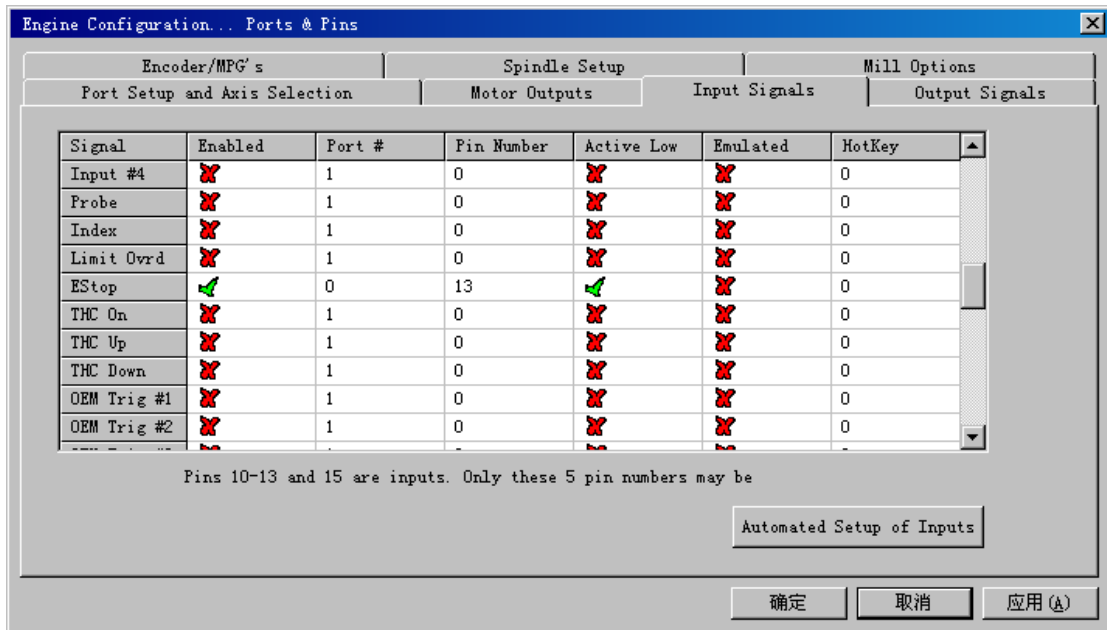
Configuración de DB9 4 canales de las interfaces de entrada

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
X Limit	Y Limit	Z Limit	STOP	Empty	GND	GND	GND	GND
P10	P11	P12	P13					

Input 1	Input 2	Input 3	Input 4
Corresponde P10	Corresponde P11	Corresponde P12	Corresponde P13

Establecimiento de límites de referencia:

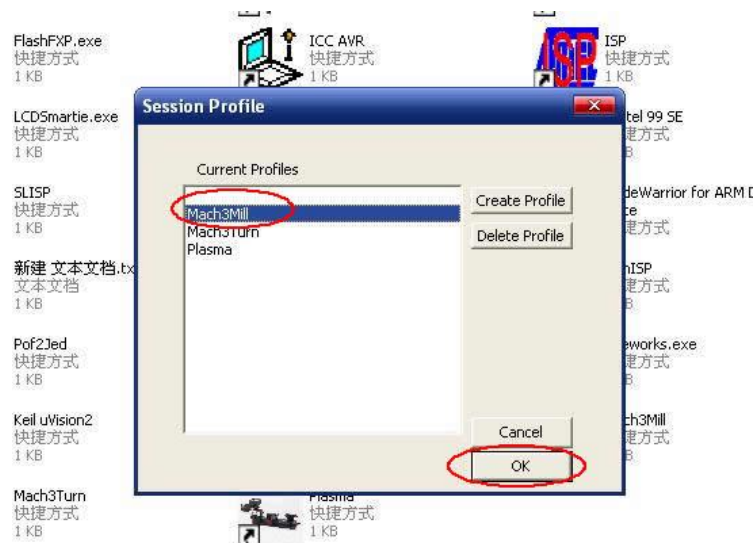




Definición de las salidas de la tarjeta como se muestra.

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17
VDD	GN	XA+	XA-	XB+	XB-	YA+	YA-	YB+	YB-	ZA+	ZA-	ZB+	ZB-	MO/V+	GN	MO

INSTRUCCIONES PARA LA CONFIGURACION DEL MACH 3



Abre *MACH3* software, seleccionar *mach3MILL*, y haz click *OK*. Referida a la Fig.1

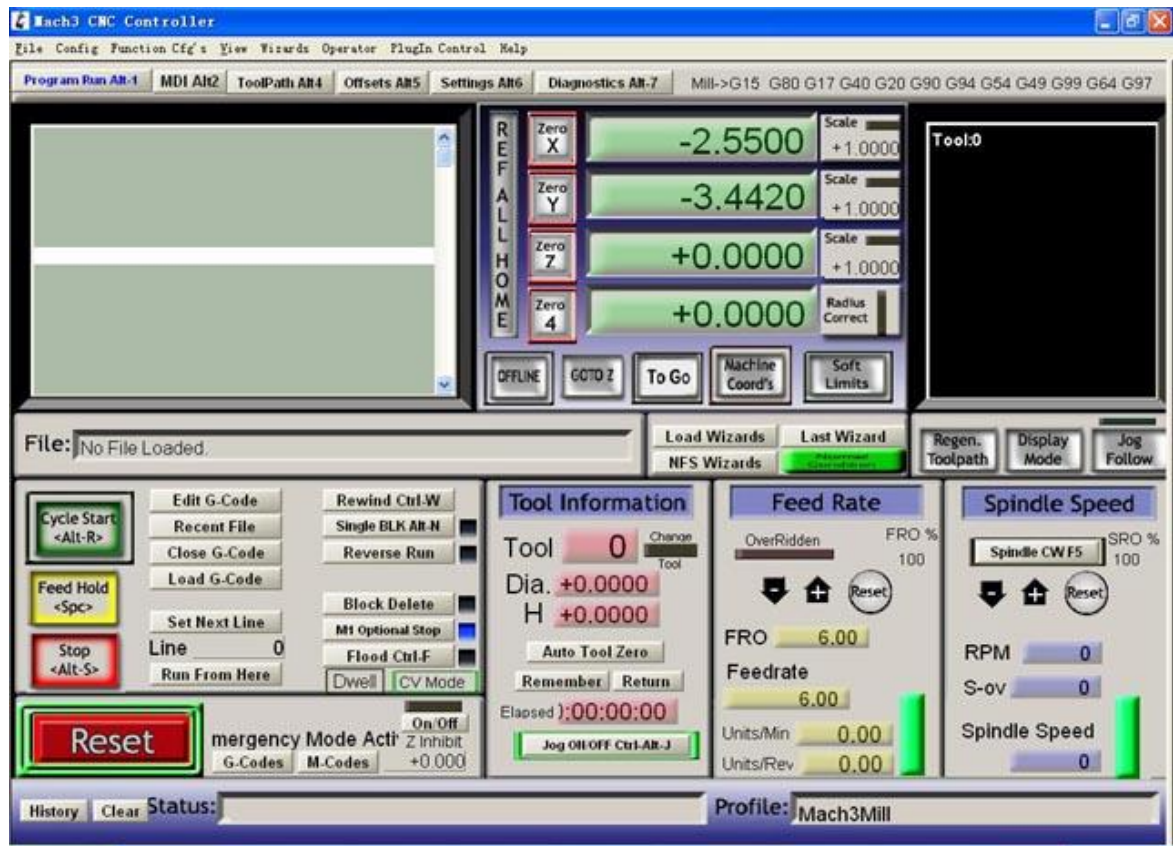


Fig.2

La interfaz *MACH3* es como se muestra en la Fig.2. Los botones de acción de uso frecuente se muestran el dibujo siguiente, y se deben configurar donde se muestra.

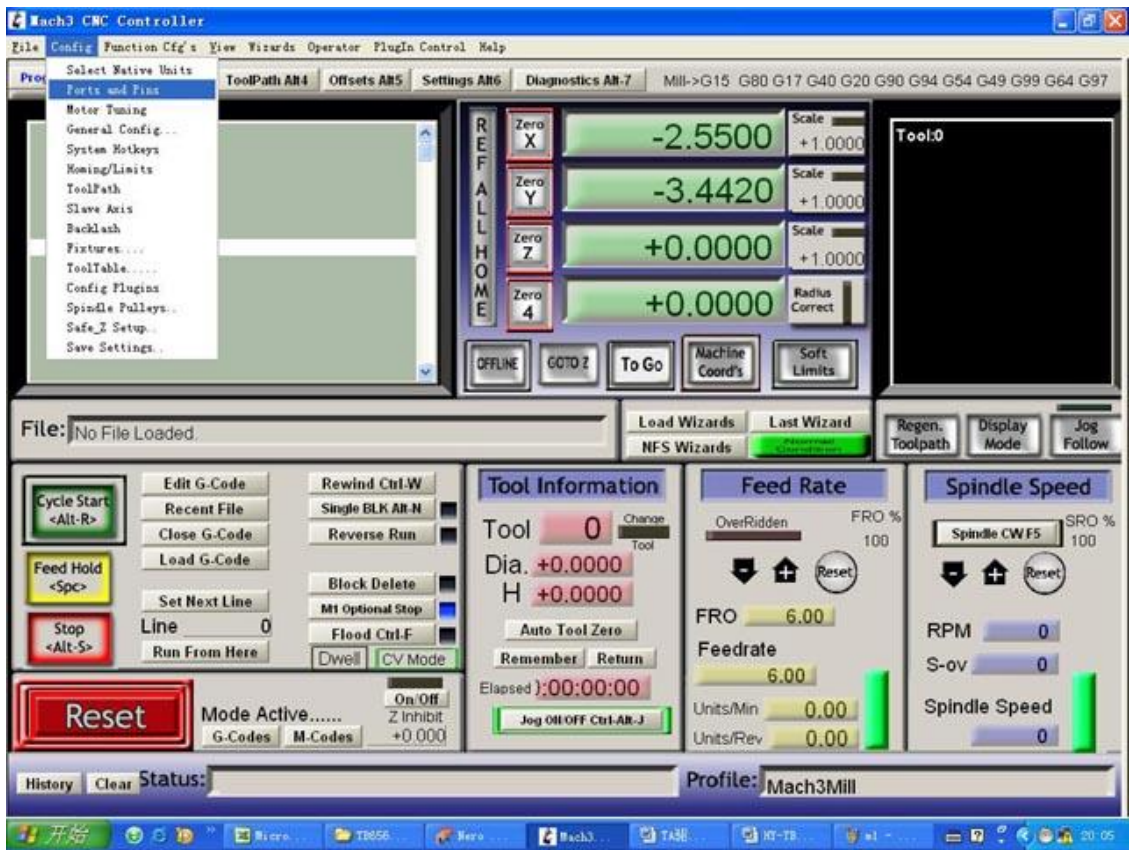


Fig.3

Hacer Click *PORT & PIN* sub-menu de *config* menú. Refiriéndose a la Fig.3.y a la Fig.4

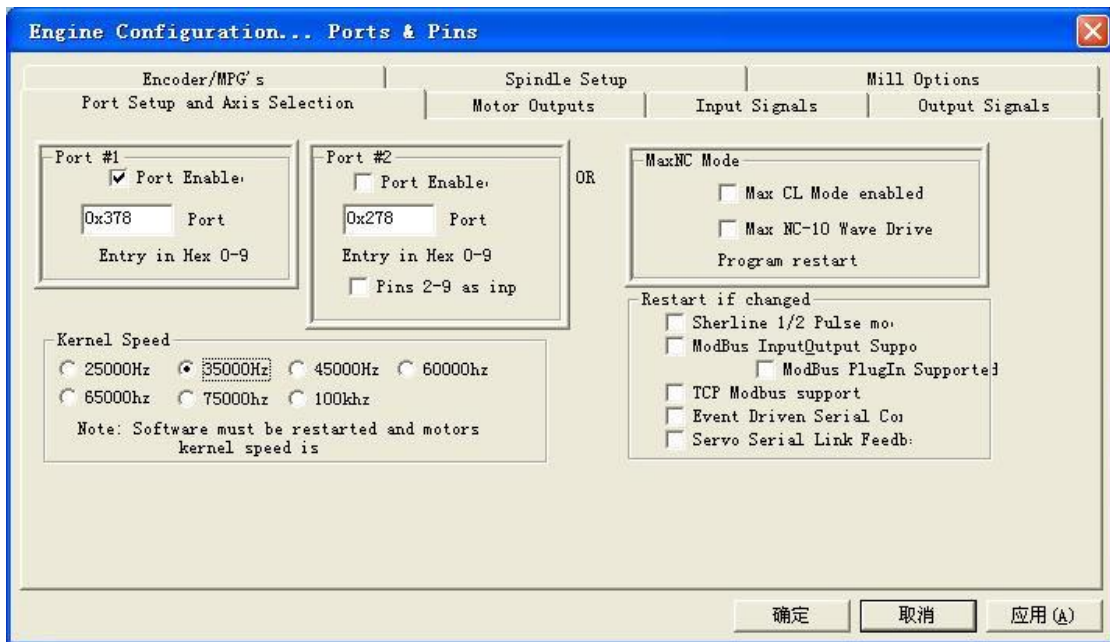


Fig.4

Para configurar la frecuencia de base en lo anterior un círculo. Este parámetro afectará a la velocidad de rotación del motor. Después de la configuración de la frecuencia básica, seleccione Círculo 2, donde la configuración de secuencias de comandos se define, por favor refiérase a la Fig. 5.

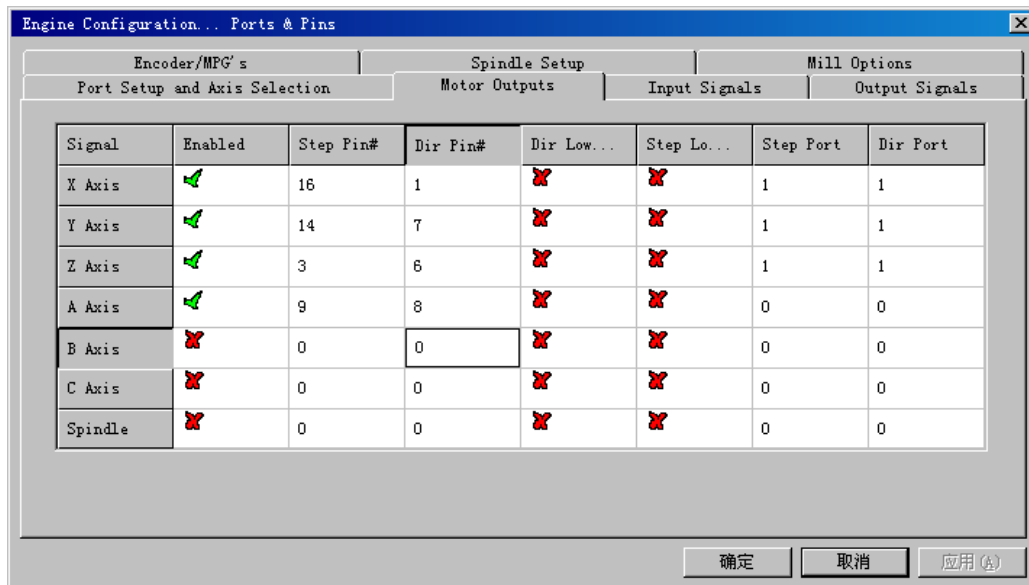


Fig.5

Para modificar las configuraciones del software se deben hacer como se muestra.

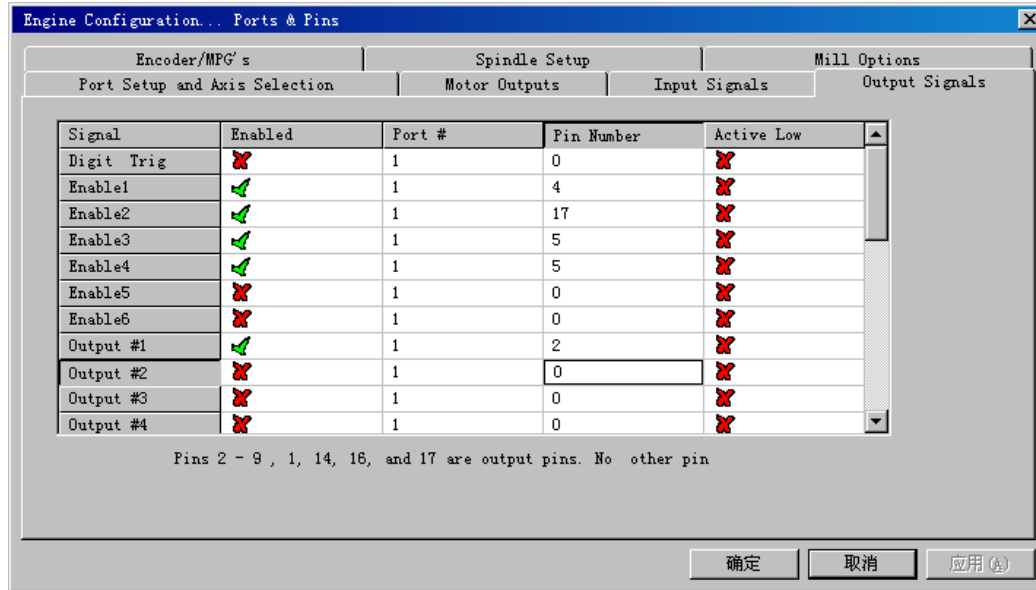


Fig.6

Entonces se selecciona *output de la columna de salida*, como se muestra en la Fig.6, y establecer las partidas correspondientes por la configuración descrita en el círculo.

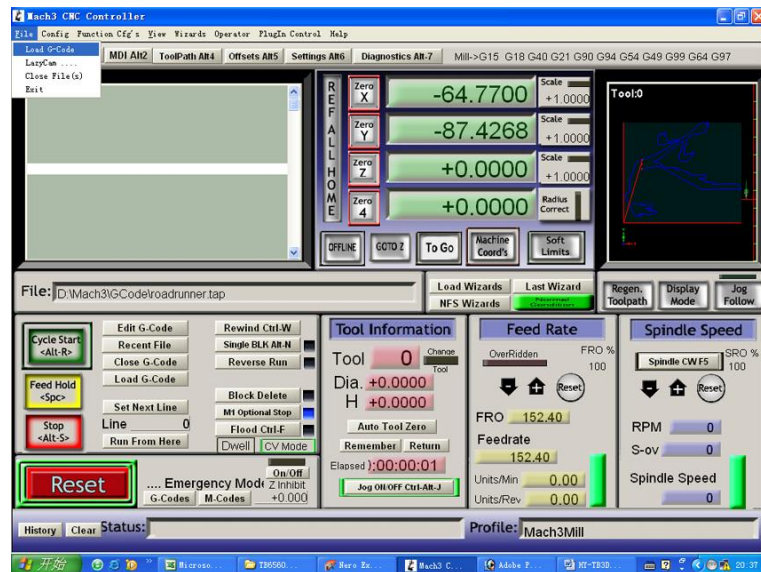


Fig.7

Después de todo se han creado, abrir el código G que necesita para funcionar, como se muestra en la Fig. 7

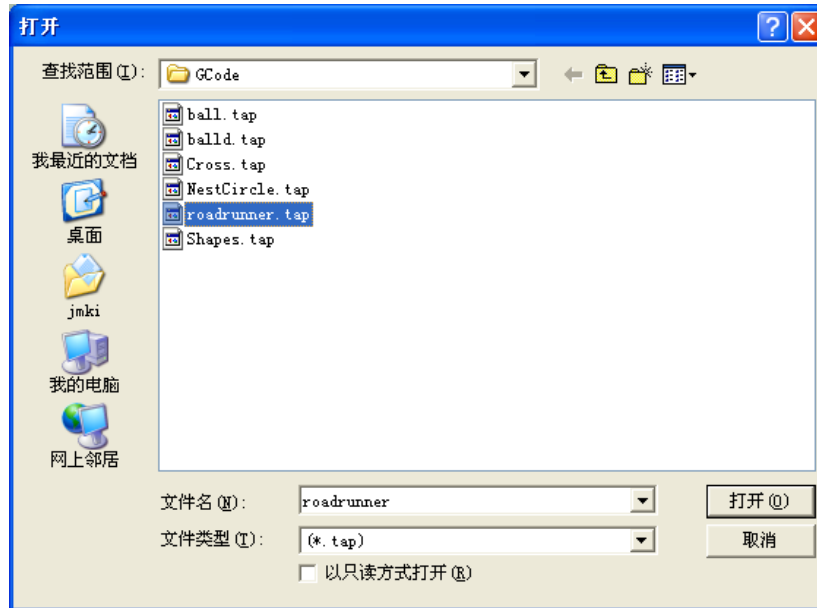


Fig.8

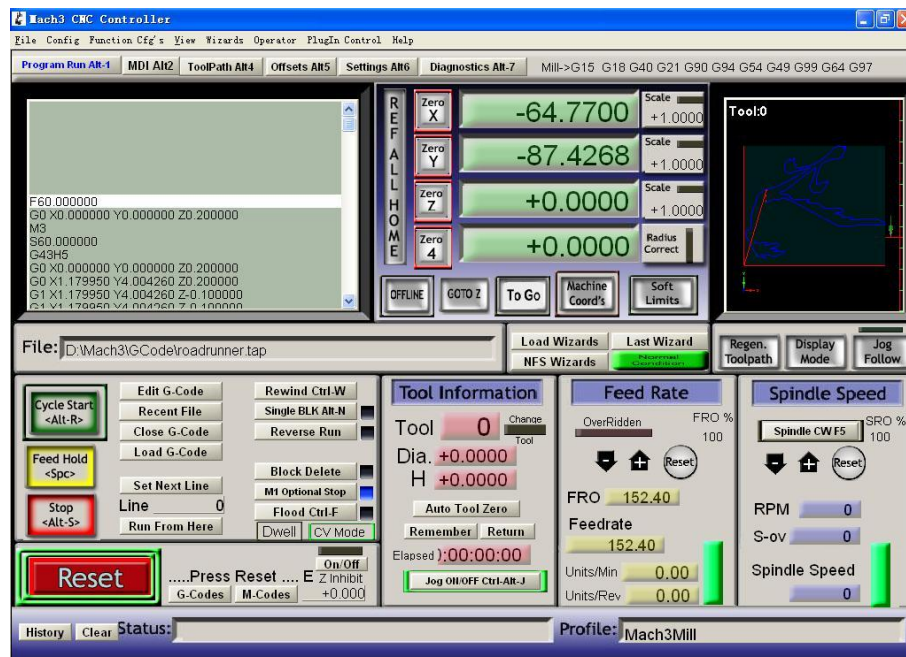


Fig.9

Después de código G se ha abierto, se puede ver el botón rojo intermitente RESET. Haga clic en RESET para detener el parpadeo y luego presione CYCLESTART en el lugar del Círculo 2

***LAS SOLUCIONES SIMPLES SI EL CONTROLADOR NO FUNCIONA**

CORRECTAMENTE:

- Por favor revise la configuración del software de acuerdo con la Fig. 5 y Fig. 6
- Por favor, conforman el cable paralelo ha sido fuertemente plugged
- Por favor, apague la fuente de alimentación antes de cambiar la configuración del dip
- Por favor, use estable de alta calidad de suministro de energía DC para este controlador
- Problemas en el uso de Mach3, por favor consulte el manual de usuario Mach 3
- Si el problema persiste, por favor no dude en contactar con nosotros!

ANEXO G. CATALOGO DE SELECCIÓN RIELES DE EXTENSION

Riel de Extensión Total 100 Lbs – Sterling



Características:

Capacidad de carga 100 lbs certificado BIFMA - FIRA.

Montaje lateral.

Montaje con tornillos. Opcional montaje bayoneta.

Perforaciones sistema 32.

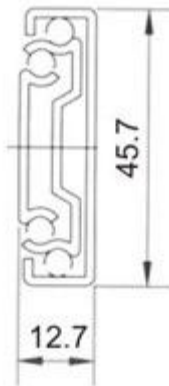
Tamaños:10-12-14-16-18-20-22-24-26-28 pulgadas. Opcional 1" de sobre extensión.

Acabados zincado y zincado negro.

Función de mantenerse cerrado.

Palanca liberadora para remoción de la gabeta.

CODIGO	Long. (Pulg-mm)	Acabado	Und. Empaque
ETZ3200/25	10-254,0	Zincado	15
ETZ3200/30	12-304,8	Zincado	15
ETZ3200/35	14-355,6	Zincado	15
ETZ3200/40	16-406,4	Zincado	15
ETZ3200/45	18-457,2	Zincado	15
ETZ3200/50	20-508,0	Zincado	15
ETZ3200/55	22-558,8	Zincado	15
ETZ3200/60	24-609,6	Zincado	15
ETZ3200/65	26-660,0	Zincado	15



ANEXO H. CATALOGO DE PERFILERIA DE ALUMINIO VITRAL

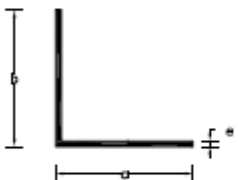
COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

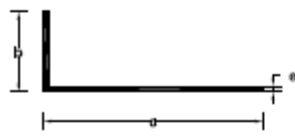
Nº Aleación	Si	Fe	Mg	Mn	Cu	Cr	Zn	Ti	Varlos	Al (mln)
6063	0,20-0,60	0,35	0,45-0,90	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,15	restante
6061	0,40-0,80	0,70	0,80-1,20	0,15	0,15-0,40	0,25	0,15	0,15	0,15	restante
6005	0,60-0,90	0,35	0,40-0,60	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,15	restante
6351	0,70-1,30	0,50	0,80-1,20	0,15	0,10	...	0,20	0,20	0,15	restante

DUREZA Y RESISTENCIA



Aleación	Espeador	Dureza	Webster	Resist. a Fluencia		Resist. a Tensión		Elongadón	
6063	-T1	Todos	4	8	5,8	8,5	11,2	18,0	14
	-T4	<0,5"	5	7	6,2	8,8	12,9	16,7	14
		<0,5" o más	4	6	6,0	8,5	12,5	16,1	14
	-T5%(1)	Todos	7	8	9,5	12,3	13,9	17,6	12
	-T5	<0,5"	8	10	11,2	16,2	15,5	19,7	8
		<0,5" o más	7	9	10,7	14,4	14,8	18,6	8
-T6	<0,5"	10	13	17,6	21,4	21,1	23,6	8	
	<0,5" o más	9	12	17,6	19,3	21,0	22,5	8	
6061	-T1	Todos	8	11	11,0	14,1	18,0	24,0	15
	-T1	Todos	8	11	11,2	14,8	18,3	24,5	14
	-T5	Todos	12	14	20,9	25,0	24,5	30,0	8
	-T6	Todos	14	16	24,5	28,1	26,5	31,6	9
6005	-T1	Todos	8	9	9,2	13,0	16,3	23,0	15
	-T4	Todos	9	10	10,5	14,0	17,5	24,0	15
	-T5	Todos	10	12	24	27,5	26,0	29,5	8
	-T6	Todos	14	14	24,5	28,0	25,5	30,0	8
6351	-T1	Todos	9	10	9,5	16,0	16,3	20,0	18
	-T4	Todos	9	11	13,3	16,5	22,4	25,0	16
	-T5	Todos	12	14	24,5	30,0	26,5	31,7	10
	-T6	Todos	15	16	26,0	30,2	29,6	34,4	10

ÁNGULOS

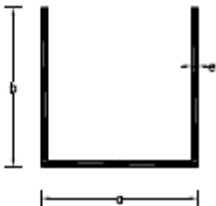
ÁNGULOS DE ALETAS IGUALES	Nº Referencia	a x b m.m.	e m.m.	Peso Kg/ml.	a x b Pulg.	Unidad de Empaque
 <p>* Fijación Mecánica</p>	1182	25,40	1,02	0,138	1"	50
	1238	19,00	1,20	0,109	3/4"	50
	1444	31,75	3,18	0,520	1 1/4"	10
	* 1449	65,00	6,60	1,875	2 9/16"	4
	1554	28,00	6,00	0,807	1 7/64"	6
	1638	50,00	6,00	1,521	1 61/32"	4
	1639	50,00	5,00	1,282	1 61/32"	4
	1640	50,00	4,00	1,037	1 61/32"	6
	1715	25,40	3,00	0,389	1"	15
	1779	19,00	1,10	0,110	3/4"	50
	1921	25,40	2,50	0,319	1"	16
	1993	17,00	1,00	0,090	43/64"	80
	2028	38,10	3,00	0,595	1 1/2"	10
	2033	31,00	3,00	0,460	17/32"	10
	2407	11,75	1,10	0,065	10/22"	80
	2835	19,00	2,90	0,275	3/4"	20

ÁNGULOS DE ALETAS DESIGUALES	Nº Referencia	a m.m.	b m.m.	e m.m.	Peso Kg/ml	a x b Pulg.	Unidad de Empaque
	1179	42,10	40,00	1,80	0,392	1 21/32 x 1 31/64"	14
	1248	40,00	39,00	2,65	0,548	1 31/64 x 1 17/32"	12
	1280	25,40	12,70	1,40	0,139	1 x 1/2"	40
	1319	100,00	19,00	3,00	1,195	3 15/16 x 3/4"	4
	1422	70,00	19,00	1,20	0,285	2 3/4 x 3/4"	20
	1512	33,50	12,90	1,80	0,214	1 5/16 x 13/64"	30
	1641	50,00	30,00	4,00	0,820	1 61/32 x 1 1/2"	6
	2263	52,00	19,00	1,30	0,246	2 3/64 x 3/4"	20

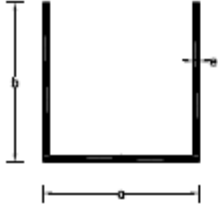
BARRAS RECTANGULARES

PLETINAS	Nº Referencia	a m.m.	b m.m.	Peso Kg/ml.	Unidad de Empaque
  * Estrado	1002	38,10	3,20	0,331	20
	1209	19,10	6,30	0,328	10
	1256	76,20	9,52	1,960	2
	*1267	25,40	2,40	0,142	40
	1327	76,20	31,75	6,551	1
	1408	60,00	1,20	0,195	30
	1413	76,20	15,88	3,279	1
	1423	70,00	1,20	0,228	20
	1599	135,00	7,00	2,561	2
	1618	19,80	1,80	0,096	50
	1787	25,40	2,80	0,199	30
	1885	80,30	5,00	0,813	-
	1922	80,00	4,00	0,867	6
	1954	63,50	6,35	1,093	6
	1955	63,50	12,70	2,186	2
	1982	37,70	2,40	0,245	20
	2015	25,40	5,00	0,344	14
	2159	25,40	1,58	0,109	40
	2160	19,05	4,76	0,246	20
	2161	12,70	3,17	0,109	50
	2187	19,05	3,18	0,164	30
	2188	19,05	1,58	0,082	60
	2189	12,70	3,18	0,109	50
	2190	25,40	4,76	0,328	20
	2191	12,70	1,58	0,054	90
	2298	19,70	1,40	0,073	50
	2310	38,10	3,20	0,330	20
2521	31,75	2,00	0,172	30	

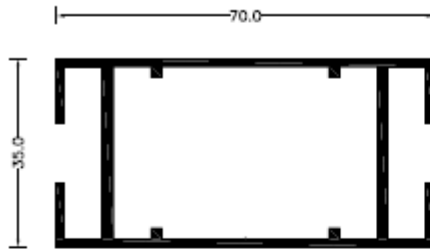
PERFILES "U"

PERFILES EN "U"	Nº Referencia	a m.m.	b m.m.	e m.m.	Peso Kg/ml.	Unidad de Empaque
	1148	34,50	50,00	8,00	2,435	2
	1172	40,30	31,50	1,50	0,408	12
	1173	44,35	41,80	1,80	0,607	8
	1183	12,70	12,70	1,50	0,143	40
	1259	152,40	50,80	8,40	5,20	1
	1292	44,45	125,40	2,29	2,139	2
	1325	130,00	65,00	25,40	11,592	1
	1437	28,40	12,00	1,20	0,159	30
	1438	28,40	12,00	1,20	0,140	40
	1439	19,40	12,00	1,20	0,130	40
	1440	42,40	10,00	1,20	0,224	20
	1453	67,30	65,10	1,60	0,643	6
	1566	32,40	20,70	1,80	0,343	20
	1679	77,00	25,50	3,00	0,992	8
	1581	12,30	4,40	1,20	0,061	50
	1582	9,50	12,70	1,20	0,106	50
	1591	34,00	20,00	1,20	0,233	24
	1649	43,00	35,00	2,30	0,645	10
	1658	76,20	19,05	1,80	0,475	10
1660	41,24	19,05	1,57	0,271	20	

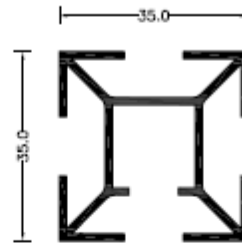
PERFILES "U"

PERFILES EN "U"	Nº Referencia	a m,m.	b m,m.	e m,m.	Peso Kg/ml.	Unidad de Empaque
	1675	33,00	23,00	2,00	0,407	12
	1735	43,80	38,10	2,50	0,778	6
	1747	12,70	12,70	1,20	0,116	50
	1752	59,00	33,50	2,00	0,547	8
	1826	33,90	3,70	1,20	0,126	40
	1828	38,00	5,10	1,20	0,150	40
	1833	50,00	50,00	1,40	0,558	12
	1837	47,00	12,50	1,25	0,230	24
	1912	58,40	57,10	3,00	1,315	4
	1931	50,80	8,00	1,20	0,249	20
	1945	25,10	16,00	1,20	0,178	30
	2023	25,50	18,00	1,40	0,222	30
	2034	9,50	12,70	1,10	0,098	60
	2105	38,00	30,10	1,35	0,312	18
	2162	35,60	20,00	1,45	0,302	18
	2168	25,40	12,70	1,20	0,157	30
	2309	28,20	16,80	1,40	0,225	20
	2524	39,70	19,40	1,30	0,298	18
	2587	15,00	15,00	1,20	0,138	32
	2588	15,00	20,00	1,20	0,170	32
2896	38,00	30,00	1,15	0,297	20	

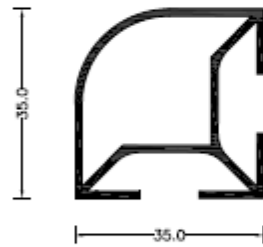
DIVISIÓN DE INTERIORES SISTEMA 35 x 35



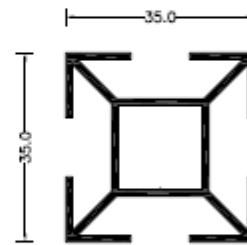
1585	Paral 35 x 70
Peso	1,130 Kg/m
Perímetro	360,60 mm
LC	4



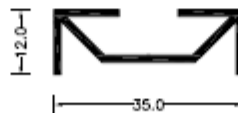
2538	Estrella Abierta 35 x 35
Peso	0,654 Kg/m
Perímetro	377,62 mm
LC	9



2540	Esquintero
Peso	0,597 Kg/m
Perímetro	250,00 mm
LC	8



2963	Estrella Tubular 35 x 35
Peso	0,649 Kg/m
Perímetro	395,60 mm
LC	8



2962	Remate
Peso	0,274 Kg/m
Perímetro	168,70 mm
LC	20

ANEXO I. DATA SHEET DE LA FUENTE DE VOLTAJE



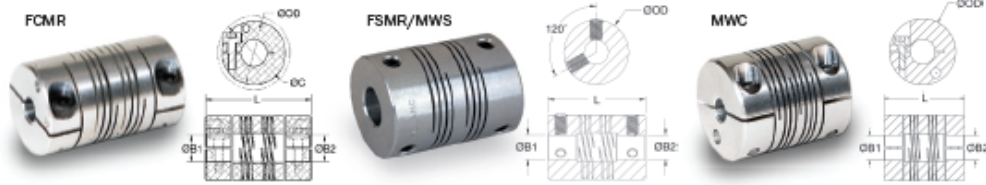
MODEL		12	24
OUTPUT	DC VOLTAGE	12V	24V
	RATED CURRENT	5A	2.5A
	CURRENT RANGE	0 ~ 5A	0 ~ 2.5A
	RATED POWER	60W	60W
	RIPPLE & NOISE (max.) Note.2	120mVp-p	150mVp-p
	VOLTAGE ADJ. RANGE	10.8 ~ 13.2V	21.6 ~ 26.4V
	VOLTAGE TOLERANCE Note.3	±1.0%	±1.0%
	LINE REGULATION	±0.5%	±0.5%
	LOAD REGULATION	±0.5%	±0.5%
	SETUP, RISE TIME	300ms, 50ms, /230VAC	
HOLD TIME(Typ.)	90ms/230VAC	12ms/115VAC at full load	
INPUT	VOLTAGE RANGE	85 ~ 264VAC	120 ~ 370VDC
	FREQUENCY RANGE	47 ~ 63Hz	
	EFFICIENCY (Typ.)	76%	79%
	AC CURRENT	2A/115VAC	1A/230VAC
	INRUSH CURRENT (max.)	COLD START 20A/115VAC 40A/230VAC	
LEAKAGE CURRENT	~3.5mA / 240VAC		
PROTECTION	OVERLOAD	105 ~ 150% rated output power Protection type : Hiccup mode, recovers automatically after fault condition is removed.	
	OVER VOLTAGE	13.8 ~ 16.2V	27.6 ~ 32.4V Protection type : Hiccup mode, recovers automatically after fault condition is removed.
ENVIRONMENT	WORKING TEMP.	-10 ~ +60°C (Refer to output load derating curve)	
	WORKING HUMIDITY	20 ~ 90% RH non-condensing	
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-20 ~ +85°C , 10 ~ 95% RH	
	TEMP. COEFFICIENT	±0.03%/°C (0 ~ 50°C)	
SAFETY & EMC (Note 4)	VIBRATION	10 ~ 500Hz, 2G 10min./1cycle, 60min. each along X, Y, Z axes	
	SAFETY STANDARDS	Design refer to UL1012, UL1950, TUV EN60950	
	WITHSTAND VOLTAGE	IP-O;P-3KVAC IP-FG:1.5KVAC OIP-FG:0.5KVAC	
	ISOLATION RESISTANCE	IP-O;P, IP-FG, OIP-FG:100M Ohms/500VDC	
	EMI CONDUCTION & RADIATION	Compliance to EN55022 (CISPR22) Class B	
OTHERS	HARMONIC CURRENT	Compliance to EN61000-3-2,-3	
	EMM IMMUNITY	Compliance to EN61000-4-2,3,4,5,6,8,11; ENV50204, EN55024, Light industry level, criteria A	
MTBF	316.2K hrs min. MIL-HDBK-217F (25°C)		

	DIMENSION	159*97*38mm (L*W*H)
	PACKING	0.50Kg; 30pcs/15.1Kg/0.5CUFT
NOTE	<p>1. All parameters NOT specially mentioned are measured at 230VAC input, rated load and 25°C of ambient temperature.</p> <p>2. Ripple & noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair-wire terminated with a 0.1uF & 47uF parallel capacitor.</p> <p>3. Tolerance : includes set up tolerance, line regulation and load regulation.</p> <p>4. The power supply is considered a component which will be installed into a final equipment. The final equipment must be re-confirmed that it still meets EMC directives.</p>	

ANEXO J. DATASHEET ACOPLE SELECCIONADO

FCMR/FSMR MWC/MWS

SIX BEAM AND FOUR BEAM COUPLINGS METRIC DIMENSION SERIES • ALUMINUM



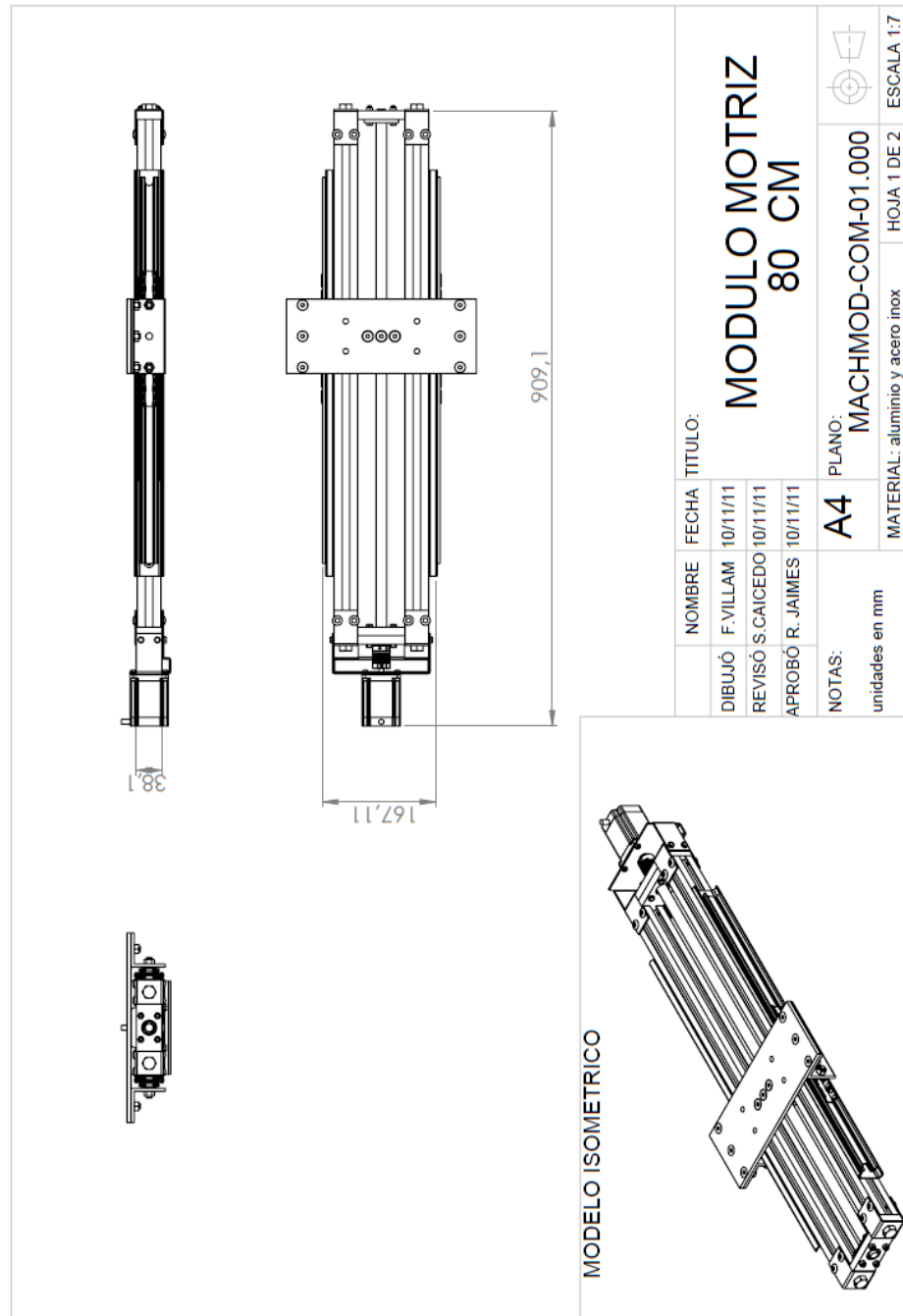
PART NUMBER		SPECIFICATIONS							PERFORMANCE					
CLAMP STYLE	SET SCREW STYLE	BORES B1, B2 (mm)	OUTER DIAM OD (mm)	CLEARANCE DIAM C (mm) (FCMR) MAX	LENGTH L (mm) (FCMR/MWC)	LENGTH L (mm) (FSMR/MWS)	CAP SCREW (FCMR/MWC)	SET SCREW (FSMR/MWS)	SHAFT PENETRATION (MM)	STATIC TORQUE (Nm)	TORSIONAL (Deg/Nm)	PARALLEL MISALIGNMENT (mm)	AXIAL MOTION (mm)	MOMENT OF INERTIA (x10 ⁸ kg·m ²)
FCMR16	FSMR16	5	15.88	20.22	25.4	25.4	M3	M4	12.00	1.47	3.211	0.203	0.127	0.380
	6	1.47								3.211				
FCMR19	FSMR19	5	19.05	22.23	31.75	31.75	M3	M4	15.06	2.94	1.331	0.203	0.127	1.037
		6								2.94	1.331			
		7								2.71	1.666			
		8								2.26	2.096			
		8								3.95	0.548			
		7								3.95	0.548			
FCMR25	FSMR25	9	25.4	28.37	38.1	38.1	M4	M5	17.87	3.73	0.862	0.381	0.254	4.120
		10								3.73	0.862			
		11								3.28	1.097			
		12								2.82	1.566			
		8								7.91	0.313			
		9								6.89	0.392			
FCMR32	FSMR32	9	31.75	37.06	44.45	44.45	M5	M6	20.82	6.89	0.392	0.381	0.254	11.885
		10								6.89	0.392			
		11								5.65	0.627			
		12								5.65	0.627			
		14								5.08	0.705			
		15								4.86	0.862			
FCMR38	FSMR38	10	38.1	41.71	57.15	57.15	M5	M6	26.47	13.56	0.157	0.762	0.381	30.032
		11								12.43	0.235			
		12								12.43	0.235			
		14								12.43	0.235			
		15								10.73	0.392			
		16								10.73	0.392			
MWC15	MWS15	3	15		22	20	M2	M3	10.41	0.85	4.44	0.20	0.12	0.293
		4								0.85	4.44			
		5								0.81	5.21			
MWC20	MWS20	4	20		28	20	M3	M3	13.34	1.30	2.01	0.20	0.12	1.053
		5								1.30	2.01			
		6								1.15	2.48			
MWC25	MWS25	6	25		30	24	M3	M4	13.79	3.42	1.22	0.38	0.25	2.955
		8								3.42	1.22			
		10								3.10	1.75			
MWC30	MWS30	8	30		38	30	M4	M5	17.65	6.90	0.71	0.38	0.25	7.958
		10								6.90	0.71			
		12								13.65	0.93			

- Note 1** Static torque ratings are at maximum misalignment. To obtain dynamic rating, static ratings should be divided by 2 for non-reversing applications and by 4 for reversing applications.
- Note 2** Hardware is alloy steel with black oxide finish. Stainless steel hardware is available upon request. FCMR and MWC series parts have two socket head Nypatch® cap screws on each end. FSMR and MWS parts have two set screws on each end 120° apart.
- Note 3** Performance ratings are for guidance only. The user must determine suitability for a particular application.
- Note 4** Coupling torque and torsional stiffness are determined by the largest bore selected.
- Note 5** Angular misalignment on all couplings is 3°.
- Note 6** Shafts may penetrate up to 0.5 x L. Be certain shafts do not touch.
- Note 7** Maximum speed 6,000 RPM.

FOR ENGINEERING AND WARRANTY INFORMATION SEE WWW.RULAND.COM

www.ruland.com • Phone (508) 485-1000 • Fax (508) 485-9000

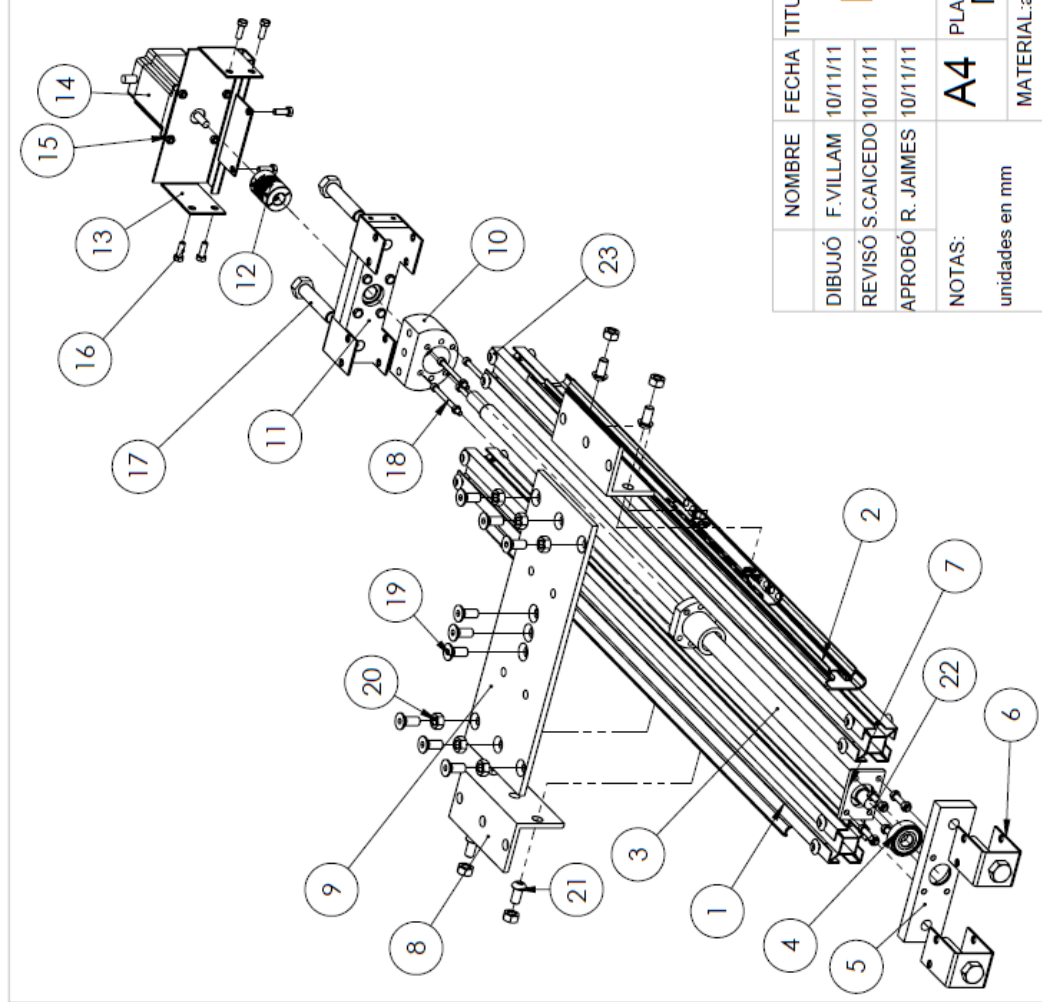
ANEXO K. PLANOS DEL SISTEMA MODULAR



24

²⁴ Para ver planos de fabricación completos ir la hipervínculo [planos MACHMOD](#)

Idra	PLANO	NOMBRE	CANT
1	MACHMOD-COM-01.001	perfil estrella mod 80	2
2	(ver anexo G)	riel sterling 60 cm	2
3	MACHMOD-COM-01.002	tornillo de bolas 80 (ver anexo E)	1
5	MACHMOD-COM-01.003	placa balinera sencilla	1
6	MACHMOD-COM-01.004	perfil en U de soporte	4
4		balinera 6201	1
7	MACHMOD-COM-01.005	placa retenedor balinera	1
8	MACHMOD-COM-01.006	L soporte mesa 80	2
9	MACHMOD-COM-01.007	mesa deslizante 80	1
10	MACHMOD-COM-01.008	dado	1
11	MACHMOD-COM-01.009	placa dobles y balinera 5201	1
12	(ver anexo J)	acople 6 x 12 mm	1
13	MACHMOD-COM-01.010	lamina soporte motor	1
14	(ver anexo D)	motor nema 23 pap	1
15		tornillo Bristol M4X12, tuerca M4	4
16		tornillo hex M5X14	6
17		tornillo hex M12 X 55	4
18		tornillo Bristol M4X50, tuerca m4	4
19		tornillo Bristol avella M8x20	9
20		tuerca M8	10
21		tornillo Bristol button M8x16	10
22		tornillo Bristol M5 x 30	8
23		remache 1/2 x 1/4 in	16

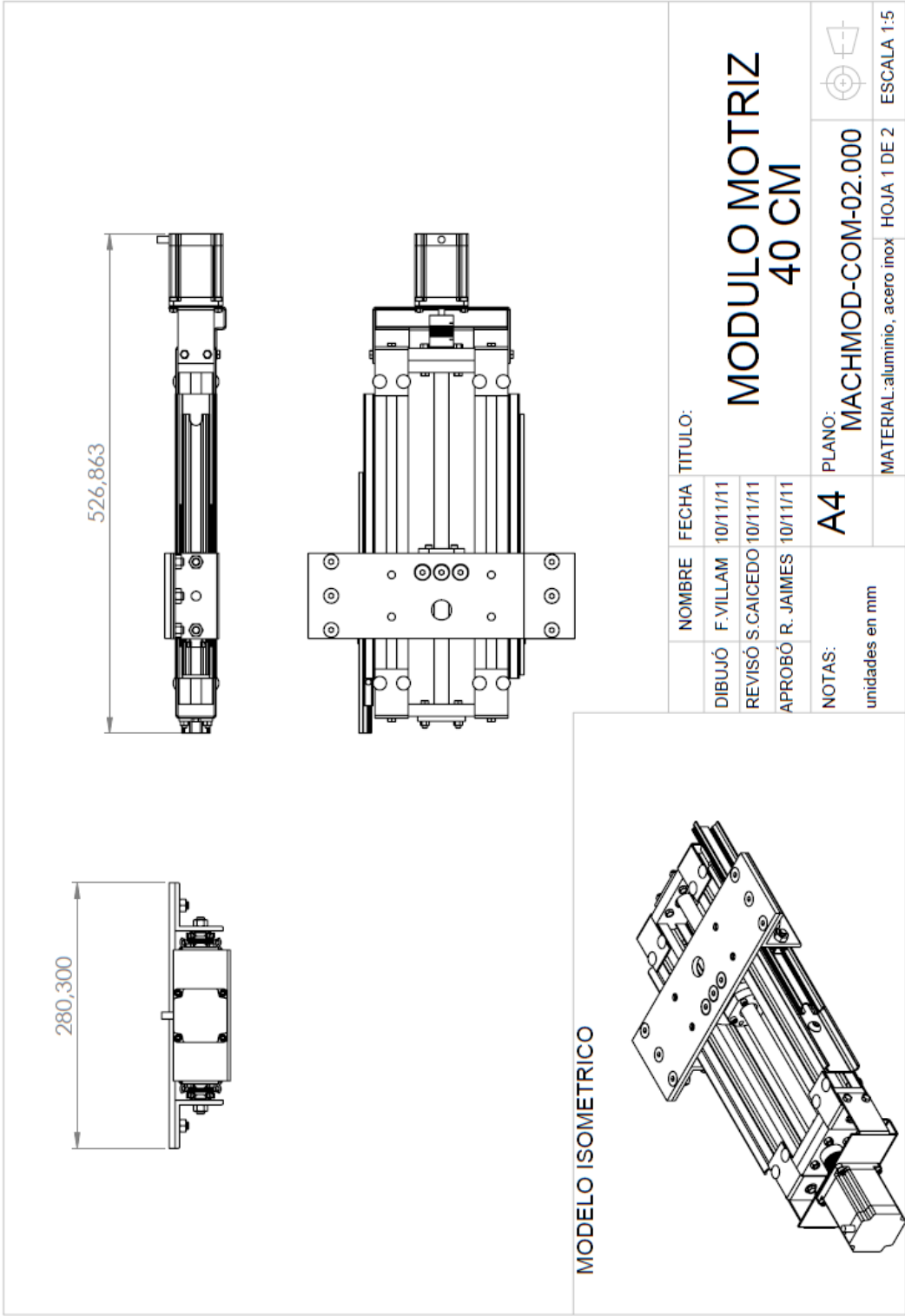


TITULO:

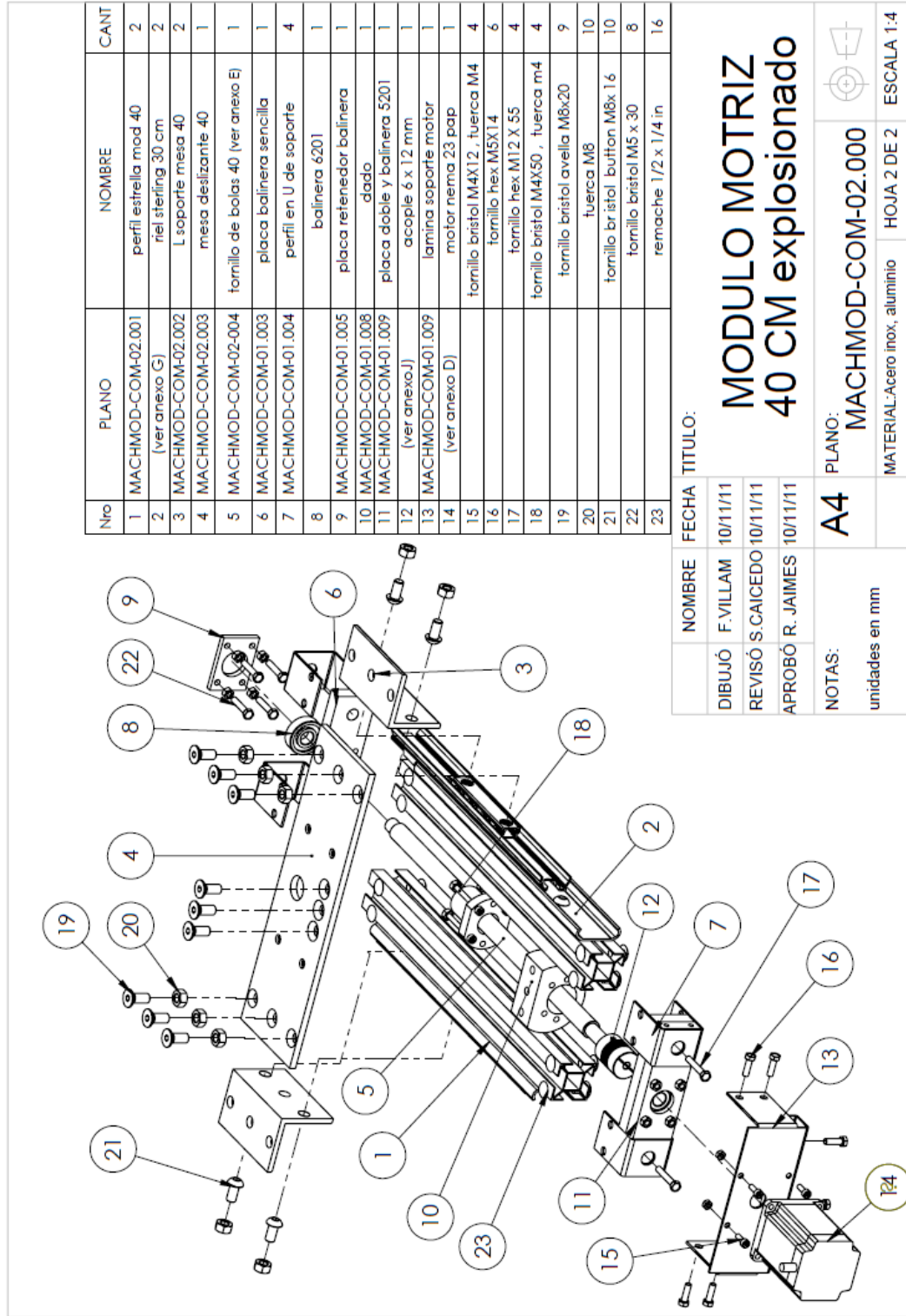
MODULO MOTRIZ 80 CM explosionado

NOMBRE	FECHA	TITULO:
DIBUJÓ F.VILLAM	10/11/11	MODULO MOTRIZ 80 CM explosionado
REVISÓ S.CAICEDO	10/11/11	
APROBÓ R. JAIMES	10/11/11	
NOTAS: unidades en mm		PLANO: MACHMOD-COM-01.000
		MATERIAL: aluminio , acero inox
		HOJA 2 DE 2
		ESCALA 1:5





NOMBRE		FECHA	TITULO:
DIBUJÓ	F. VILLAM	10/11/11	MODULO MOTRIZ 40 CM
REVISÓ	S. CAICEDO	10/11/11	
APROBÓ	R. JAIMES	10/11/11	
NOTAS: unidades en mm			PLANO: A4
			MATERIAL: aluminio, acero inox HOJA 1 DE 2
			ESCALA 1:5



Nro	PLANO	NOMBRE	CANT
1	MACHMOD-COM-02.001 (ver anexo G)	perfil estrella mod 40	2
2	MACHMOD-COM-02.002	riel sterling 30 cm	2
3	MACHMOD-COM-02.003	L soporte mesa 40	2
4	MACHMOD-COM-02.004	mesa deslizante 40	1
5	MACHMOD-COM-01.003	tornillo de bolas 40 (ver anexo E)	1
6	MACHMOD-COM-01.003	placa balinera sencilla	1
7	MACHMOD-COM-01.004	perfil en U de soporte balinera 6201	4
8	MACHMOD-COM-01.005	placa retenedor balinera	1
9	MACHMOD-COM-01.008	dado	1
10	MACHMOD-COM-01.009	placa doble y balinera S201	1
11	MACHMOD-COM-01.009	acople 6 x 12 mm	1
12	MACHMOD-COM-01.009	lamina soporte motor	1
13	MACHMOD-COM-01.009	motor nema 23 pap	1
14	(ver anexo J)	tornillo bristol M4X12 , tuerca M4	4
15		tornillo hex M5X14	6
16		tornillo hex M12 X 55	4
17		tornillo bristol M4X50 , tuerca m4	4
18		tornillo bristol M8x20	9
19		tuerca M8	10
20		tornillo bristol Buffon M8x 16	10
21		tornillo bristol M5 x 30	8
22		remache 1/2 x 1/4 in	16
23			

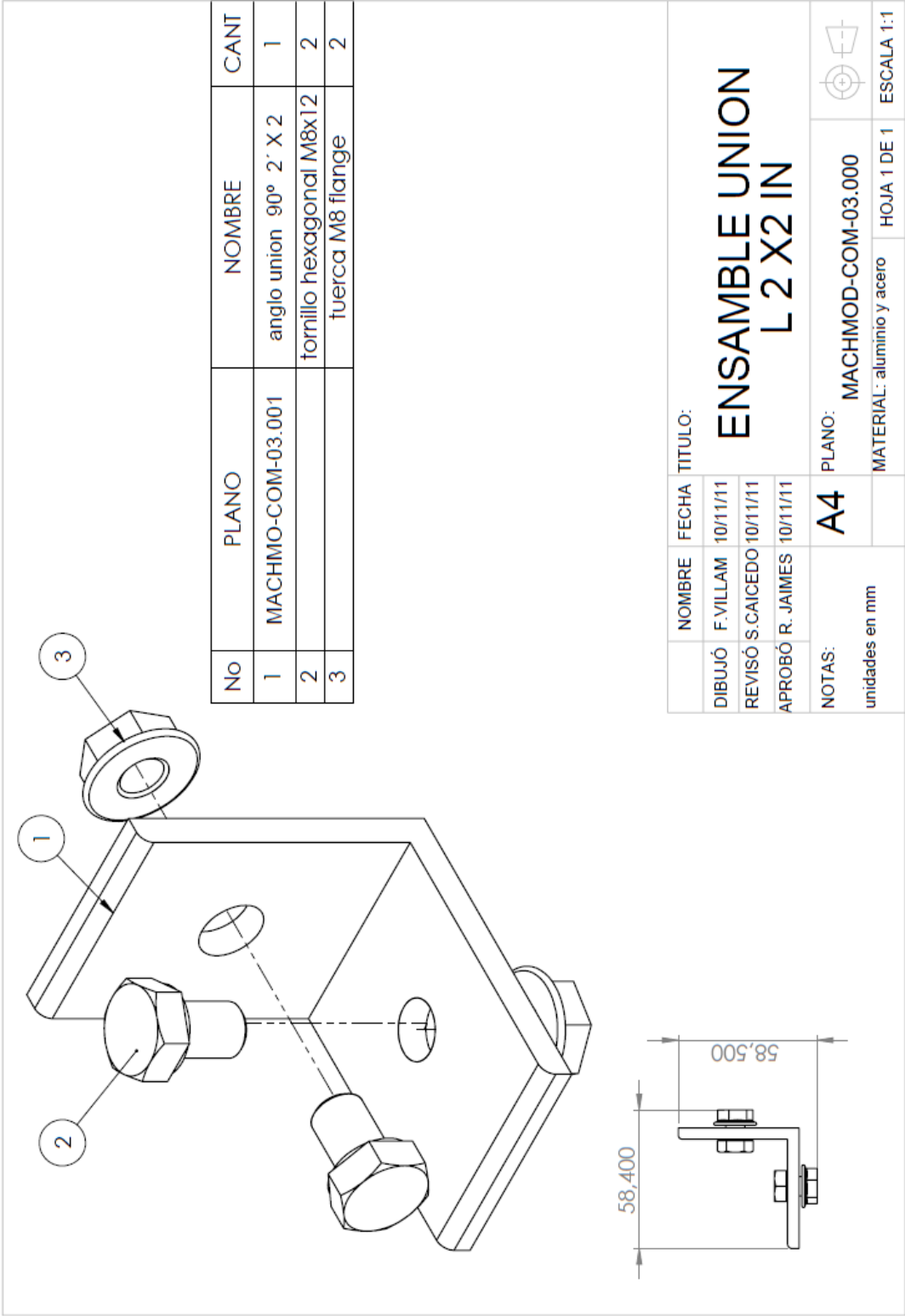
NOMBRE: F.VILLAM
 DIBUJÓ: F.VILLAM
 REVISÓ: S.CAICEDO
 APROBÓ: R. JAIMES

MODULO MOTRIZ 40 CM explosionado

FECHA	10/11/11	TITULO:	MACHMOD-COM-02.000	ESCALA	1:4
PLANO:	A4	MATERIAL:	Acero inox, aluminio	HOJA	2 DE 2

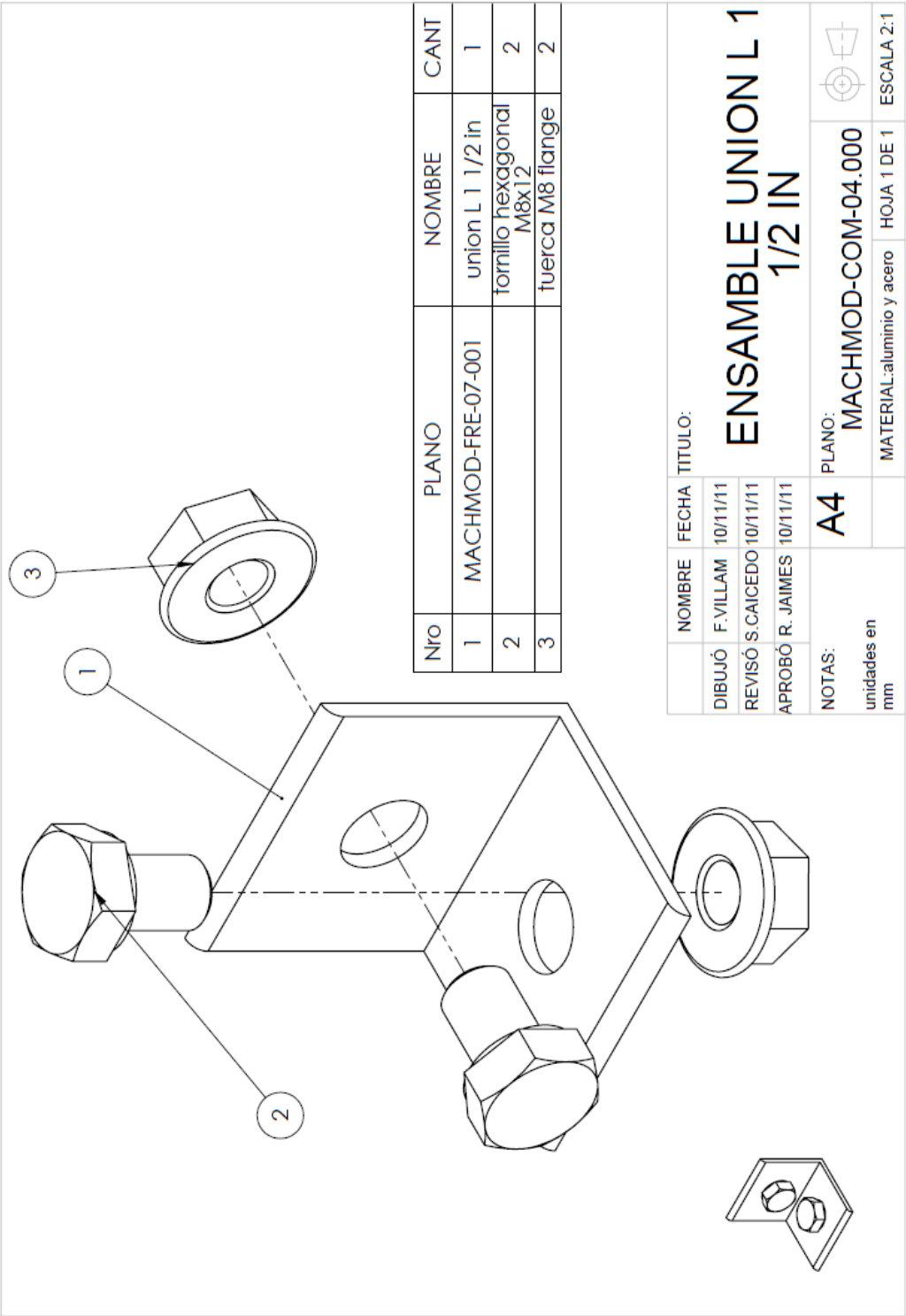


NOTAS:
unidades en mm

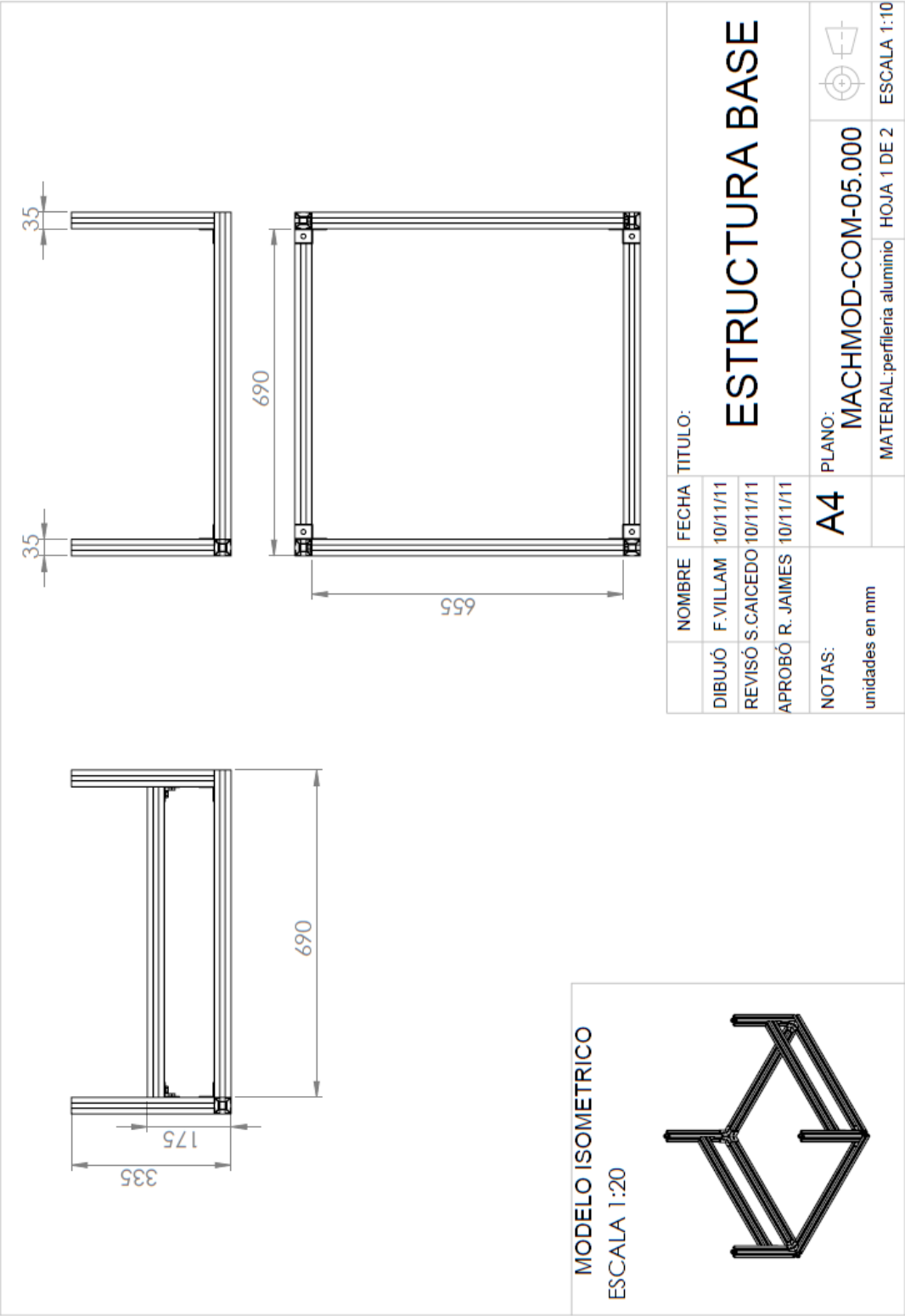


No	PLANO	NOMBRE	CANT
1	MACHMO-COM-03.001	anglo union 90° 2' X 2	1
2		tornillo hexagonal M8x12	2
3		tuerca M8 flange	2

NOMBRE		FECHA	TITULO:
DIBUJÓ	F. VILLAM	10/11/11	ENSAMBLE UNION L 2 X2 IN
REVISÓ	S. CAICEDO	10/11/11	
APROBÓ	R. JAIMES	10/11/11	
NOTAS:		A4	PLANO:
unidades en mm			MACHMOD-COM-03.000
			MATERIAL: aluminio y acero
			HOJA 1 DE 1
			ESCALA 1:1

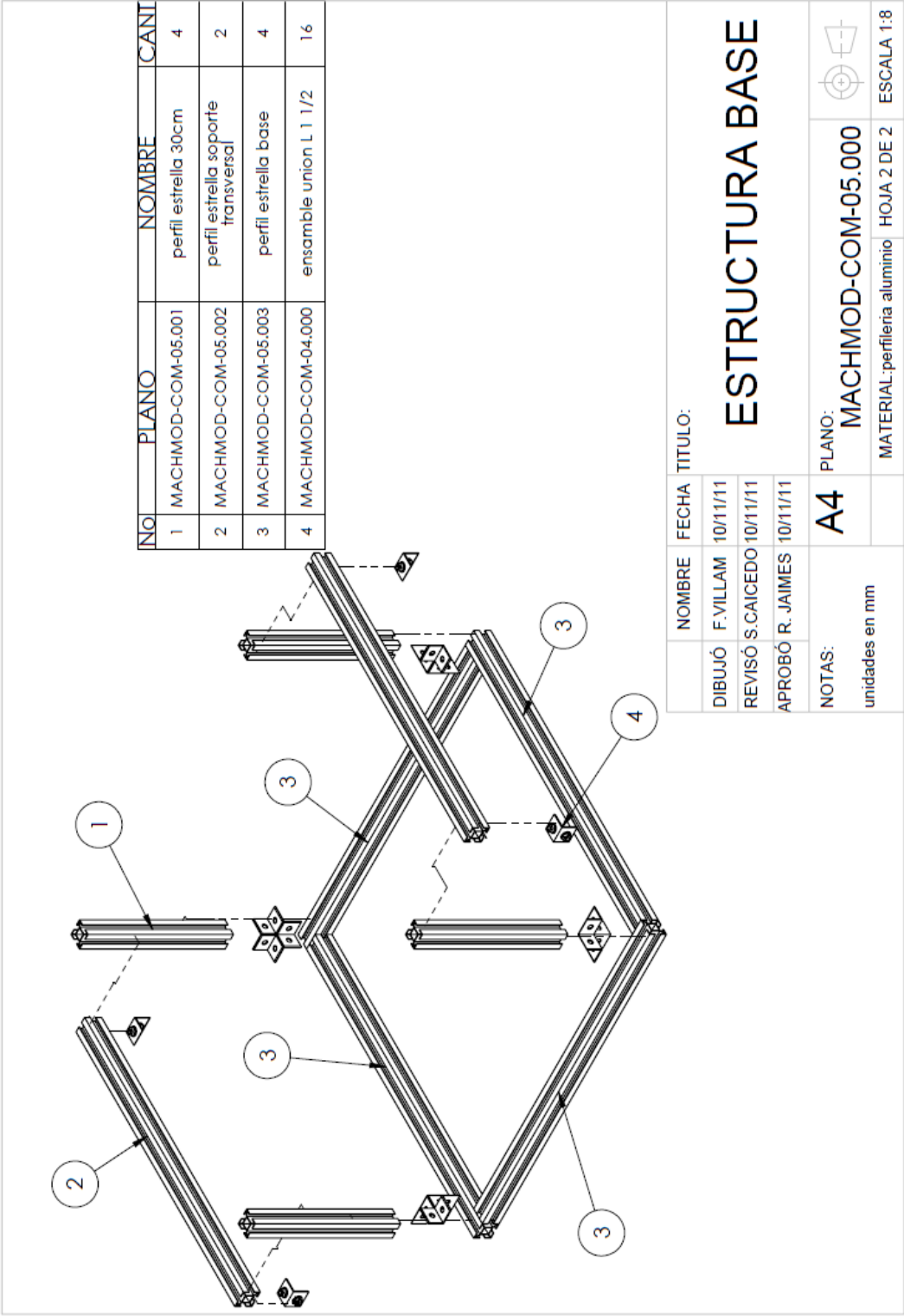


NOMBRE	FECHA	TITULO:
DIBUJÓ F. VILLAM	10/11/11	ENSAMBLE UNION L 1 1/2 IN
REVISÓ S. CAICEDO	10/11/11	
APROBÓ R. JAIMES	10/11/11	
NOTAS:	A4	PLANO: MACHMOD-COM-04.000
unidades en mm		MATERIAL: aluminio y acero
		HOJA 1 DE 1
		ESCALA 2:1



MODELO ISOMETRICO
ESCALA 1:20

NOMBRE		FECHA		TITULO:	
DIBUJÓ	F. VILLAM	10/11/11		ESTRUCTURA BASE	
REVISÓ	S. CAICEDO	10/11/11			
APROBÓ	R. JAIMES	10/11/11			
NOTAS:		A4		PLANO:	MACHMOD-COM-05.000
unidades en mm				MATERIAL:	perfiles aluminio
				HOJA	1 DE 2
				ESCALA	1:10



NO	PLANO	NOMBRE	CANTI
1	MACHMOD-COM-05.001	perfil estrella 30cm	4
2	MACHMOD-COM-05.002	perfil estrella soporte transversal	2
3	MACHMOD-COM-05.003	perfil estrella base	4
4	MACHMOD-COM-04.000	ensamble union L 1 1/2	16

NOMBRE: F.VILLAM
 FECHA: 10/11/11
 TITULO: ESTRUCTURA BASE

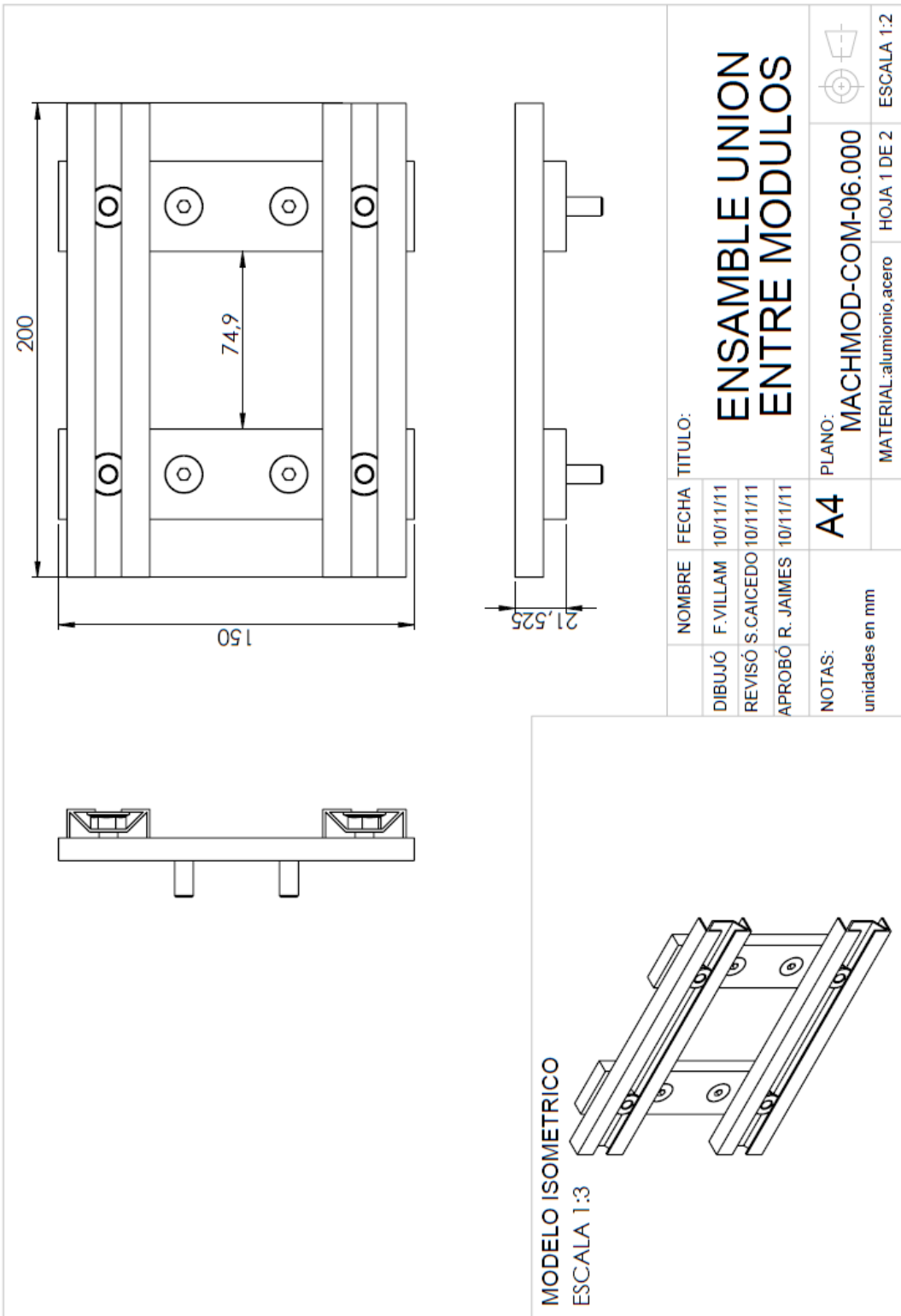
REVISÓ: S.CAICEDO
 FECHA: 10/11/11

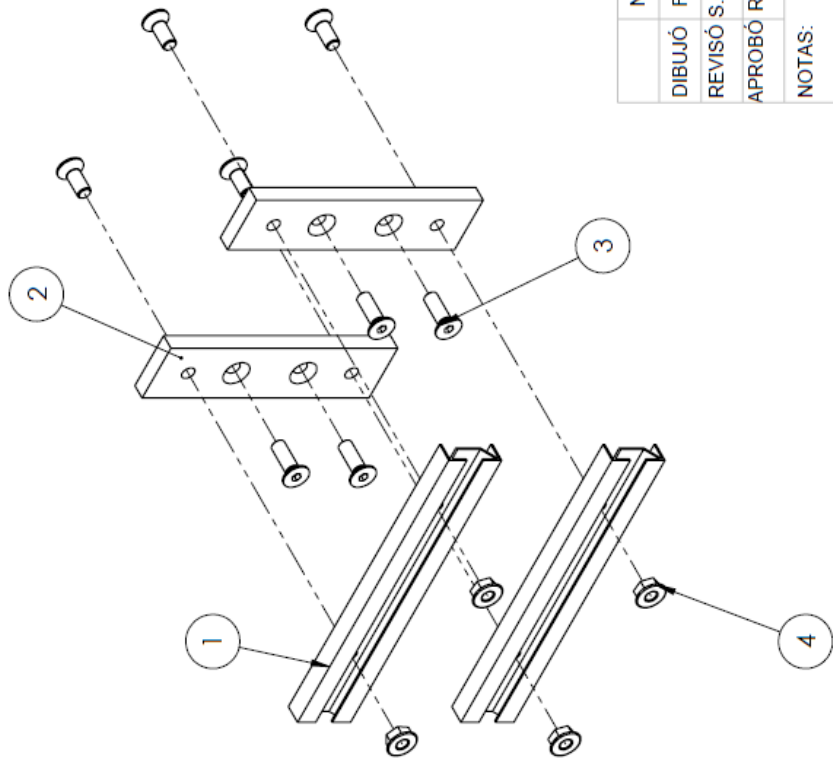
APROBÓ: R. JAIMES
 FECHA: 10/11/11

NOTAS:
 unidades en mm

A4

PLANO: MACHMOD-COM-05.000
 MATERIAL: perfilera aluminio
 HOJA 2 DE 2
 ESCALA 1:8





Nro	PLANO	NOMBRE	CANT
1	MACHMOD-COM-06.001	perfil media estrella union	2
2	MACHMOD-COM-06.002	placa union	2
3		tornillo avellanado bristol M8x25	8
4		tuerca M8 flange	4

TITULO:

ENSAMBLE UNION ENTRE MODULOS explosionado

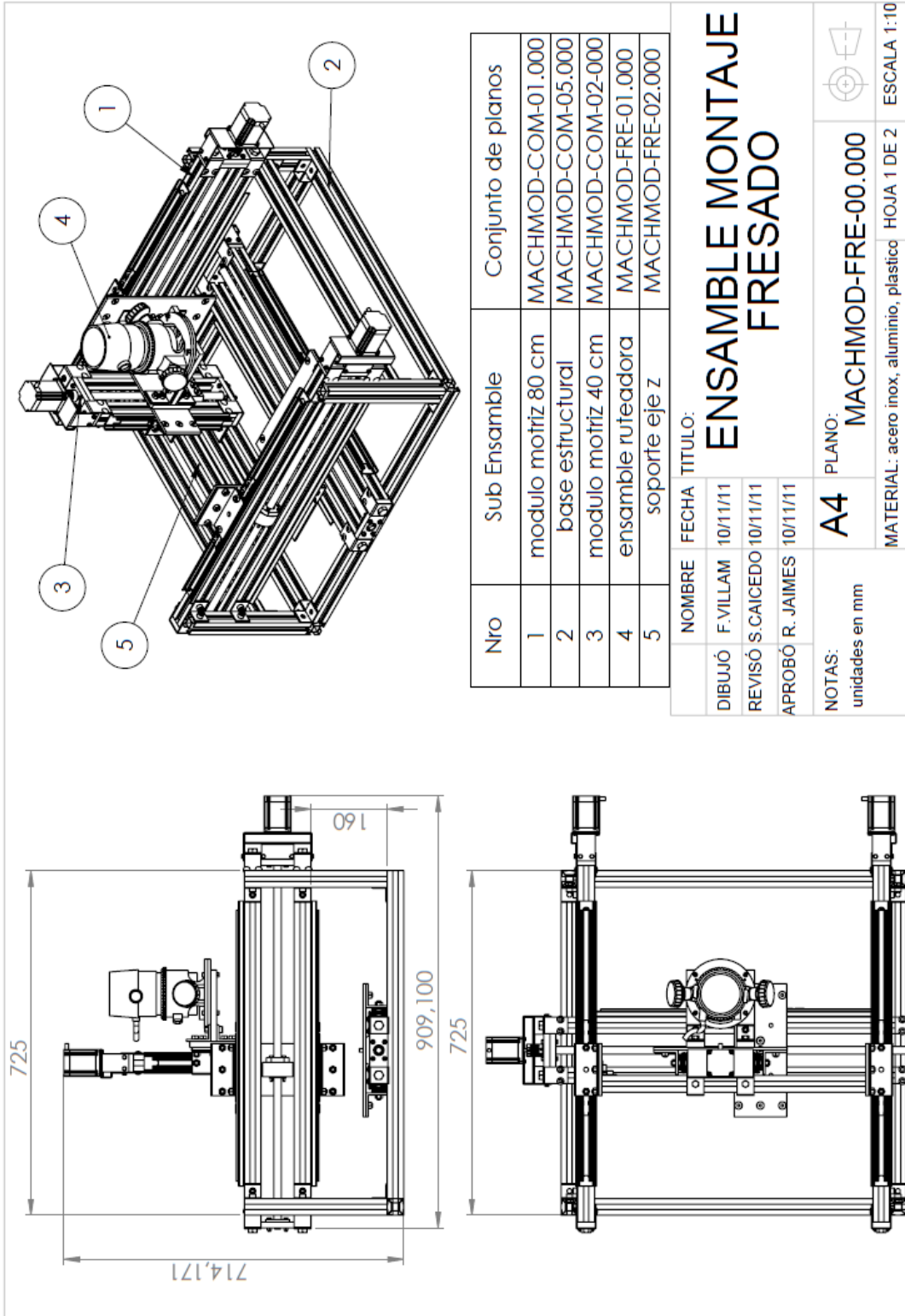
NOMBRE	FECHA
DIBUJÓ F. VILLAM	10/11/11
REVISÓ S. CAICEDO	10/11/11
APROBÓ R. JAIMES	10/11/11

NOTAS:

unidades en mm

PLANO: MACHMOD-COM-06.000	ESCALA 1:3
MATERIAL: aluminio	HOJA 2 DE 2



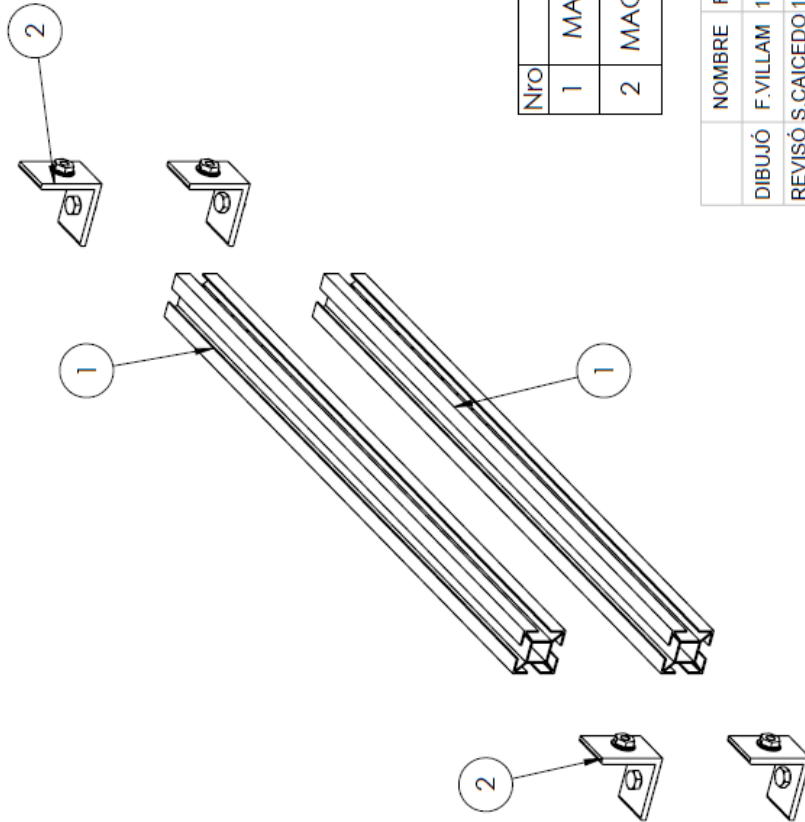


Nro	Sub Ensamble	Conjunto de planos
1	modulo motriz 80 cm	MACHMOD-COM-01.000
2	base estructural	MACHMOD-COM-05.000
3	modulo motriz 40 cm	MACHMOD-COM-02.000
4	ensamble ruteadora	MACHMOD-FRE-01.000
5	soporte eje z	MACHMOD-FRE-02.000

NOMBRE		FECHA		TITULO:	
DIBUJÓ	F. VILLAM	10/11/11		ENSAMBLE MONTAJE FRESADO	
REVISÓ	S. CAICEDO	10/11/11			
APROBÓ	R. JAIMES	10/11/11			
NOTAS: unidades en mm		A4		PLANO:	MACHMOD-FRE-00.000
				MATERIAL: acero inox, aluminio, plastico	HOJA 1 DE 2
					ESCALA 1:10

Nro	PLANO	NOMBRE	CANT.
1	MACHMOD-COM-01.000	Modulo motriz 80 cm	3
2	MACHMOD-COM-05.000	Estructura base	1
3	MACHMOD-COM-02.000	modulo motriz 40 cm	1
4	MACHMOD-FRE-01.000	ensamble rufeadora	1
5	MACHMOD-FRE-02.000	soporte eje z	1
6	MACHMOD-COM-03.000	ensamble union L 2x2 in	16
7	MACHMOD-COM-04.000	ensamble union L 1 1/2	8

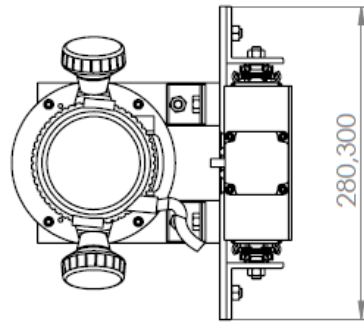
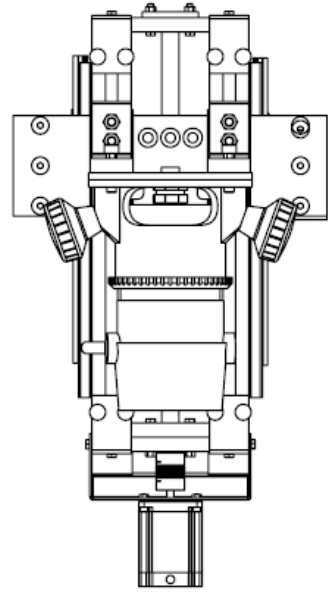
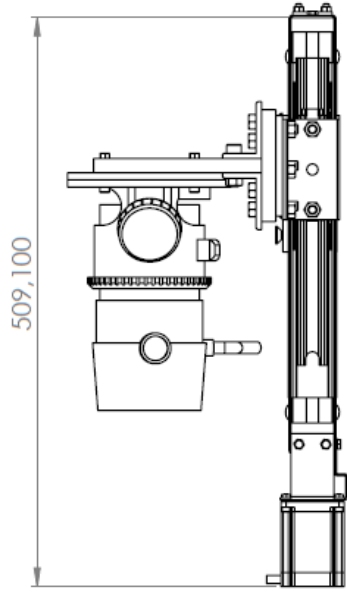
NOMBRE		FECHA	TITULO:
DIBUJÓ	F.VILLAM	10/11/11	ENSAMBLE MONTAJE FRESADO explosionado
REVISÓ	S.CAICEDO	10/11/11	
APROBÓ	R. JAIMES	10/11/11	
NOTAS:		A4	PLANO: MACHMOD-FRE-00.000
unidades en mm		MATERIAL: aluminio, plastico, acero inox	
		HOJA 2 DE 2	ESCALA 1:10



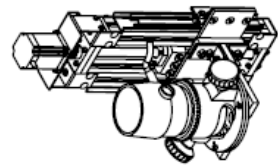
NFO	PLANO	NOMBRE	CANT
1	MACHMOD-FRE-02.001	perfil estrella soporte eje z	2
2	MACHMOD-COM-03.000	ensamble union L 2x2 in	4

NOMBRE		FECHA	TITULO:
DIBUJÓ	F. VILLAM	10/11/11	SOPORTE EJE Z
REVISÓ	S. CAICEDO	10/11/11	
APROBÓ	R. JAIMES	10/11/11	
NOTAS:		A4	PLANO:
unidades en mm			MACHMOD-FRE-02.000
			MATERIAL: aluminio, acero
			HOJA 1 DE 1
			ESCALA 1:4





MODELO ISOMETRICO
ESCALA 1:10



NOMBRE FECHA TITULO:

DIBUJÓ F. VILLAM 10/11/11
 REVISÓ S. CAICEDO 10/11/11
 APROBÓ R. JAIMES 10/11/11

ENSAMBLE RUTEADORA

NOTAS:
 unidades en mm

PLANO:
A4



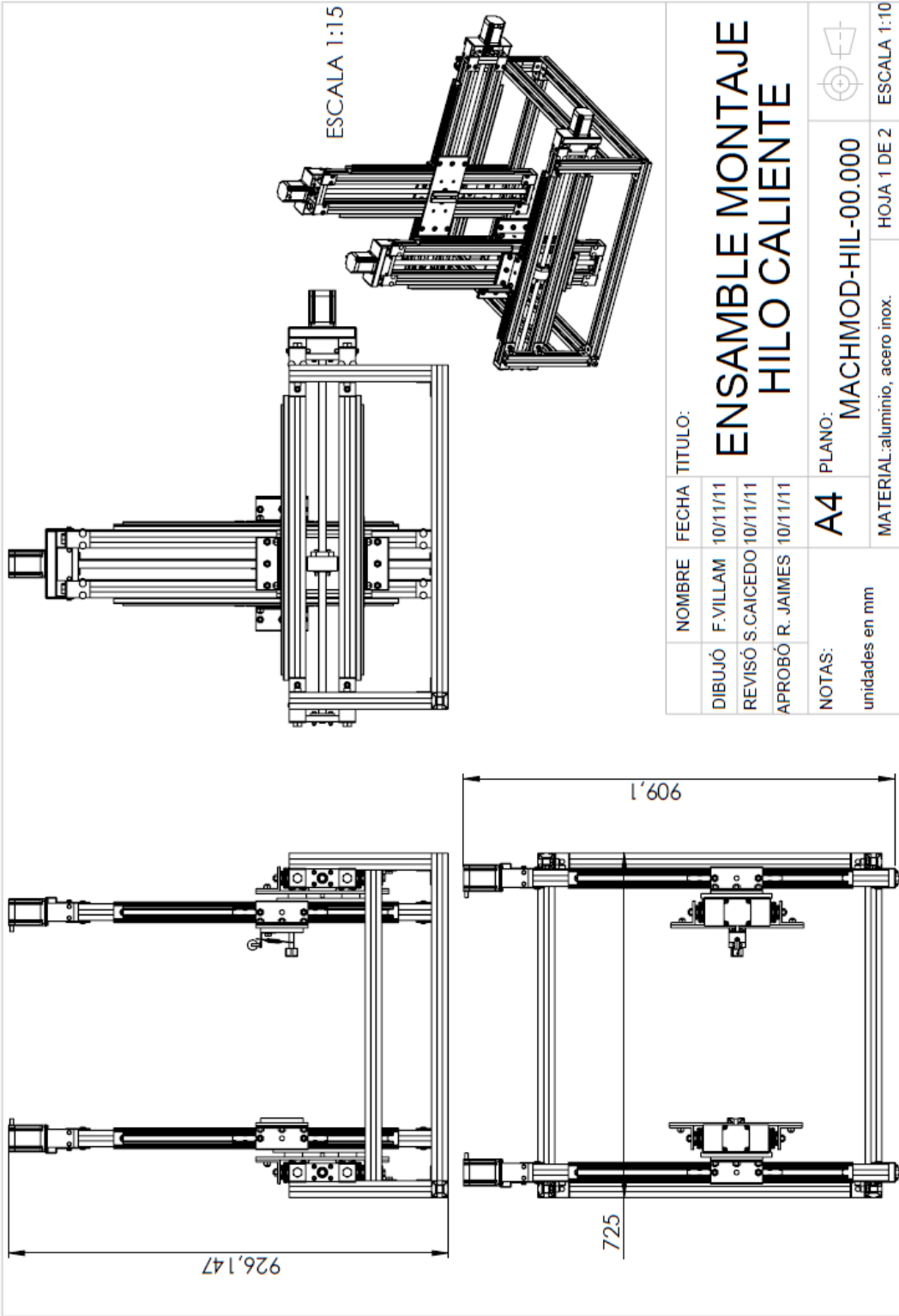
MACHMOD-FRE-01.000

MATERIAL: aluminio, acero inox, plastico HOJA 1 DE 2 ESCALA 1:5

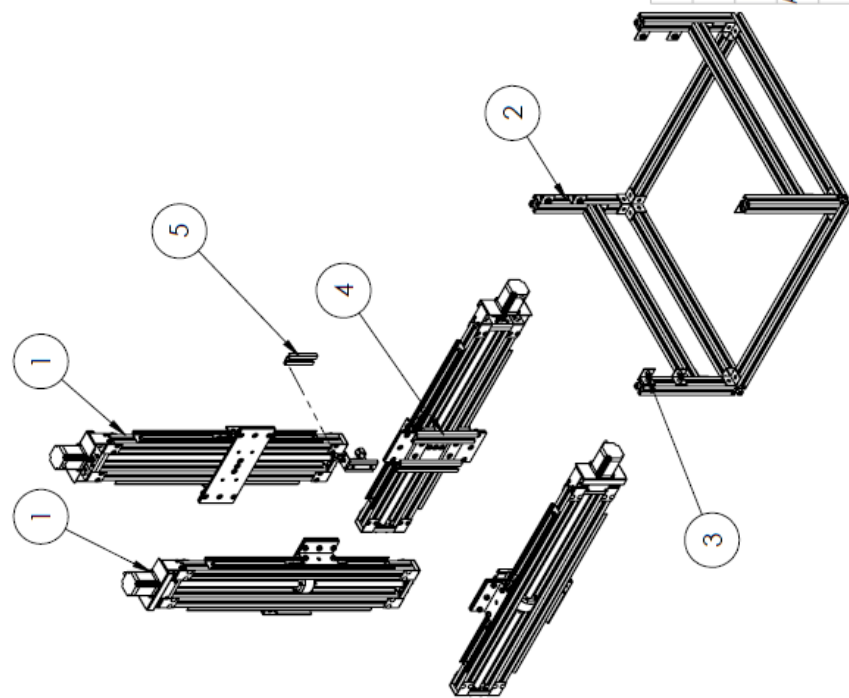
Nro	PLANO	NOMBRE	CANT
1	MACHMOD-COM-02.000	modulo matriz 40 cm ruteadora	1
2	MACHMOD-FRE-01.001	placa soporte ruteadora	1
3	MACH-FRE-01.002	placa ruteadora	2
4	MACHMOD-FRE-01.003	L soporte ruteadora	2
5		ornillo avellanado M8x30	4
6		tuerca M8	8
7		ornillo hexagonal M5x30	10
8		tuerca M5	4

NOMBRE		FECHA	TITULO:
DIBUJÓ	F.VILLAM	10/11/11	ENSAMBLE RUTEADORA explosionado
REVISÓ	S.CAICEDO	10/11/11	
APROBÓ	R. JAIMES	10/11/11	

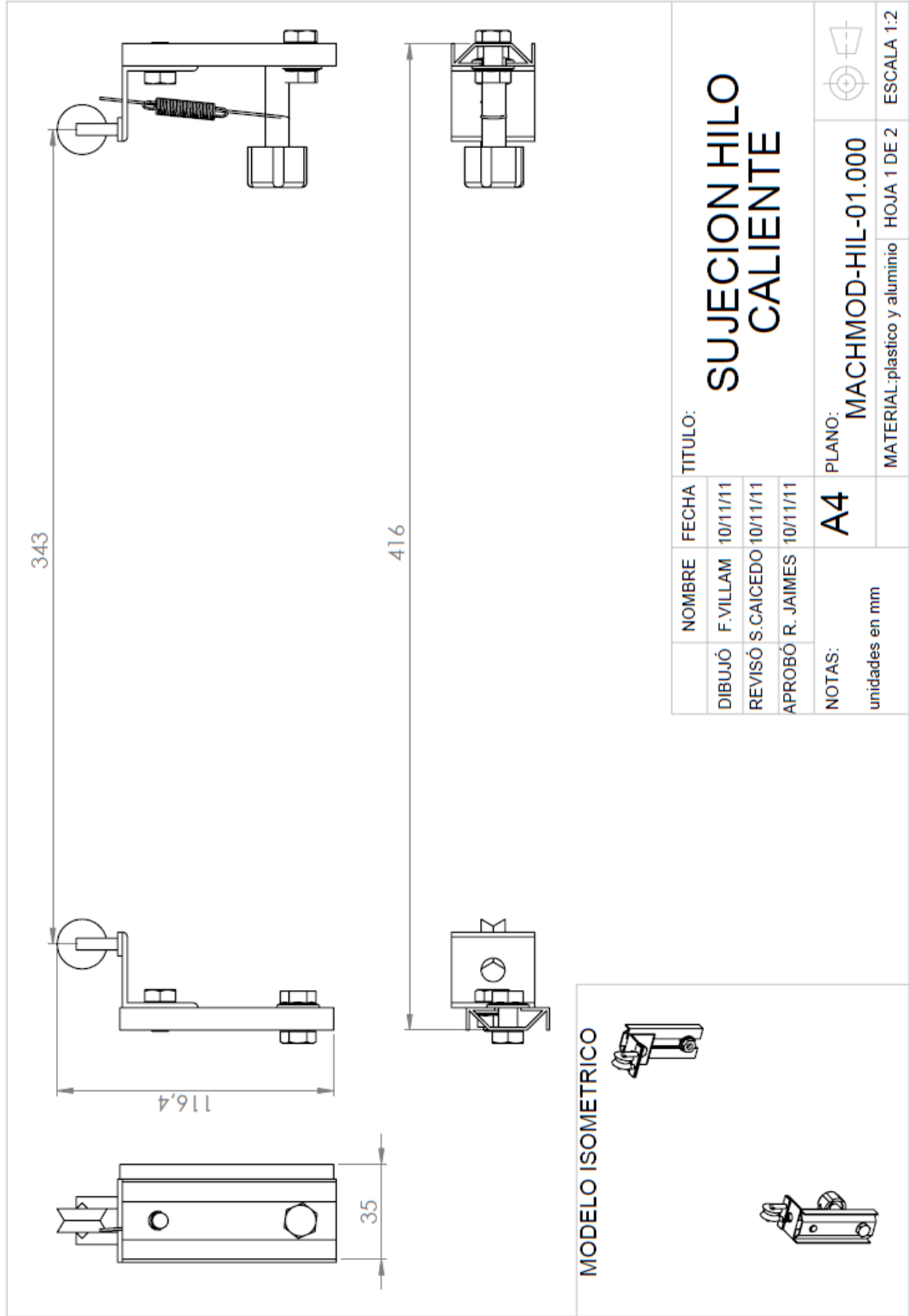
NOTAS:	A4	PLANO:	MACHMOD-FRE-01.000	
unidades en mm		MATERIAL:	aluminio, plastico, acero inox	ESCALA 1:4
			HOJA 2 DE 2	



Nro	PLANO	NOMBRE	CANT
1	MACHMOD-COM-01.000	modulo motriz 80 cm	4
2	MACHMOD-COM-05.000	estructura base	1
3	MACHMOD-COM-03.000	ensamble union L 2x2 in	8
4	MACHMOD-COM-06.000	ensamble union entre modulos	2
5	MACHMOD-HIL-01.000	sujeccion hilo caliente	1

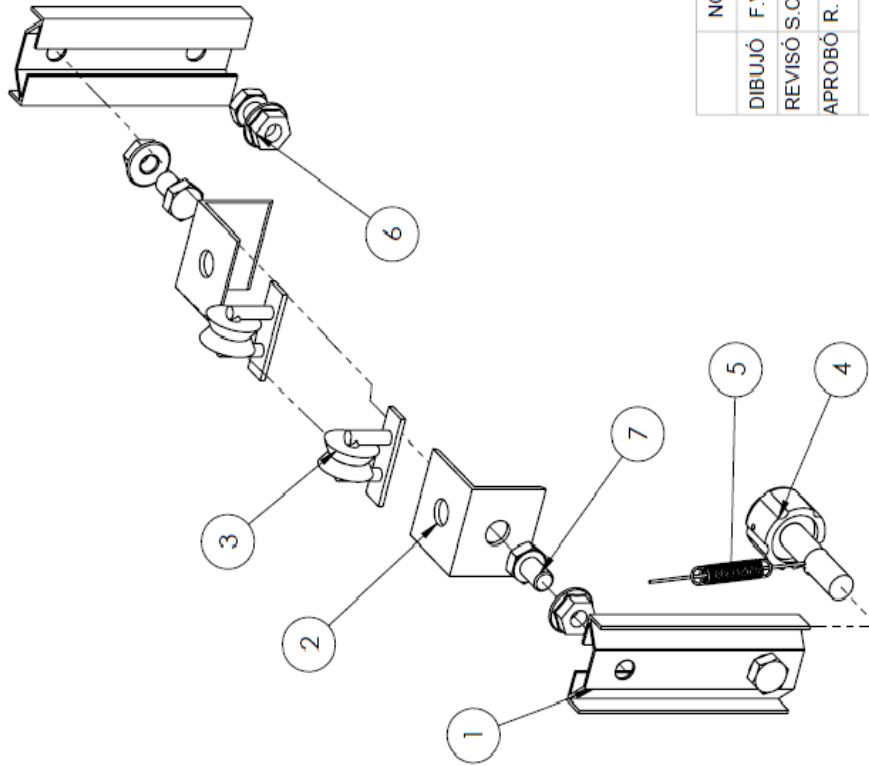


NOMBRE	FECHA	TITULO:
DIBUJÓ F. VILLAM	10/11/11	ENSAMBLE MONTAJE HILO CALIENTE explosionado
REVISÓ S. CAICEDO	10/11/11	
APROBÓ R. JAIMES	10/11/11	
NOTAS: unidades en mm	A4	PLANO: MACHMOD-HIL-00.000
	MATERIAL: aluminio, acero inox	HOJA 2 DE 2
		ESCALA 1:15



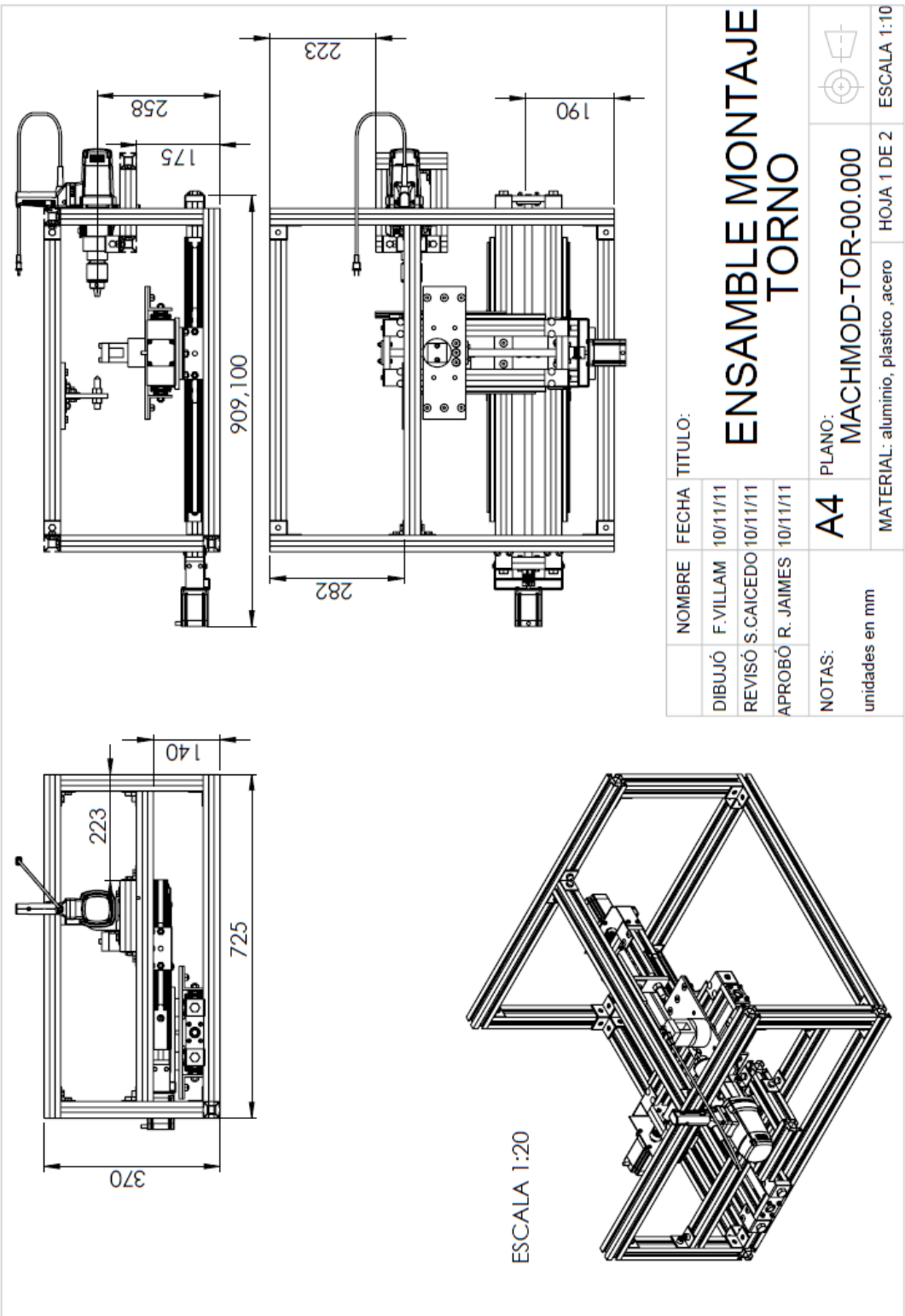
MODELO ISOMETRICO

NOMBRE		FECHA		TITULO:	
DIBUJÓ	F. VILLAM	10/11/11		SUJECION HILO CALIENTE	
REVISÓ	S. CAICEDO	10/11/11			
APROBÓ	R. JAIMES	10/11/11			
NOTAS:		A4		PLANO:	MACHMOD-HIL-01.000
unidades en mm				MATERIAL:	plastico y aluminio
				HOJA:	1 DE 2
				ESCALA:	1:2

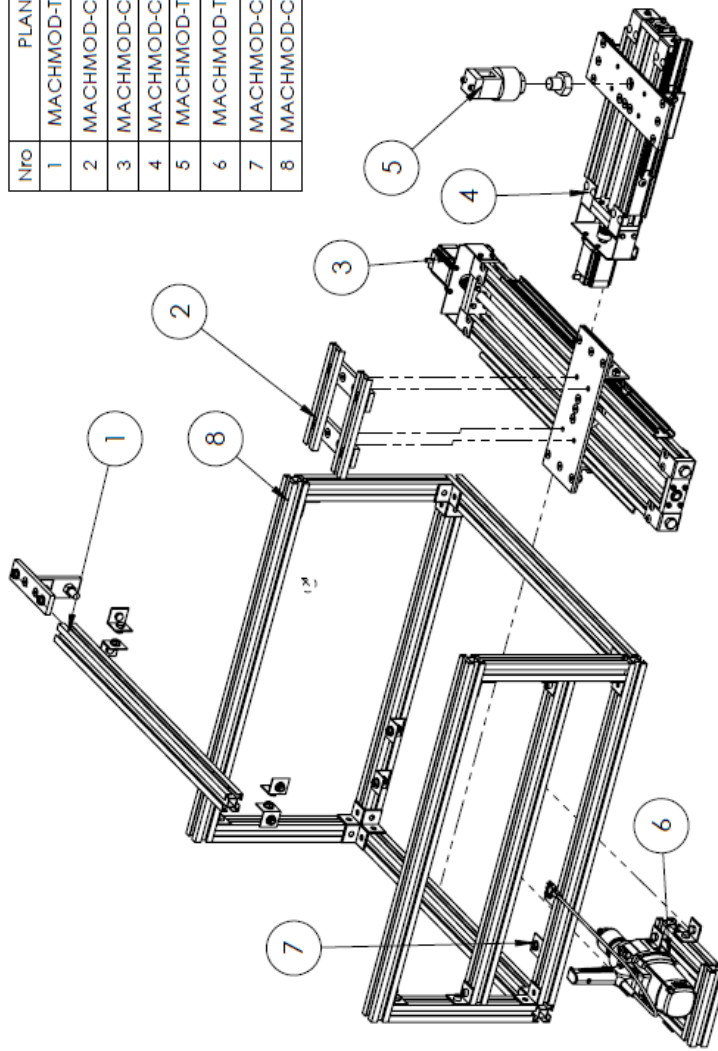


Nro	PLANO	NOMBRE	CANT
1	MACHMOD-HIL-01.001	media estrella S. hilo	2
2	MACHMOD-COM-04.000	union L 1 1/2	2
3	MACHMOD-HIL-01.002	polea	2
4		perilla	1
5	MACHMOD-HIL-01.003	resorte	1
6		tornillo hexagonal M8x10	4
7		tuerca M8 flange	4

NOMBRE		FECHA	TITULO:
DIBUJÓ	F.VILLAM	10/11/11	SUJECION HILO CALIENTE explosionado
REVISÓ	S.CAICEDO	10/11/11	
APROBÓ	R. JAIMES	10/11/11	
NOTAS:		A4	PLANO:
unidades en mm			MACHMOD-HIL-01.000
			MATERIAL: aluminio plastico
			HOJA 2 DE 2
			ESCALA 1:2

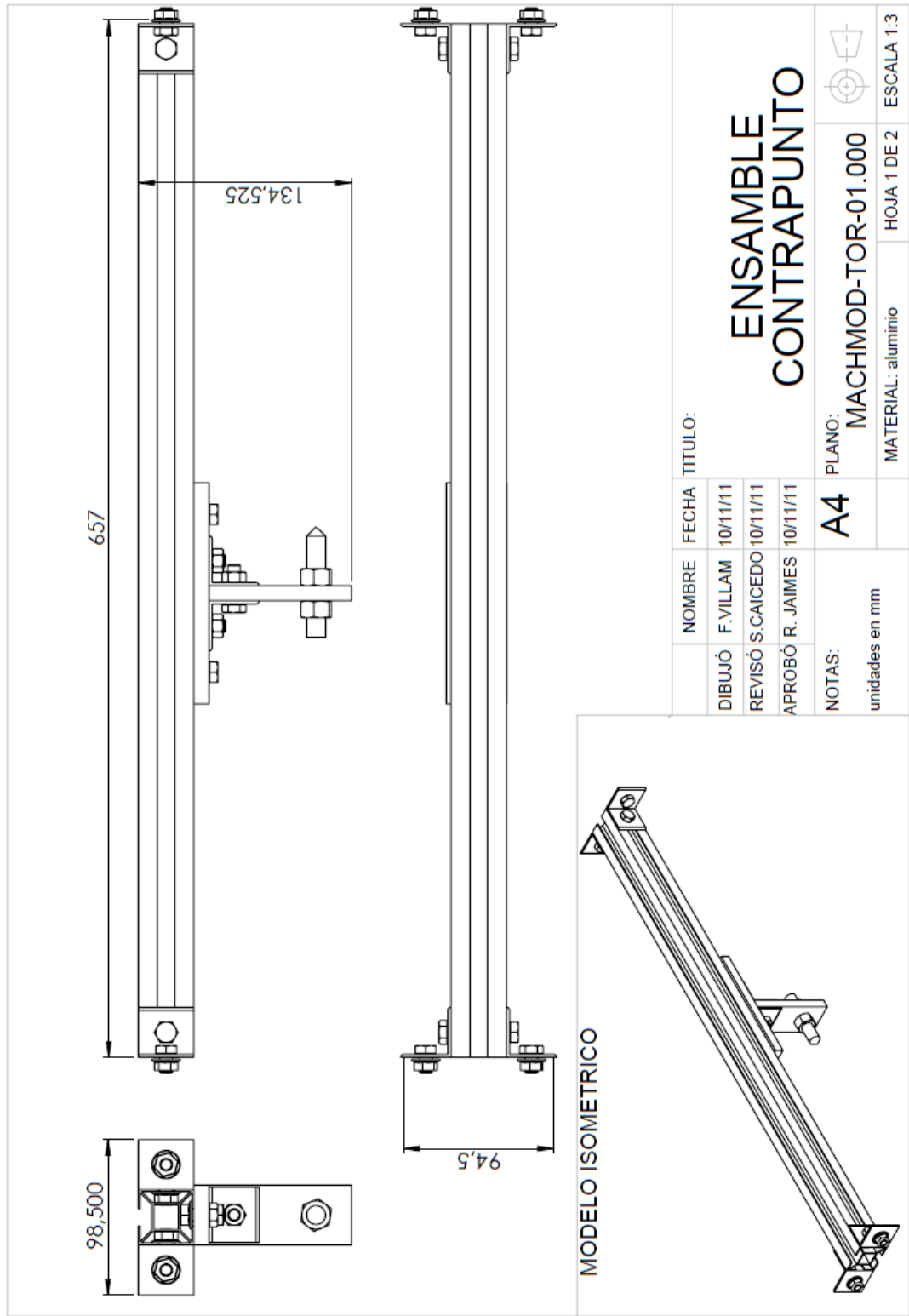


NOMBRE		FECHA		TITULO:	
DIBUJÓ	F. VILLAM	10/11/11		ENSAMBLE MONTAJE TORNO	
REVISÓ	S. CAICEDO	10/11/11			
APROBÓ	R. JAIMES	10/11/11			
NOTAS:		A4		PLANO:	MACHMOD-TOR-00.000
unidades en mm				MATERIAL:	aluminio, plastico ,acero
				HOJA	1 DE 2
				ESCALA	1:10



Nro	PLANO	NOMBRE	CANT
1	MACHMOD-TOR-01.000	ensamble contrapunto	1
2	MACHMOD-COM-06.000	ensamble union entre modulos	1
3	MACHMOD-COM-01.000	modulo motriz 80 cm	1
4	MACHMOD-COM-02.000	modulo motriz 40 cm	1
5	MACHMOD-TOR-02.000	porta buril	1
6	MACHMOD-TOR-03.000	ensamble soporte taladro	1
7	MACHMOD-COM-03.000	ensamble unio L 2x2 in	4
8	MACHMOD-COM-04.000	estructura base	1

NOMBRE		FECHA	TITULO:
DIBUJÓ	F.VILLAM	10/11/11	ENSAMBLE MONTAJE TORNO explosionado
REVISÓ	S.CAICEDO	10/11/11	
APROBÓ	R. JAIMES	10/11/11	
NOTAS:		A4	PLANO: MACHMOD-TOR-00.000
unidades en mm			MATERIAL: aluminio, plastico y acero
			HOJA 2 DE 2
			ESCALA 1:10

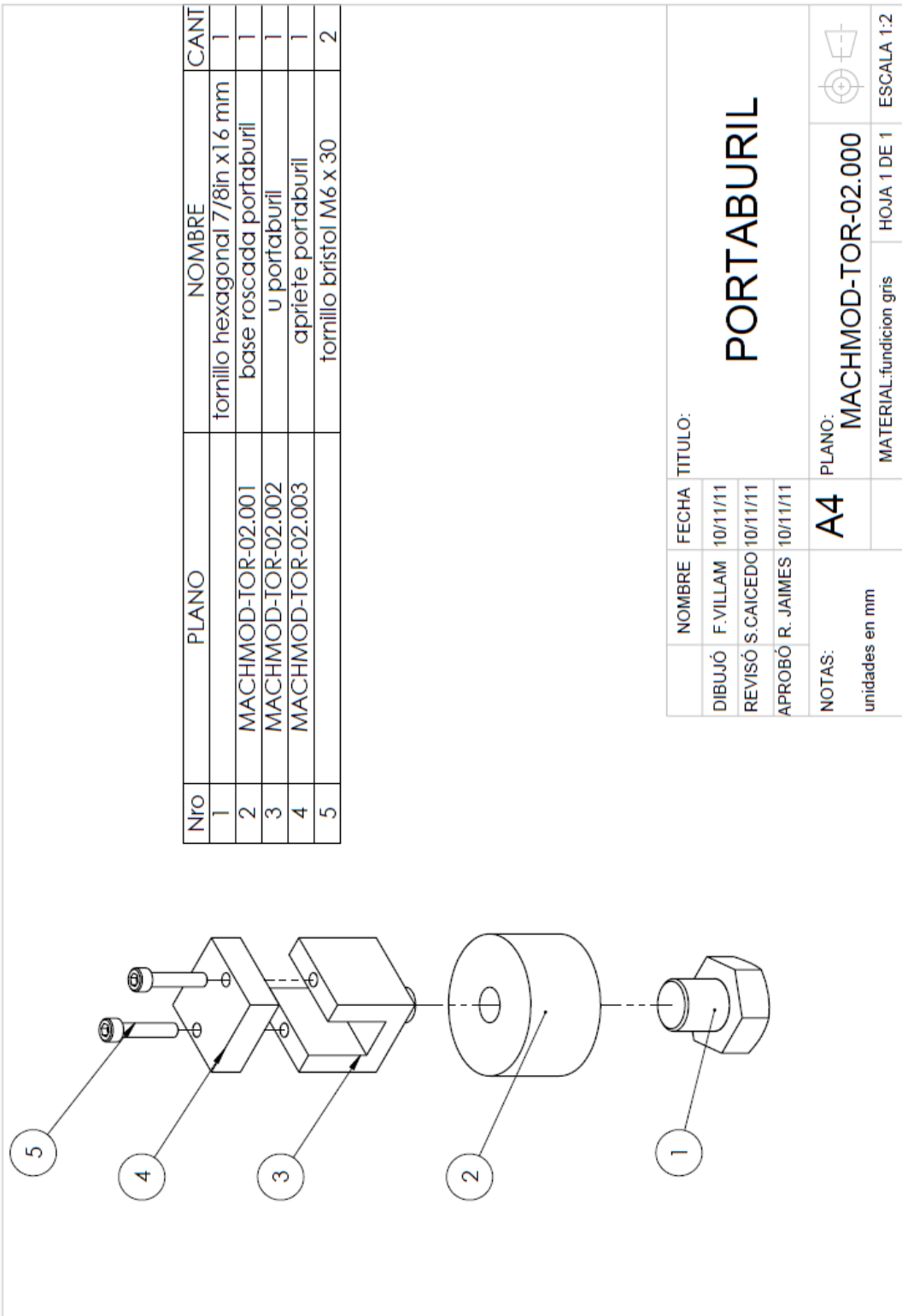


Nro	PLANO	NOMBRE	CANT
1	MACHMOD-TOR-01.001	perfil estrella contrapunto	1
2	MACHMOD-COM-04.000	ensamble union L 1 1/2	4
3	MACHMOD-TOR-01.002	placa contrapunto uno	1
4	MACHMOD-TOR-01.003	placa contrapunto dos	1
5	MACHMOD-TOR.004	contrapunto	1
6	MACHMOF-COM-04.001	union L 1 1/2	2
7		tuerca M8 flange	2
8		ornillo avellanado bistol M8 x 20	4
9		tuerca M12	2

NOMBRE		FECHA	TITULO:
DIBUJÓ	F.VILLAM	10/11/11	ENSAMBLE CONTRAPUNTO explosionado
REVISÓ	S.CAICEDO	10/11/11	
APROBÓ	R. JAIMES	10/11/11	

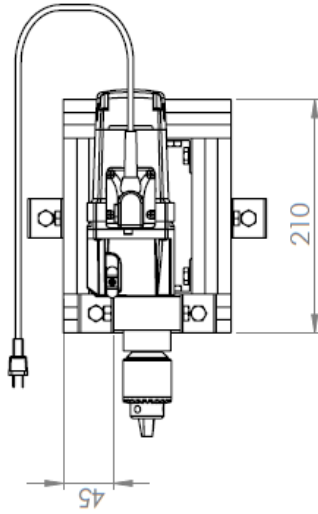
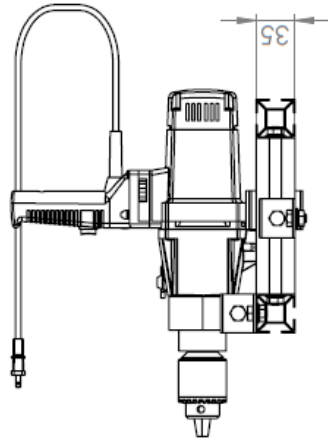
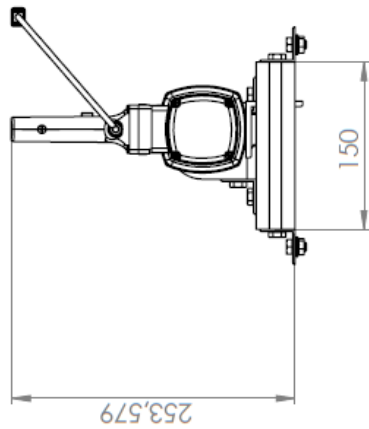
PLANO: **A4**
MACHMOD-TOR-01.000
 MATERIAL: aluminio y acero HOJA 2 DE 2 ESCALA 1:4

NOTAS:
 unidades en mm

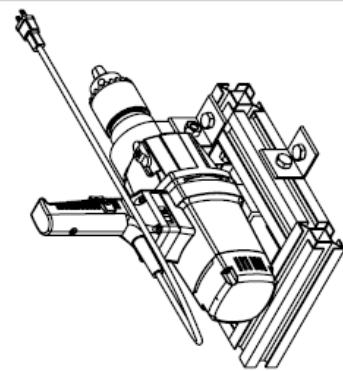


Nro	PLANO	NOMBRE	CANT
1		tornillo hexagonal 7/8in x16 mm	1
2	MACHMOD-TOR-02.001	base roscada portaburil	1
3	MACHMOD-TOR-02.002	u portaburil	1
4	MACHMOD-TOR-02.003	apriete portaburil	1
5		tornillo bristol M6 x 30	2

NOMBRE		FECHA		TITULO:	
DIBUJÓ	F. VILLAM	10/11/11		PORTABURIL	
REVISÓ	S. CAICEDO	10/11/11			
APROBÓ	R. JAIMES	10/11/11			
NOTAS:		A4		PLANO:	
unidades en mm				MACHMOD-TOR-02.000	
				MATERIAL: fundicion gris	
				HOJA 1 DE 1	
				ESCALA 1:2	



MODELO ISOMETRICO



NOMBRE		FECHA		TITULO:	
DIBUJÓ	F. VILLAM	10/11/11		ENSAMBLE SOPORTE TALADRO	
REVISÓ	S. CAICEDO	10/11/11			
APROBÓ	R. JAIMES	10/11/11			
NOTAS:		A4		PLANO:	MACHMOD-TOR-03.000
unidades en mm				MATERIAL:	aluminio
				HOJA	1 DE 2
				ESCALA	1:5



Nro	PLANO	NOMBRE	CANT
1		taladro	1
2	MACHMOD-TOR-03.001	perfil estrella taladro uno	2
3	MACHMOD-TOR-03.002	perfil estrella taladro dos	2
4	MACHMOC-COM-04.000	ensamble union L 1 1/2	8
5	MAHMOD-COM-03.001	angulo union 90 2'x2'	1
6	MACHMOD-TOR-03.003	sopORTE taladro	1
7		ornillo hexagonal M8x70	1
8		tuerca M8	1

NOMBRE	FECHA	TITULO:
DIBUJÓ F. VILLAM	10/11/11	ENSAMBLE SOPORTE TALADRO explosionado
REVISÓ S. CAICEDO	10/11/11	
APROBÓ R. JAIMES	10/11/11	

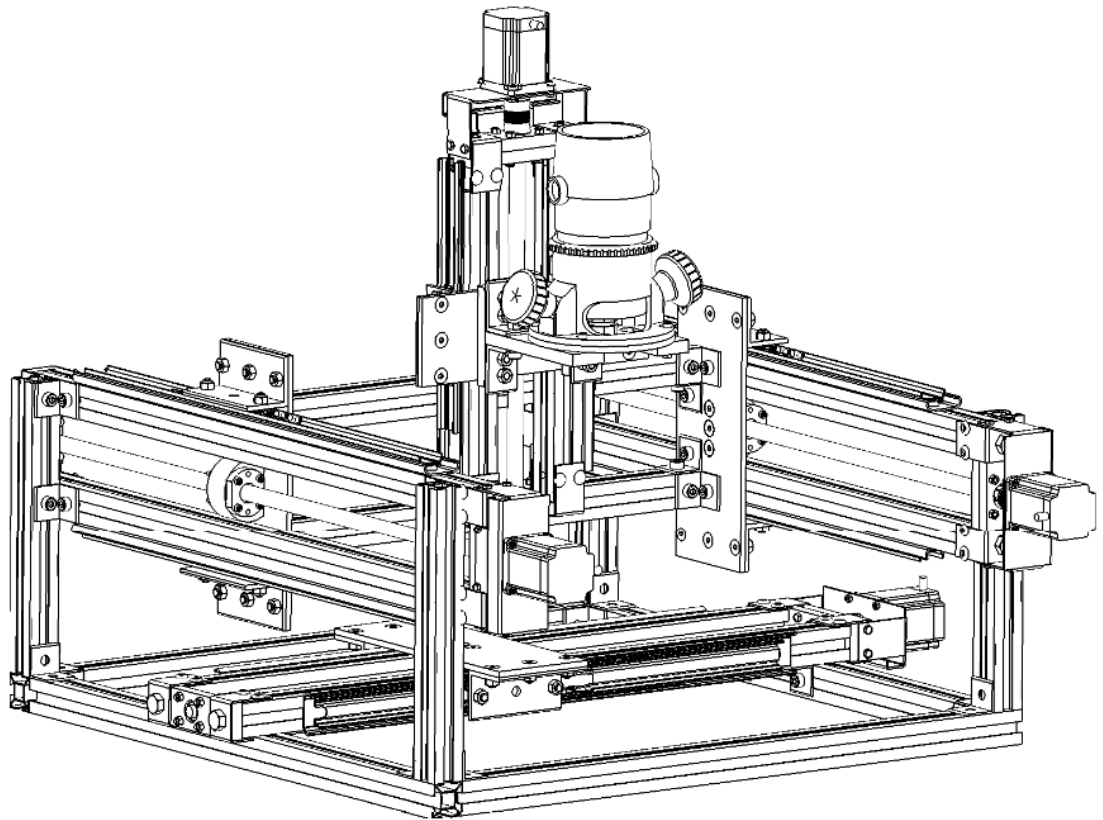
NOTAS:
unidades en mm

A4 PLANO: MACHMOD-TOR-03.000
MATERIAL: aluminio HOJA 2 DE 2 ESCALA 1:3

ANEXO L. MANUAL DEL USUARIO

sistema modular de mecanizado

MACH-MOB *sx*



MANUAL DEL USUARIO

CONTENIDO

	Página.
PRECAUCIONES IMPORTANTES	3
RECOMENDACIONES DE USO	3
ANTES DE COMENZAR	4
COMPONENTES DEL SISTEMA MODULAR	5
MONTAJE	9
Fresa	9
torno	16
Hilo caliente	23
Del sistema de control	28
COMO USAR EL SISTEMA DE CONTROL	29
Instalación del mach 3	29
Configuración de los pines del LPT del PC	30
COMO USAR EL SOFTWARE PARA FRESADO	34
COMO USAR EL SOFTWARE PARA TORNEADO	35
COMO USAR EL SOFTWARE PARA CORTE DE HILO CALIENTE 2D	36

PRECAUCIONES IMPORTANTES

- Es importantísimo antes de cualquier puesta en funcionamiento, verificar que las conexiones eléctricas tanto de los motores paso a paso, como de los finales de carrera, y como de las entradas y salidas de la tarjeta de potencia se encuentren correctamente conectadas. De lo contrario realizar la corrección del problema.
- Realizar lubricado graso tanto en los tornillos de bolas re circulantes, como en los rieles de extensión que se encuentran a los laterales de los módulos motrices del conjunto del sistema modular.
- La fuente con la que cuenta el sistema modular debe ser alimentada a 110 V o 220 V según la posición del interruptor que se encuentra en el lateral de la fuente eléctrica.

RECOMENDACIONES DE USO

- Es necesario que el sistema se controle por medio de unidades de PC de escritorio preferiblemente, pues se necesita de un puerto paralelo de 25 pines para el control de los diferentes dispositivos con los que cuenta en sistema modular.(para saber la configuración de los pines del puerto paralelo a modo de configurar el software recomendado mach 3 ver: Configuración de los pines de los diferentes puertos, en unos capítulos más adelante)
- El volumen de mecanizado posible por el sistema modular esta dado según el montaje que se configure según se muestra en capítulos más adelante ver: montajes de mecanizado posible.
- Asegurar cada uno de los montajes sobre una base sólida para evitar vibraciones ocasionadas por la remoción de material en el proceso de mecanizado.

ANTES DE COMENZAR

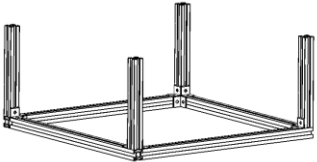
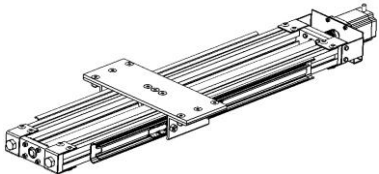
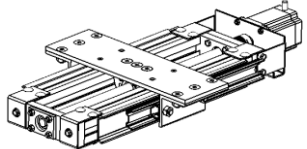
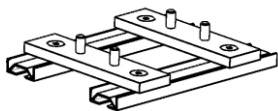
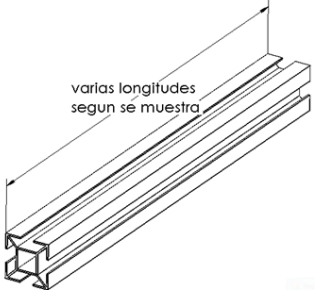

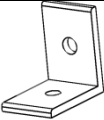
Es importante identificar que elementos y en qué cantidad se encuentran disponibles partes o sub ensamblajes dentro del sistema modular de mecanizado MACH-MOD y que tipos de mecanizado pueden ser configurados con cierto número de componentes.

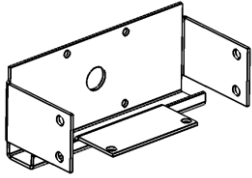
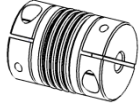

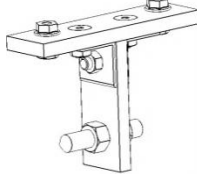
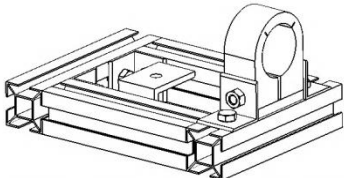
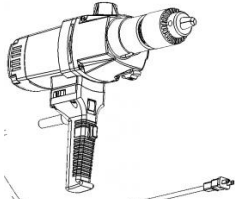
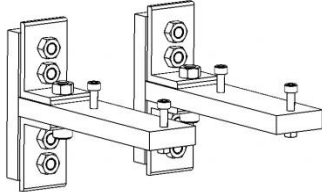
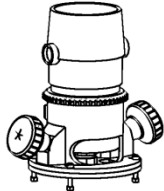
El sistema modular de mecanizado cuenta con la disponibilidad de ser configurado de muchas maneras según sea la necesidad del usuario, pero en este manual extendemos la configuración de torneado, fresado y corte de hilo caliente de icopor en 4 ejes o 2 ejes. E igualmente se presentan en cada uno de los siguientes capítulos, los volúmenes de mecanizado disponibles según el montaje.

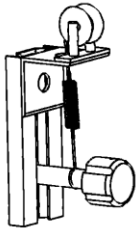

Como se muestra a continuación:

COMPONENTES DEL SISTEMA MODULAR

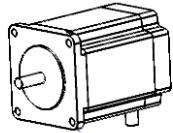

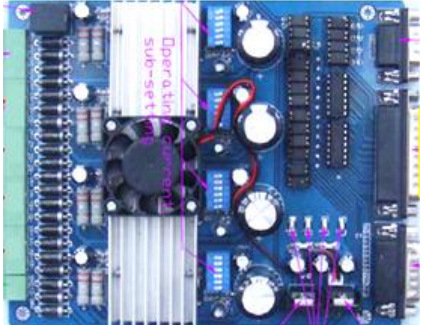
- Del sistema físico modular


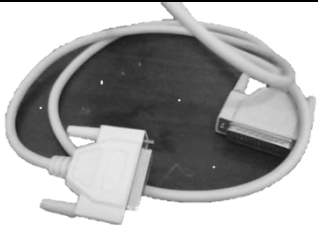


UNI	COMPONENTES	DESCRIPCION	IMAGEN
1	Estructura base	Para el montaje de los diferentes estilos de mecanizado	
4	Módulos motrices	80 cm	
1		40 cm	
2	Unión entre módulos sobrepuestos	Soporte inferior para la unión entre módulos	
4	Perfilería estrella	69 cm y 30 cm para conformar la estructura base	
2		72.5 cm para soporte del contrapunto	
2		65.5 cm para soporte transversal de la estructura en todos los montajes de mecanizado	
2		55.5 cm para soporte z de la ruteadora en el montaje de fresa	
40	Ángulos 90° de aluminio	1 ½ x 1 ½ in	
24		2 x 2 in	

4	Soportes de motores paso a paso	Para cada uno de los 4 motores que posee el sistema modular	
4	acoples	Para cada uno de los 4 motores que posee el sistema modular 6 x 12 mm	
1	porta buril	Para el montaje de torno	
1	contrapunto	Puesto en riel de estrella de 65.5 cm	
1	Soporte taladro	Para el montaje de torno	
1	Taladro (no incluido)	Para el montaje de torno	
1	Soporte para ruteadora	Para el montaje de fresadora	
1	Ruteadora (no incluido)	Para el montaje de fresadora	

2	Soportes para hilo	Mediante este sistema se garantiza la tensión en el corte de hilo caliente		
100	Tuercas	M8 flange		
100	tornillería	Hexagonal	M8x10mm	
20		Hexagonal	M12x50mm	
50		Bristol button	M8x10mm	
4		Bristol	M5x30mm	
8		Bristol avellanado	M8 x 30mm	
45			M8 x 20mm	

- Del sistema de control

UNI	COMPONENTE	DESCRIPCION	IMAGEN
4	Motores paso a paso	Nema 23	
6	Finales de carrera	2 para cada eje coordinado en cada extremo	
1	Tarjeta de potencia	Para el control del suministro de corriente de los motores paso a paso	

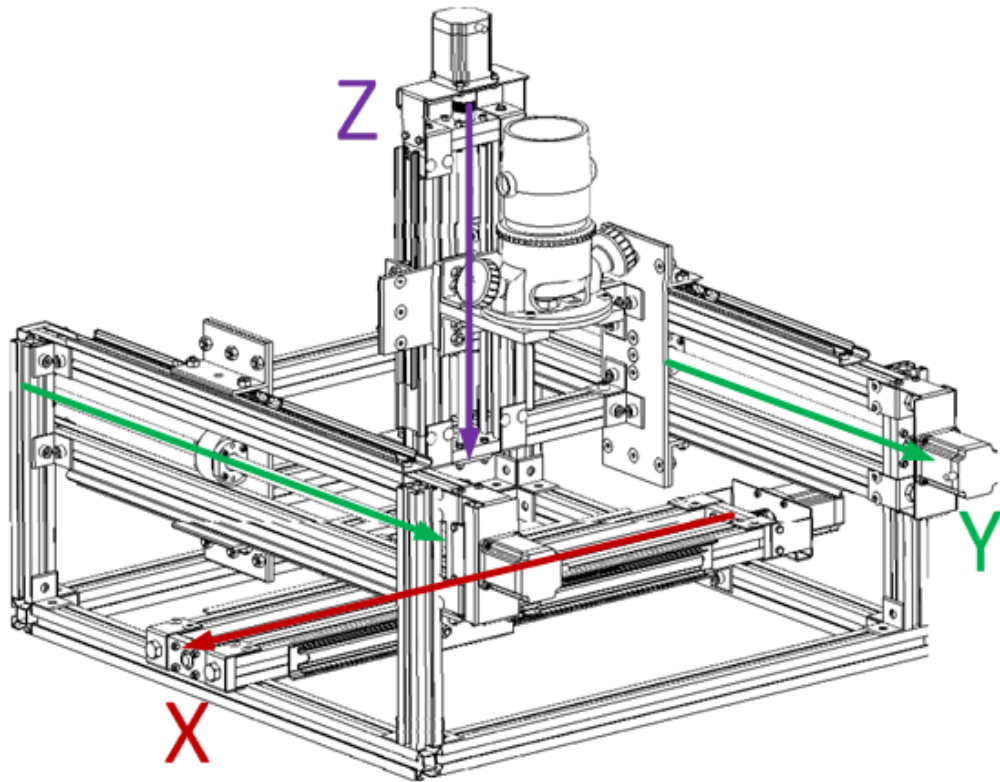
1	Fuente eléctrica regulada 24 v	Para la alimentación de la tarjeta de potencia de los motores paso a paso	
1	Cable paralelo	Para la conexión de la tarjeta de potencia al puerto paralelo del PC	
4	Cables de extensión	Para los motores paso a paso	
1	Computador	(No disponible)	

MONTAJE

Herramientas necesarias para en ensamble

Llaves para ensamblaje de tornillos	Llaves brístol	M4 a M8
	Llaves hexagonales	½ in a 1 ½ in
lubricantes	Tornillos bolas y tuerca	Grasa fluida semi líquida skf System 24
	Rieles y demás partes	Siliconas líquidas o afines

✦ PARA FRESADO



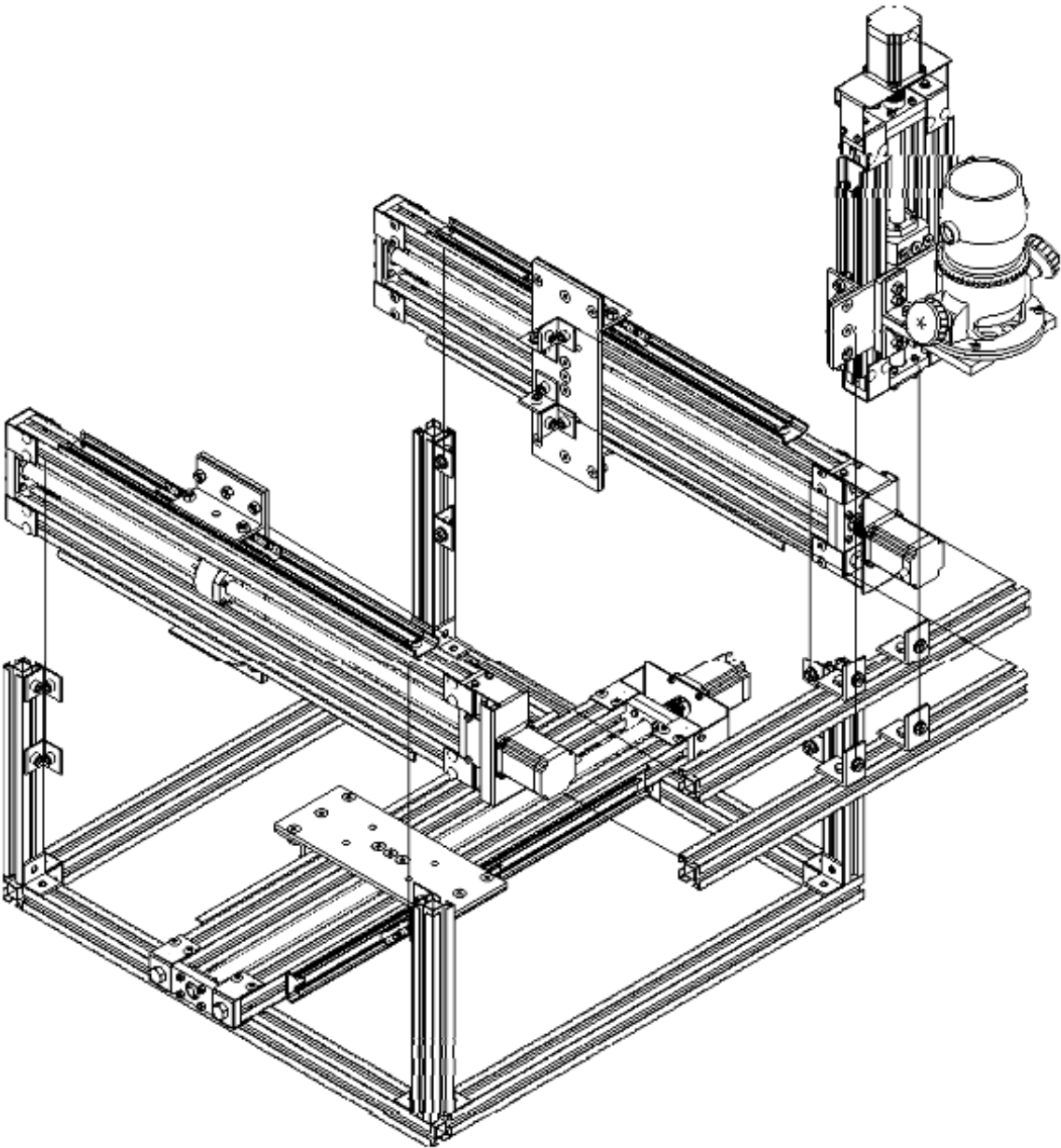
Las dimensiones dentro de las cuales se puede hacer mecanizado con fresado son:

X: 55 cm

Y: 70 cm

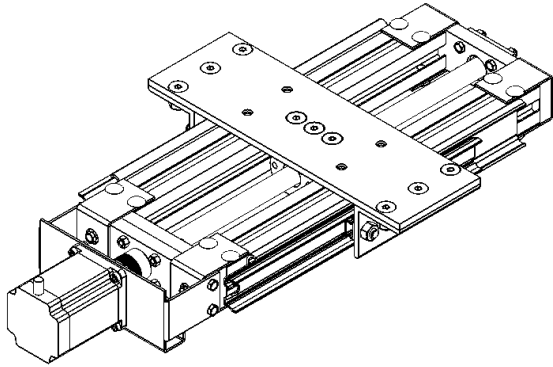
Z: 30 cm

Vista explosionada

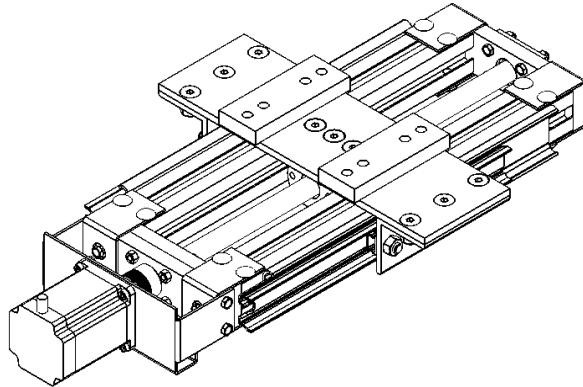


Pasos del montaje

PASO 1: tomar el montaje de 40 cm

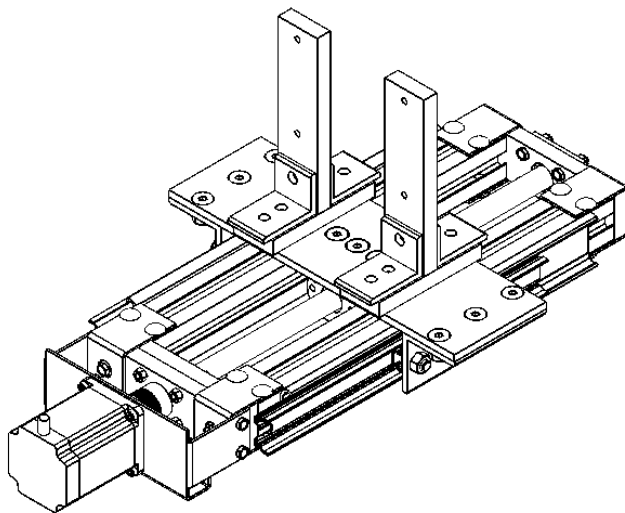


PASO 2: Colocar el soporte de la ruteadora empezando por las placas

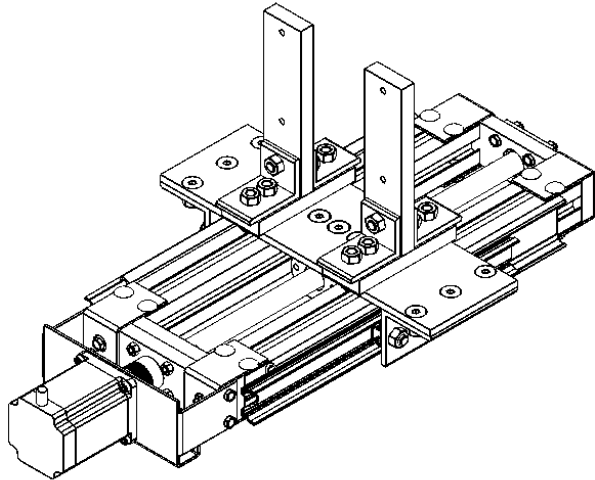


mostradas

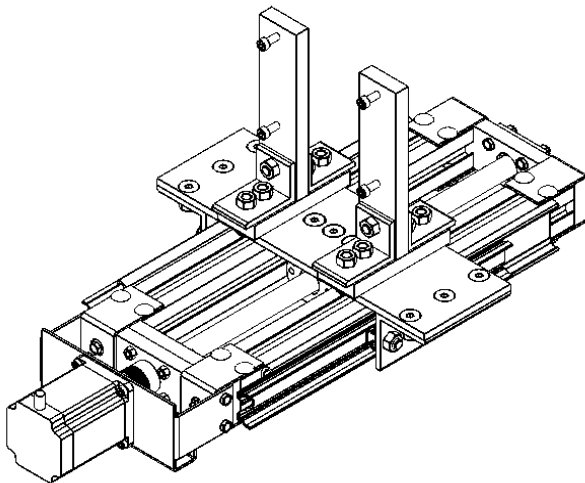
PASO 3: montaje de las placas perpendiculares de 14cm con los perfiles de aluminio



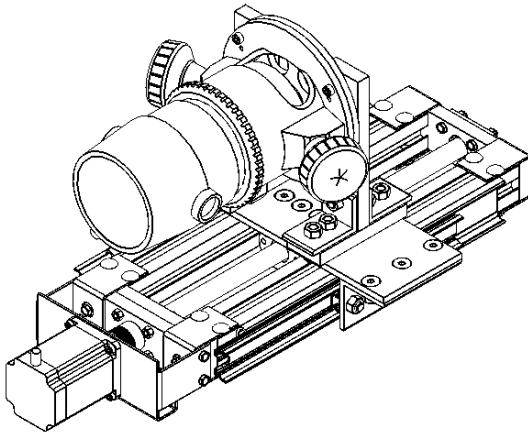
PASO 4: colocar la tornillería y tuercas



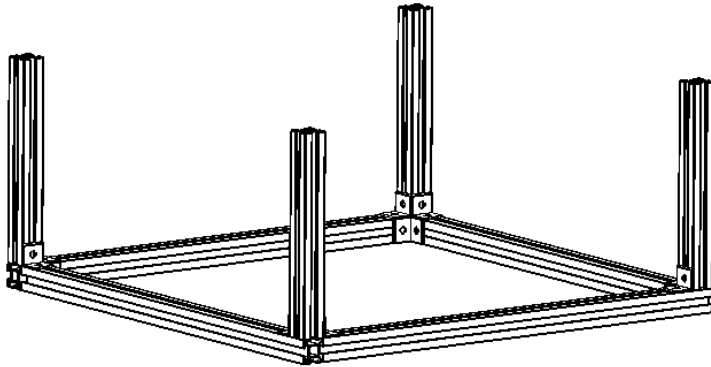
PASO 5: colocar los tornillos que sujetan la ruteadora



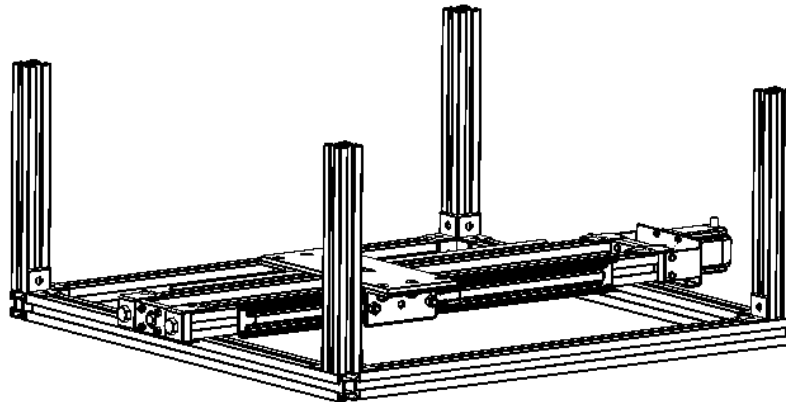
PASO 6: ensamblar la ruteadora



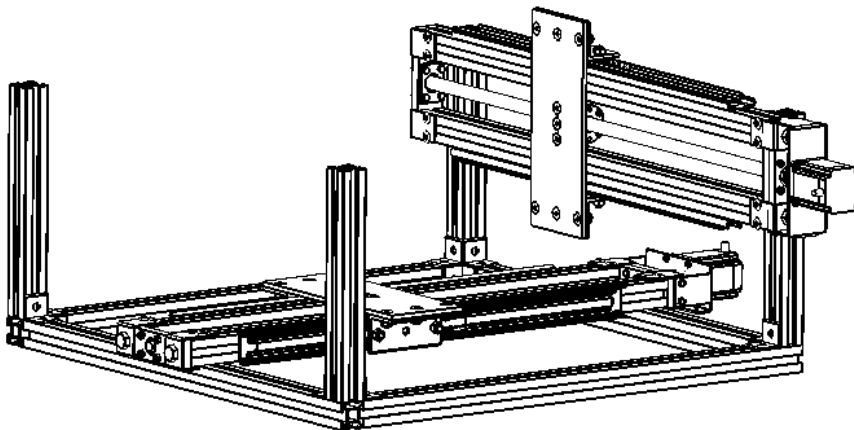
PASO 7: tomar la estructura



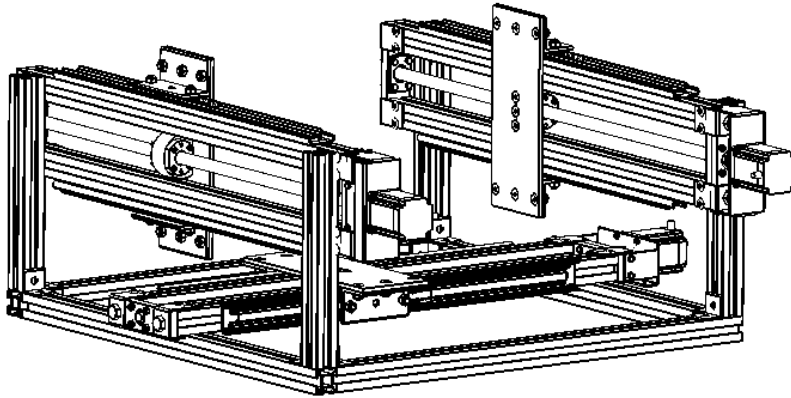
PASO 8: montaje del módulo de 80 cm con ayuda de las L de 2 in



PASO 9: montaje de un módulo de 80 cm en los perfiles verticales

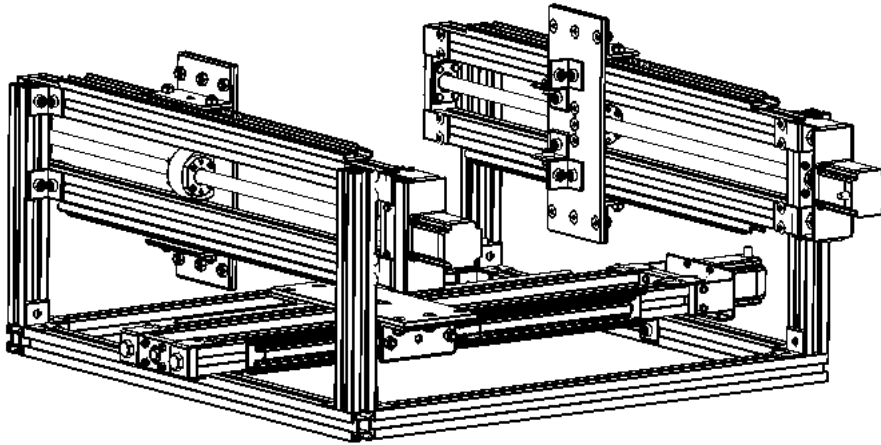


PASO 10: colocar el otro módulo de 80

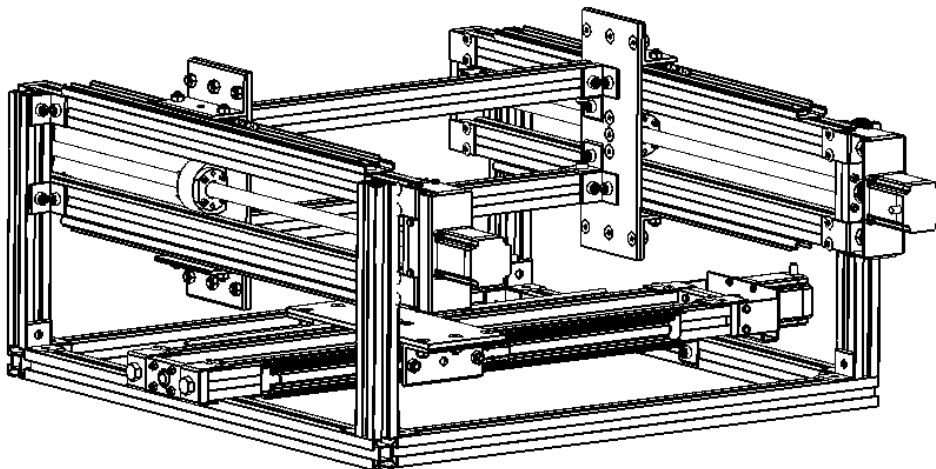


cm

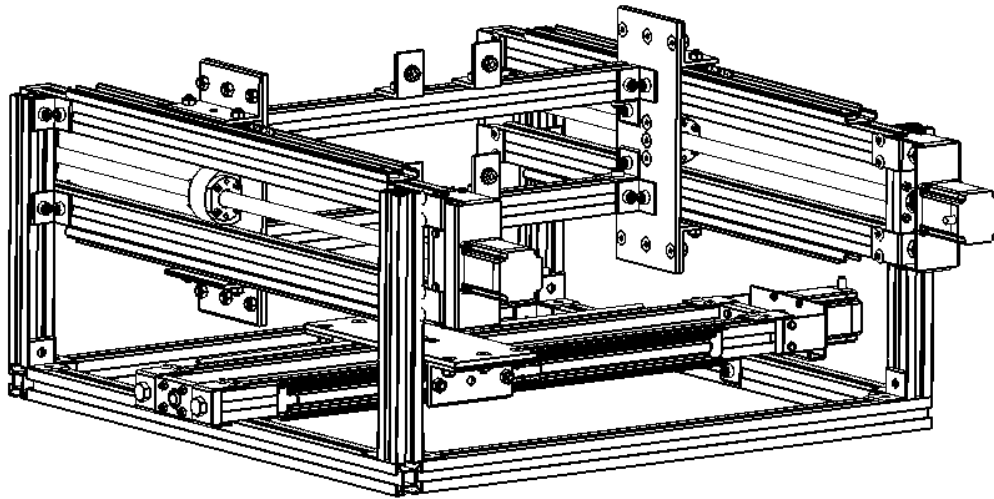
PASO 11: colocar las L de 1 1/2in para montar el eje z del montaje de la ruteadora



PASO 12: ensamblado de los perfiles de 55.5 cm que soportaran el módulo de 40 cm eje Z

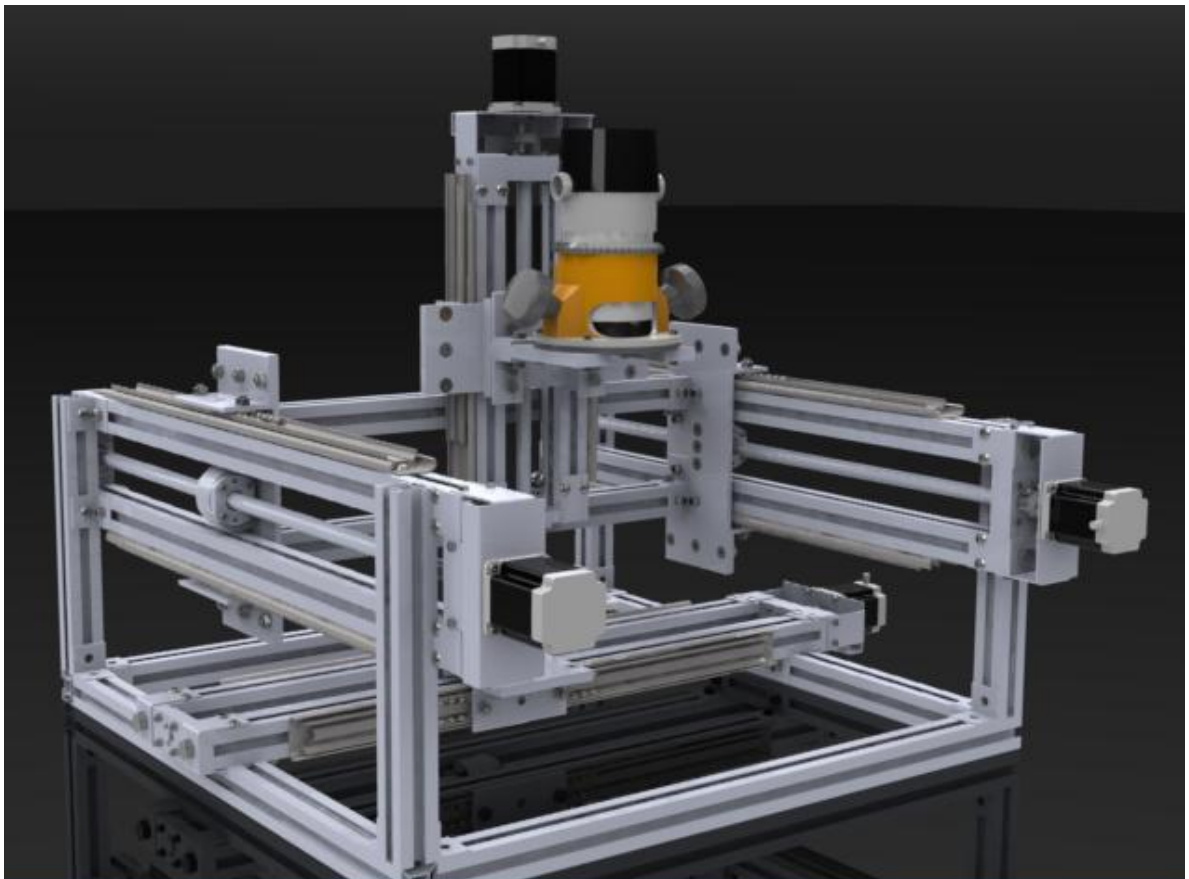


PASO 13: perfiles en L para la sujeción del módulo de 40

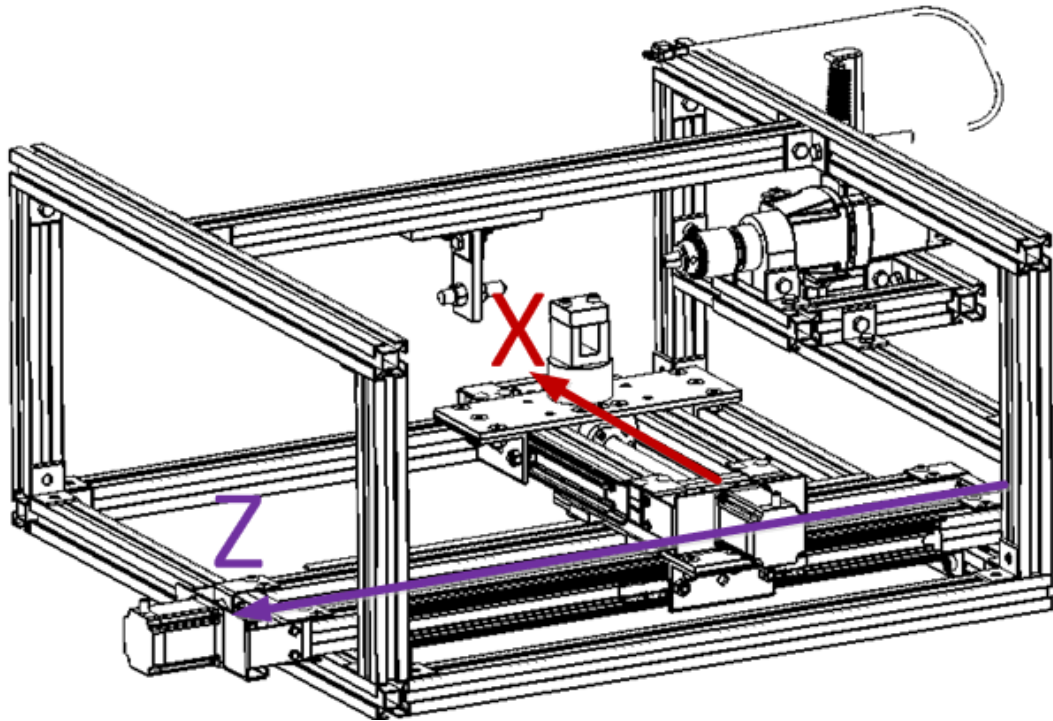


cm

PASO 14: colocando finalmente el modulo junto con la ruteadora como se mostró anteriormente



✦ PARA TORNEADO



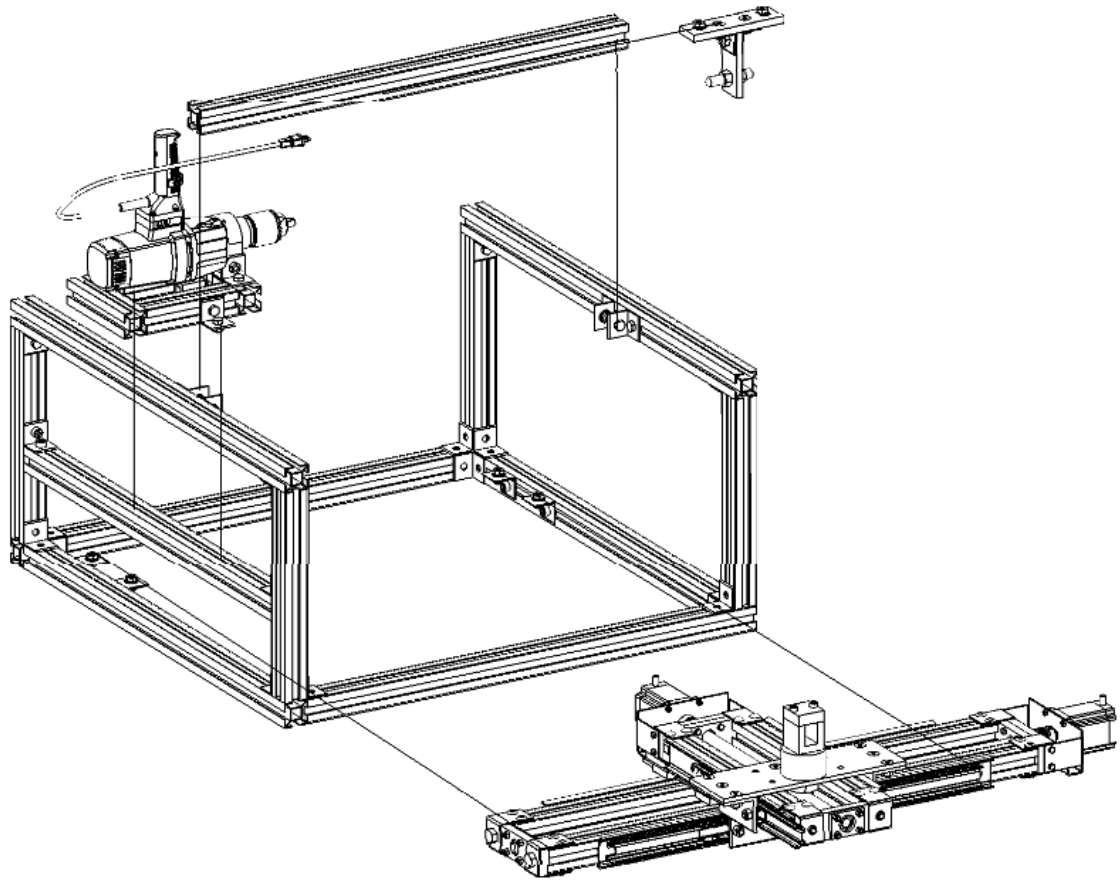
Las dimensiones dentro de las cuales se puede hacer mecanizado con fresado son:

X: 30 CM

Z: 30 cm

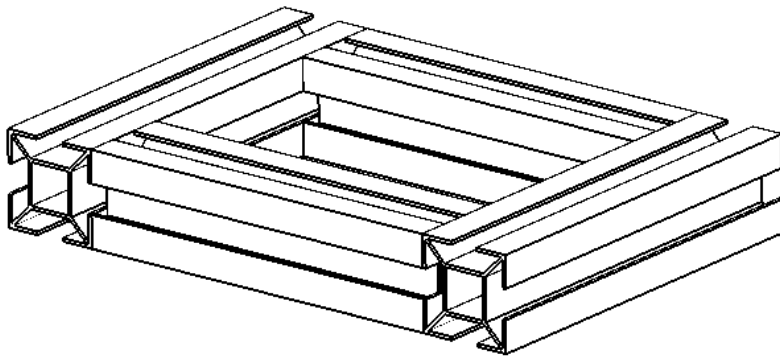
Y la velocidad del husillo está determinada por el taladro utilizado como unidad motriz de rotación de la pieza a tornear

Vista explosionada

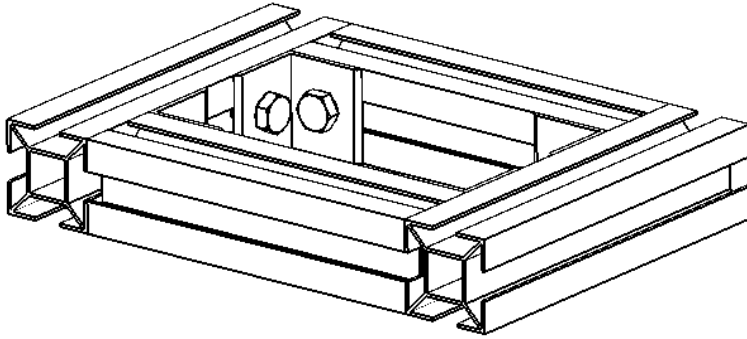


Pasos del montaje

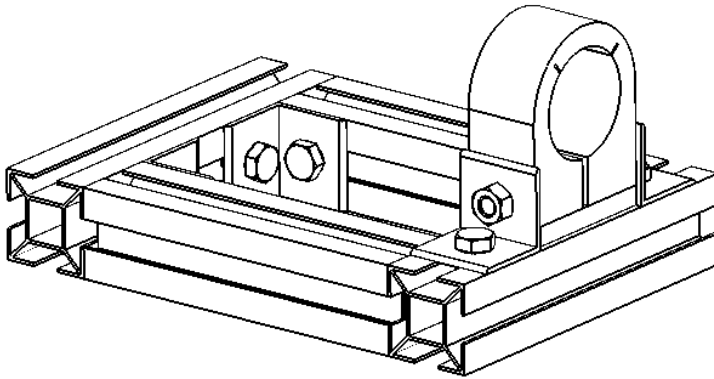
PASO 1: ensamblaje del soporte del taladro



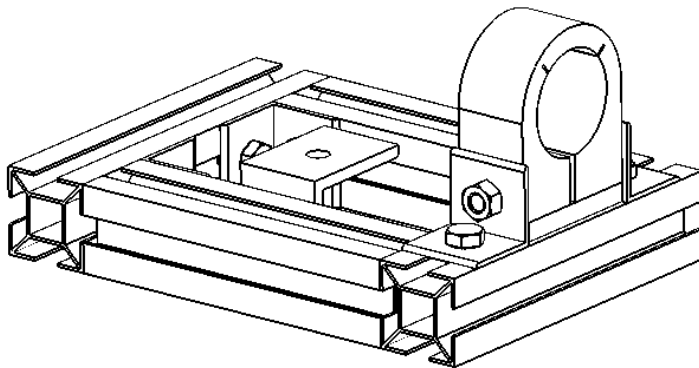
PASO 2: colocando las L 1 ½ para la sujeción entre perfiles



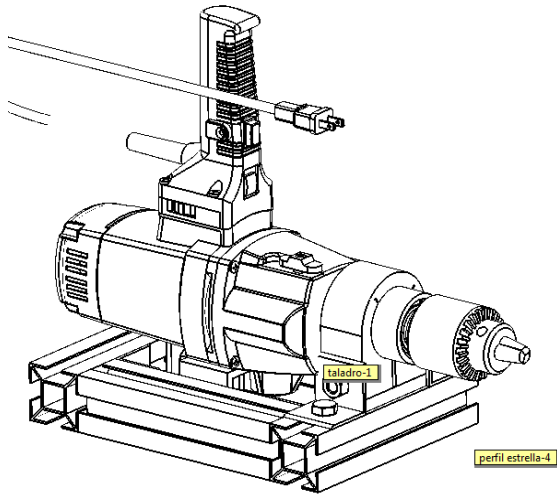
PASO 3: ensamblar la pieza fundamental en la sujeción del taladro en el sistema modular



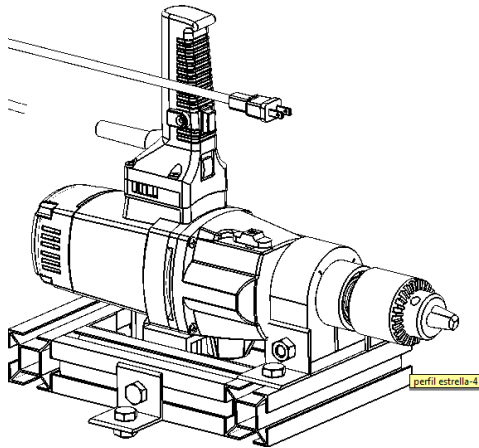
PASO 4: L para soportar la base del taladro



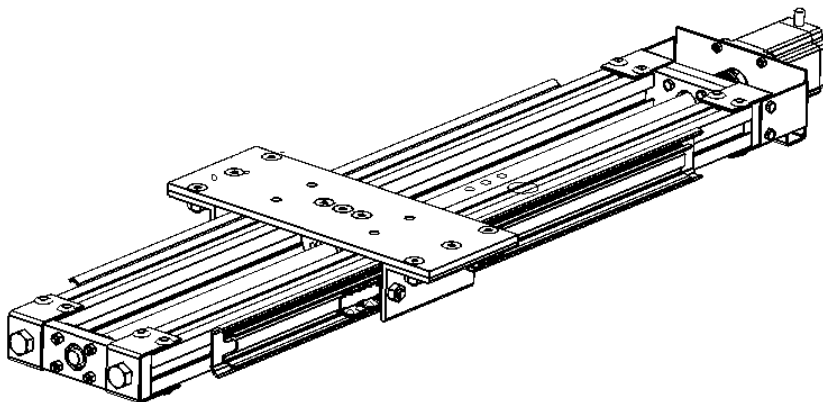
PASO 5: instalación del taladro dentro de la pieza anterior ajustando con los tornillos laterales que se muestran



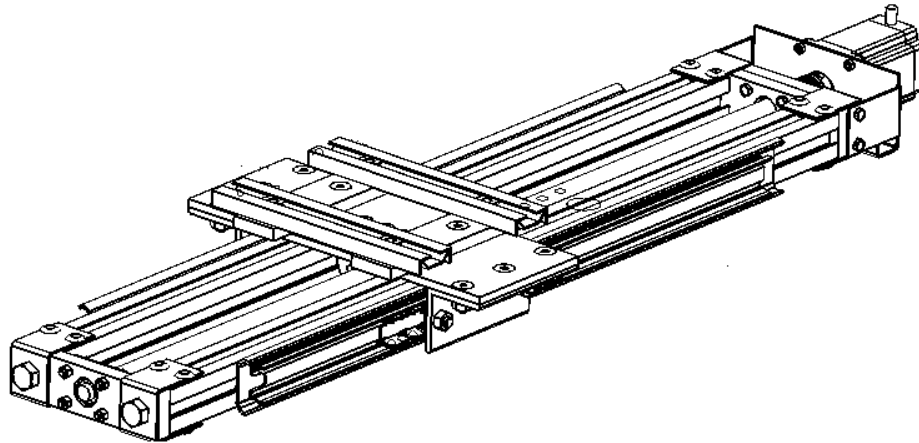
PASO 6: colocar las L 1 ½ para poder ensamblar este sub ensamble al montaje de torno



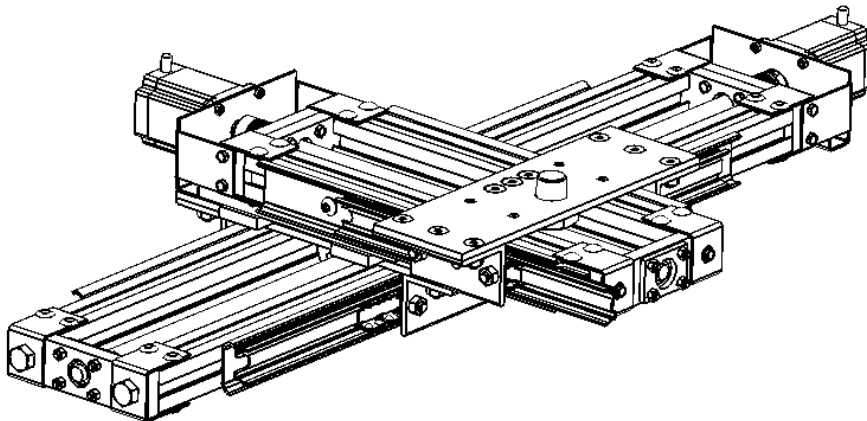
PASO 7: ensamble entre módulos. Tomar 1 módulo de 80 cm



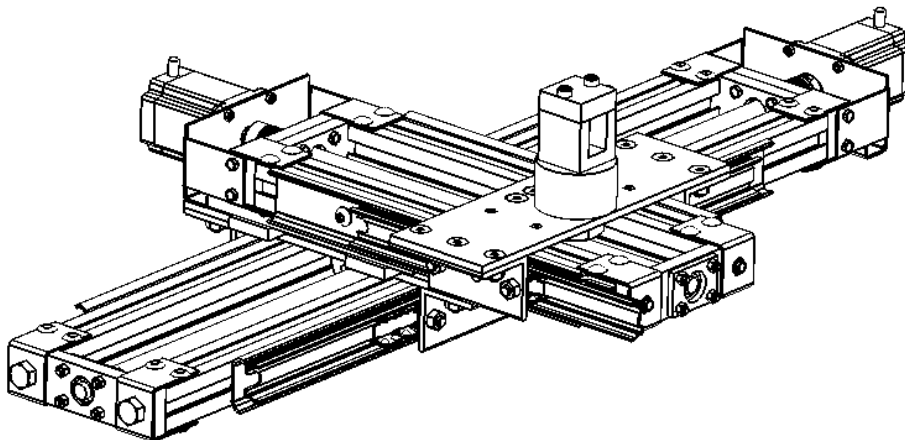
PASO 8: ensamblando con tornillos avellanados el sistema de unión entre módulos como se muestra



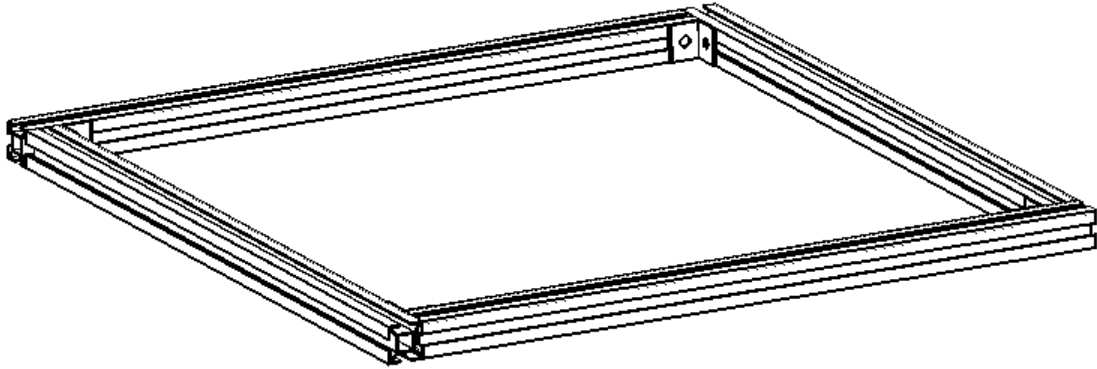
PASO 9: ensamblando el módulo de 40 cm que será el que aporte la profundidad del torneado



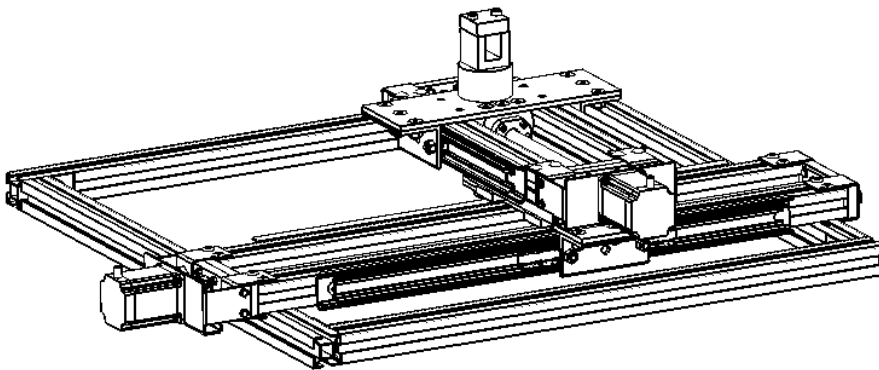
PASO 10: ajustar el porta buriles en el módulo de 40 cm



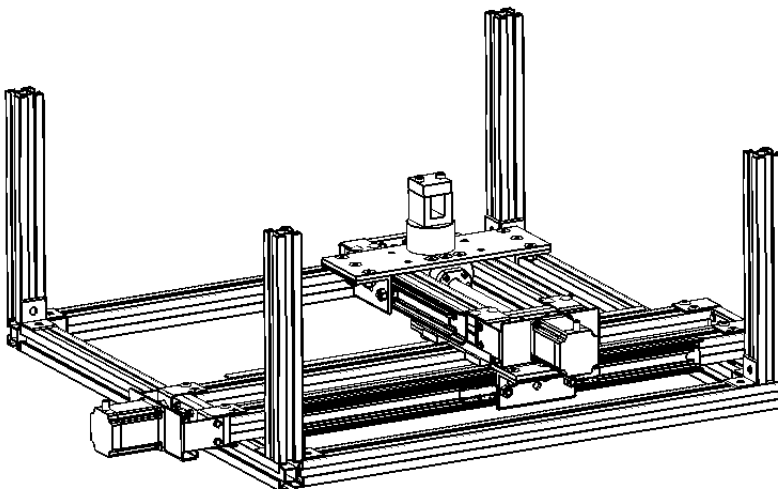
PASO 11: ensamblaje de la estructura con 4 perfiles estrella de 69 cm



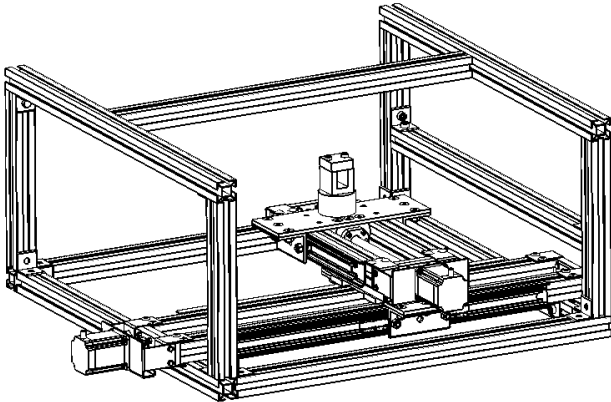
PASO 12: montar en ensamblaje en la estructura



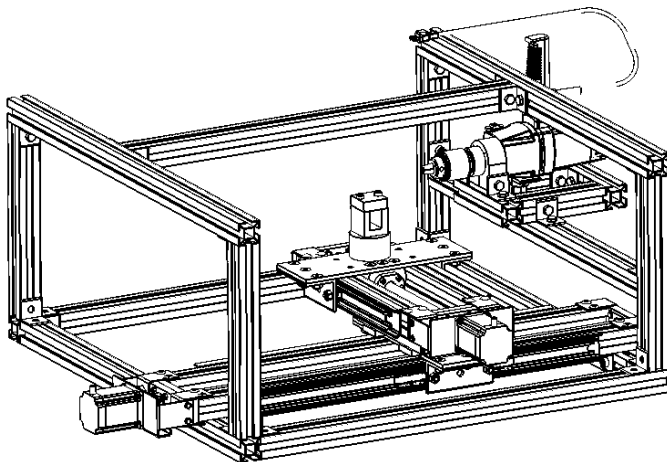
PASO 13: colocar verticalmente como se muestra 4 perfiles estrella de 30 cm



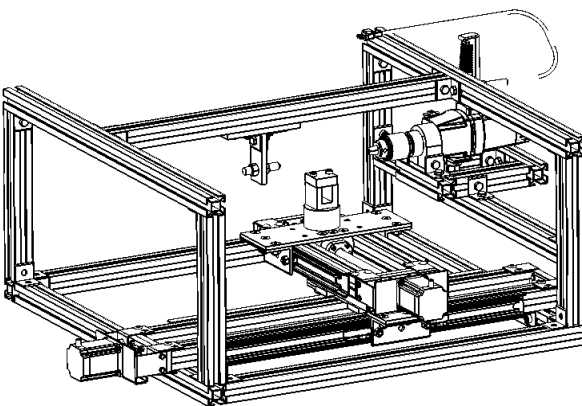
PASO 14: ensamblar los perfiles que apoyaran el contrapunto

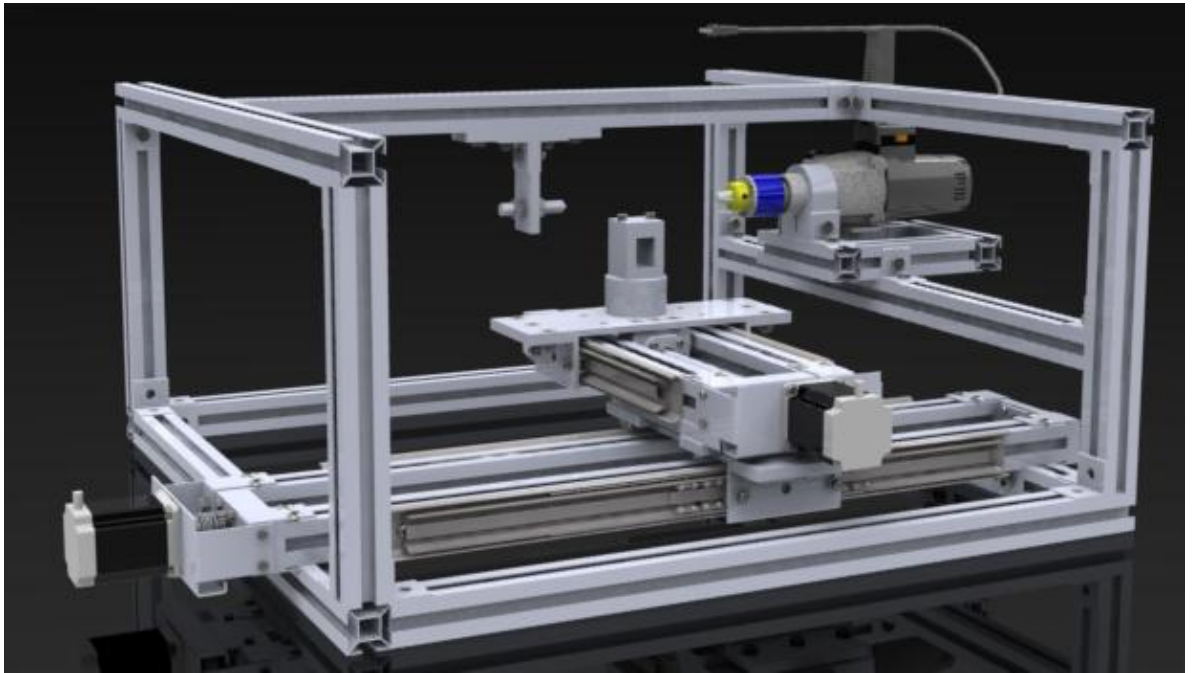


PASO 15: instalación como se muestra del soporte del taladro mostrado anteriormente

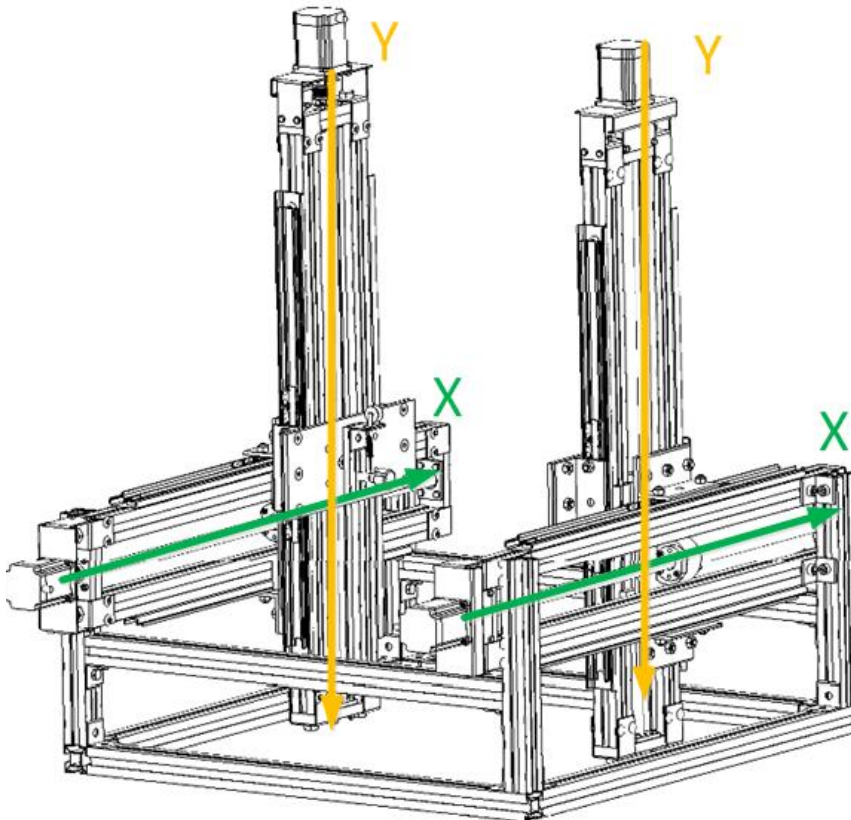


PASO 16: colocar el contrapunto con opción de deslizamiento para poder ajustarse a la pieza a mecanizar





✦ PARA CORTE DE HILO CALIENTE

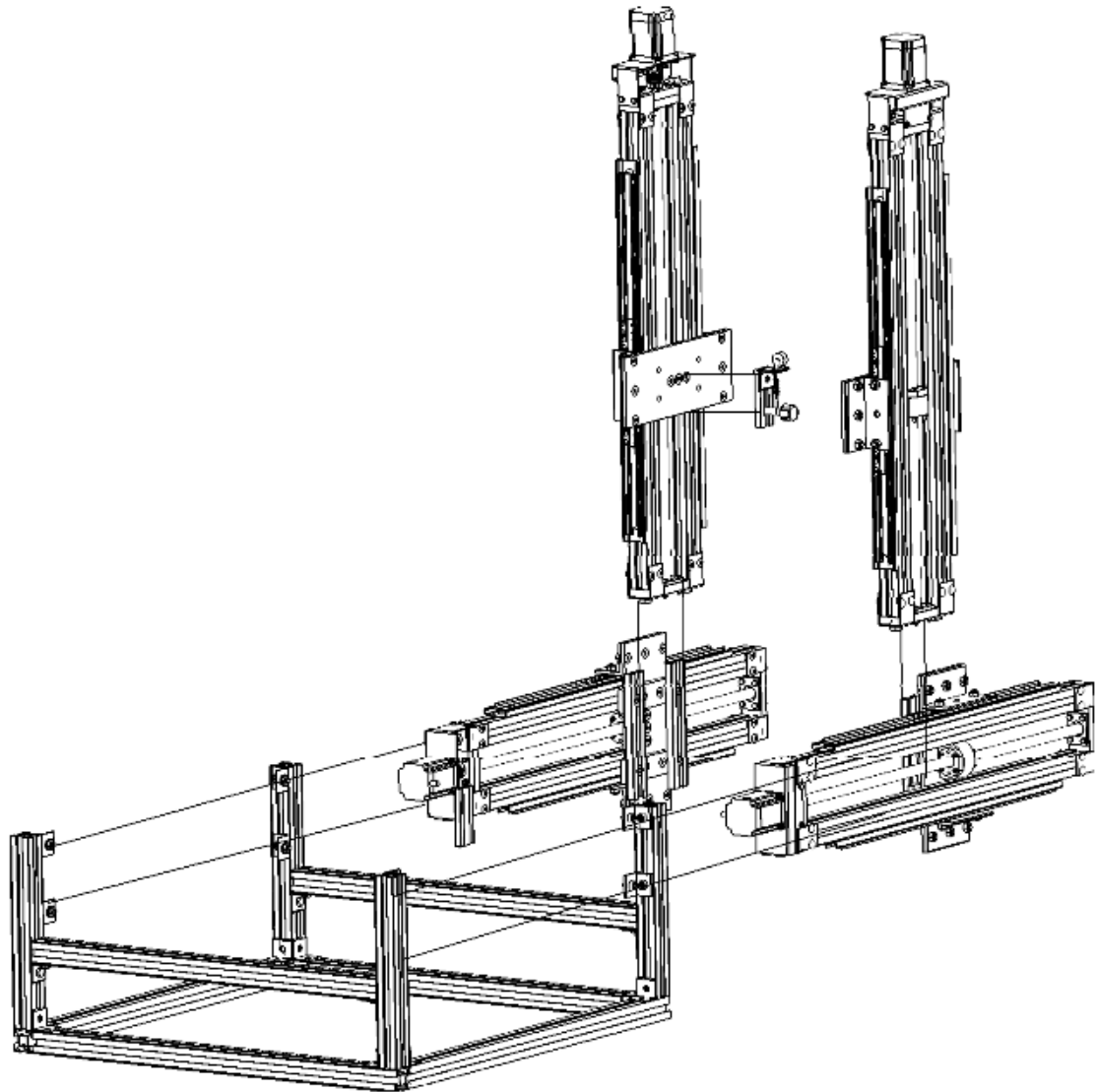


Las dimensiones dentro de las cuales se puede hacer mecanizado con hilo caliente son:

X: 70 cm

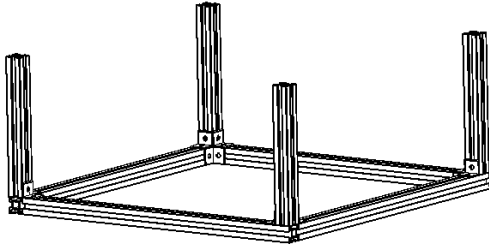
Y: 70 cm

Vista explosionada

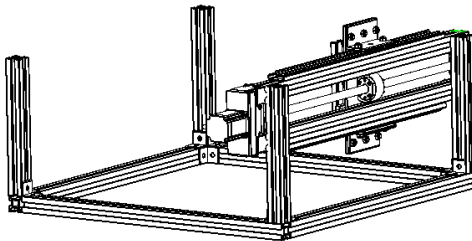


Pasos del montaje

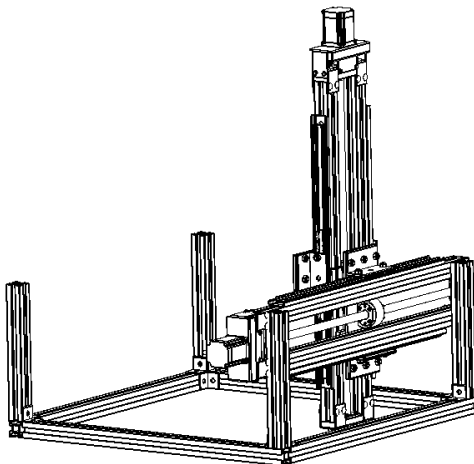
PASO 1: tomar la estructura base se todos los montajes de mecanizado para este sistema modular de mecanizado



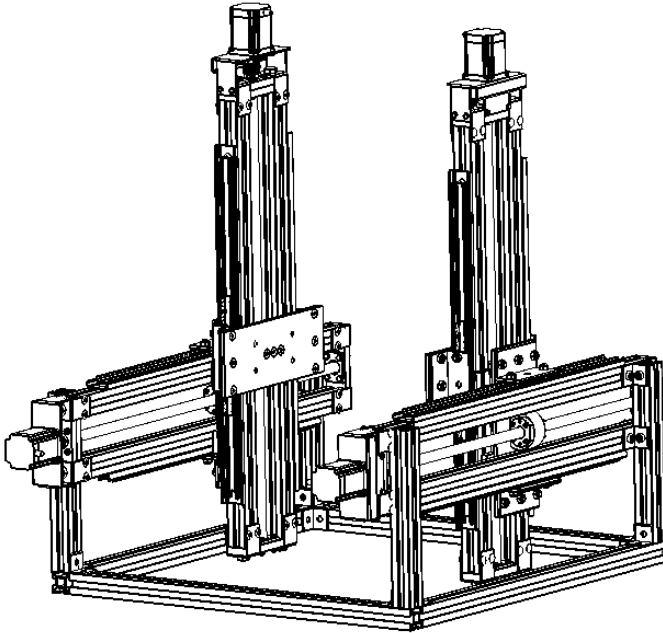
PASO 2: colocar un primer módulo de 80 cm en los perfiles estrella verticales de 30 cm como se muestra.



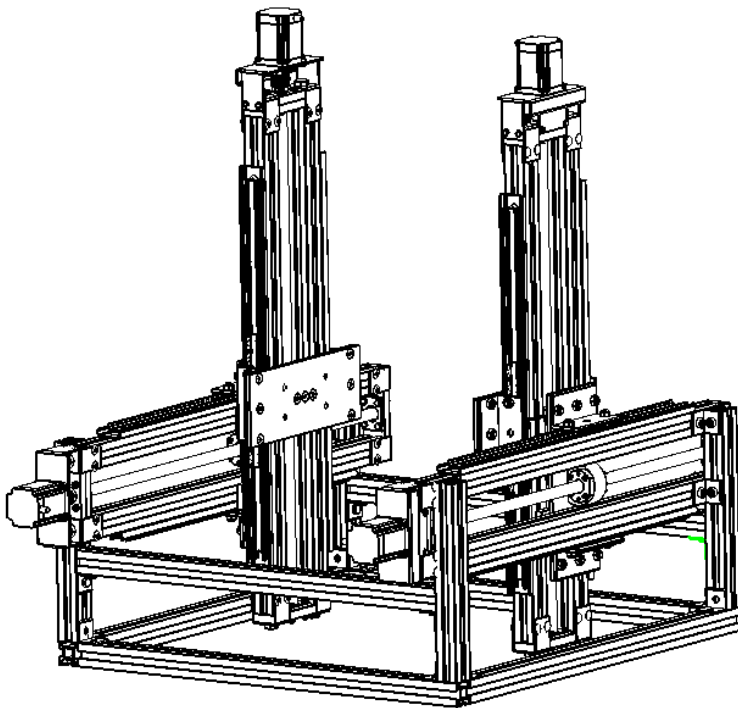
PASO 3: con la ayuda de la unión entre módulos presente como componentes del sistema modular montar otro módulo de 80 cm perpendicularmente sobre el anteriormente puesto como se muestra.



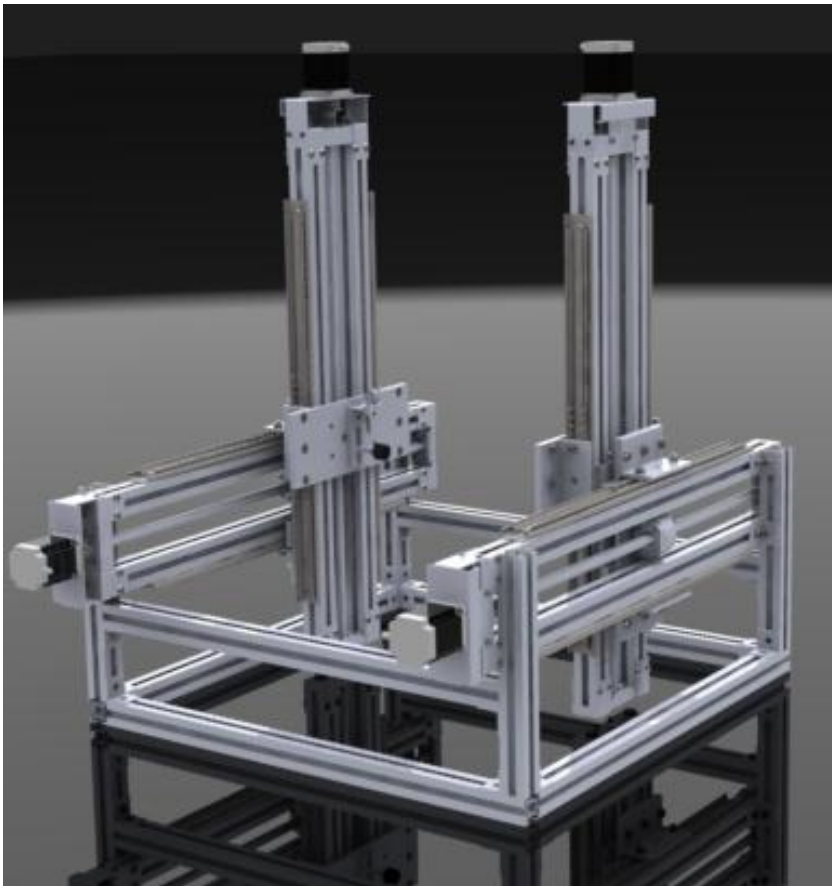
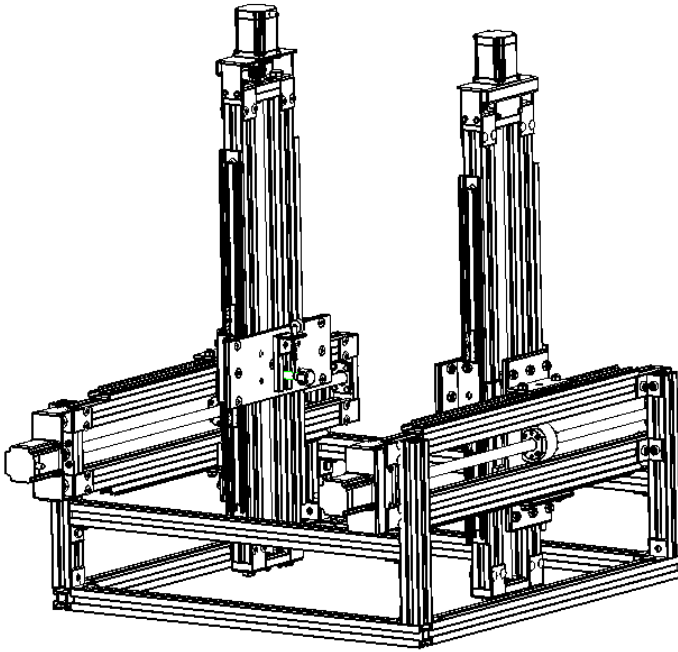
PASO 4: repetir los dos paso anteriores en la otra cara paralela de la estructura



PASO 5: colocar los perfiles estrella transversales en la estructura con el fin de dar soporte para posibles deflexiones y vibraciones.

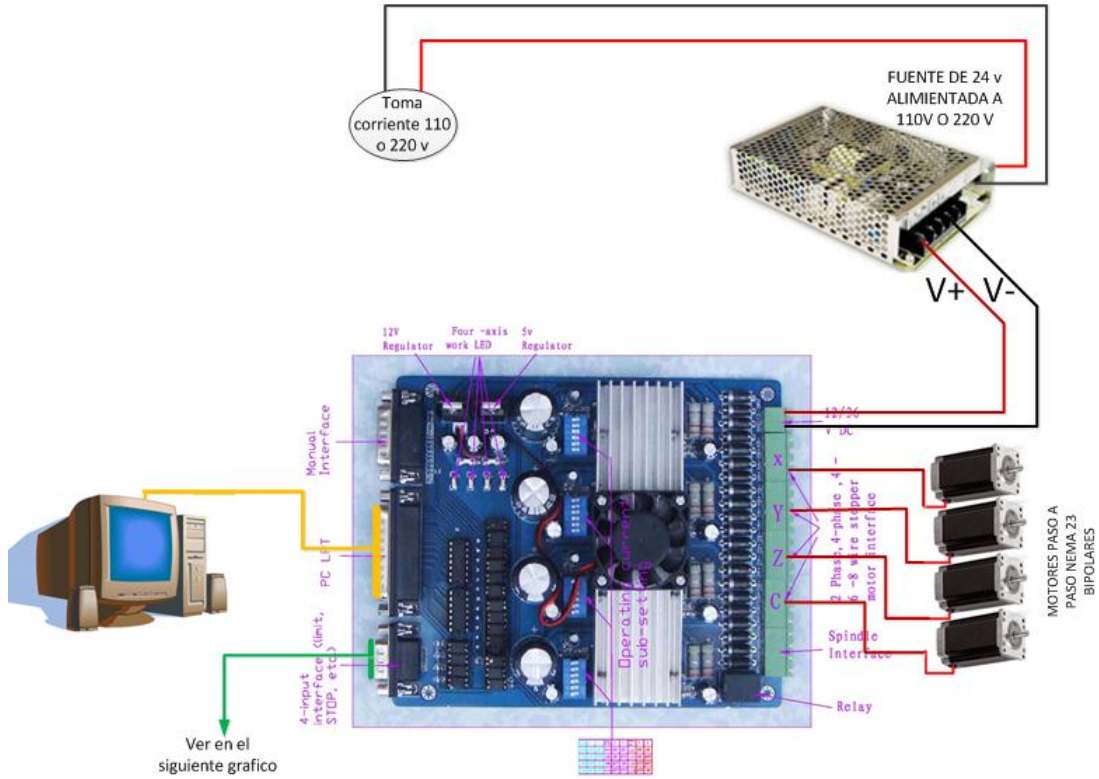


PASO 6: finalmente instalar el sistema soporte del hilo caliente



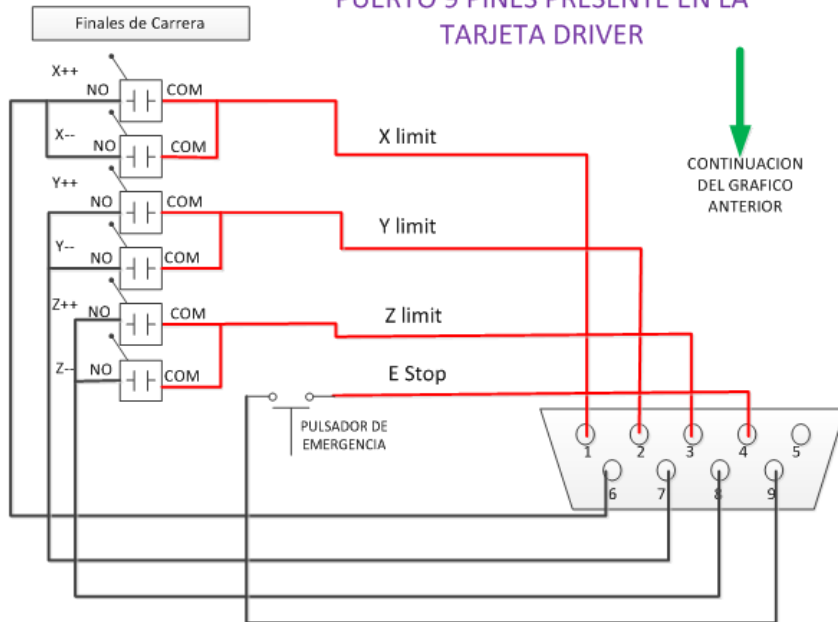
☛ DEL SISTEMA DE CONTROL PARA TODOS LOS MONTAJES

Conexión



Ver en el siguiente grafico

PUERTO 9 PINES PRESENTE EN LA TARJETA DRIVER



COMO USAR EL SISTEMA DE CONTROL

1. Instalación del mach 3

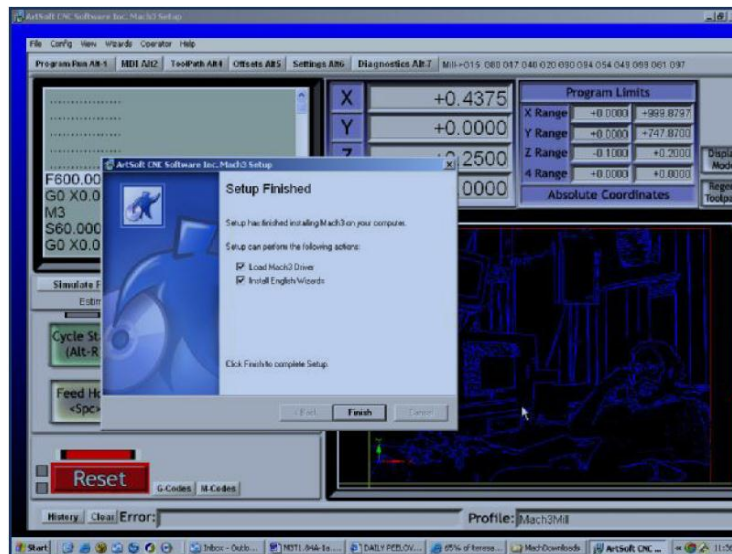
Mach3 es distribuido por ArtSoft Corp. por Internet. Usted descarga el paquete como un archivo autoinstalable (que, en la presente release, es de alrededor de 6 megabytes). Este se ejecuta por un período ilimitado como una versión de demostración con unas cuantas limitaciones en la velocidad, el tamaño de trabajo que puede encarar y características especiales soportadas. Cuando compra una licencia puede "desbloquear" la versión de demostración que usted ha instalado y configurado. Los detalles completos de precios y opciones están en el sitio Web de ArtSoft Corporation www.artofcnc.ca

Descargar

Descargue el paquete de www.artofcnc.ca usando el botón derecho del ratón y *grabar destino como...* para poner el archivo autoinstalable en cualquier directorio de trabajo (tal vez Windows\Temp). Usted debe entrar a Windows como administrador.

Cuando el archivo se ha descargado pueda ser inmediatamente ejecutado usando el botón *abrir* en el diálogo de descarga o este diálogo pueda ser cerrado para una instalación posterior. Cuando quiera realizar la instalación ejecute el archivo descargado. Por ejemplo podría ejecutar el explorador de Windows (dar un click con el botón secundario del ratón sobre el botón Inicio), y doble click sobre el archivo descargado en el directorio de trabajo.

Instalar



No necesita tener la máquina-herramienta conectada todavía. Si usted está empezando en esto, podría ser mejor no tenerla conectada. Anote donde el cable o

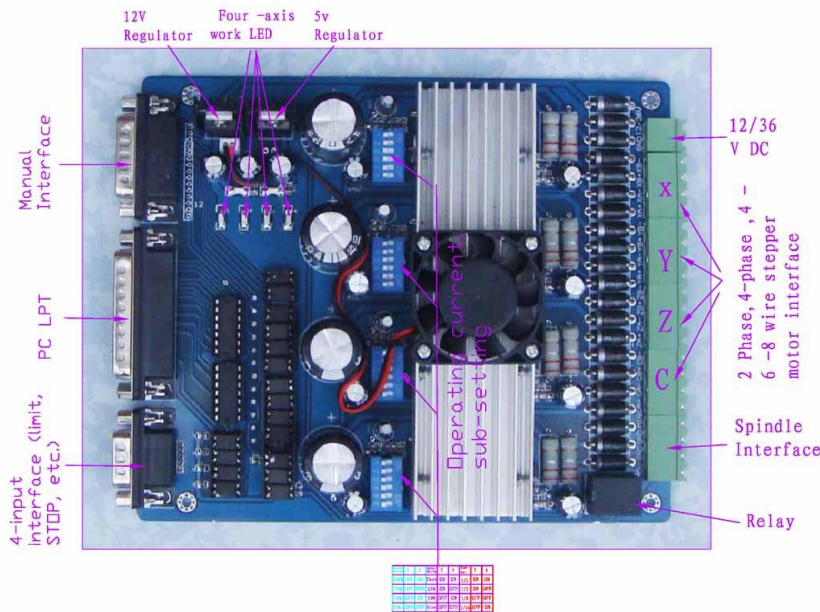
los cables de la máquina-herramienta son conectados en su pc. Desconecte la pc, la máquina-herramienta, sus Drives y desconecte el conector de 25 pines de la parte posterior de la pc. Ahora encienda la PC.

Cuando ejecute el archivo descargado será guiado a través de los pasos de instalación usuales para Windows tales como: aceptación de las condiciones de la licencia y escoger la carpeta en donde se instalará Mach3. En la ventana de diálogo de finalización de la instalación debería asegurarse que las casillas de verificación "Load Mach3 Driver" e "Install English Wizards" estén tildadas para luego hacer clic en Finalizar. Ahora será se le avisará que deberá reiniciar la PC antes de ejecutar cualquier programa de Mach3.

Para mayor información acerca de uso y manejo del software completo mirar manual mach 3 2.0 en www.artofcnc.ca

2. Configuración de los pines de los diferentes puertos

La tarjeta de potencia presente en el sistema modular mecanizado es la que se muestra y los puertos y su respectiva descripción que esta posee se muestran.

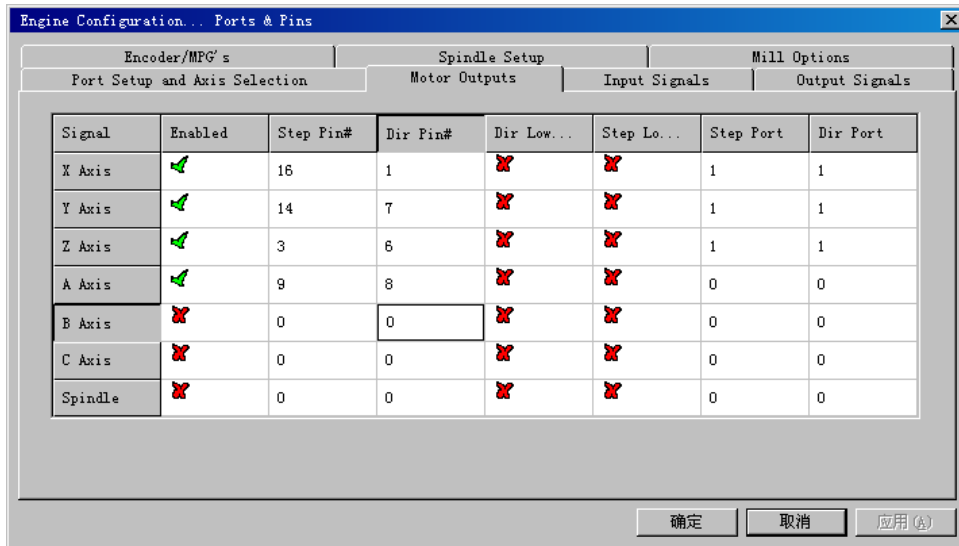


Respecto a la configuración de los pines del puerto paralelo para esta tarjeta driver son:

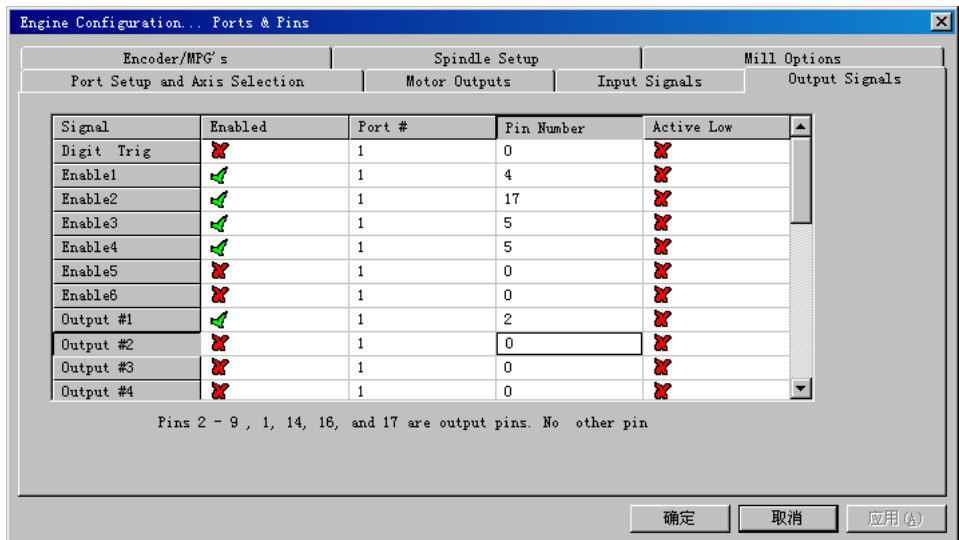
Para PC LPT (puerto paralelo de la impresora en el PC)

PIN2	PIN4	PIN1	PIN1 6	PIN1 7	PIN7	PIN1 4	PIN5	PIN6	PIN3	PIN5	PIN8	PIN 9
Spindle motor	X Enabl e	X Dir	X Step	Y Enabl e	Y Dir	Y Step	Z Enabl e	Z Dir	Z Step	A Enabl e	A Dir	A Step

Pantallazo de la configuración de los pines de salida



Pantallazo de la habilitación de los pines



Siendo enable 1 el X enable, enable 2 el Y enable, enable 3 el Z enable, enable 4 el A enable.

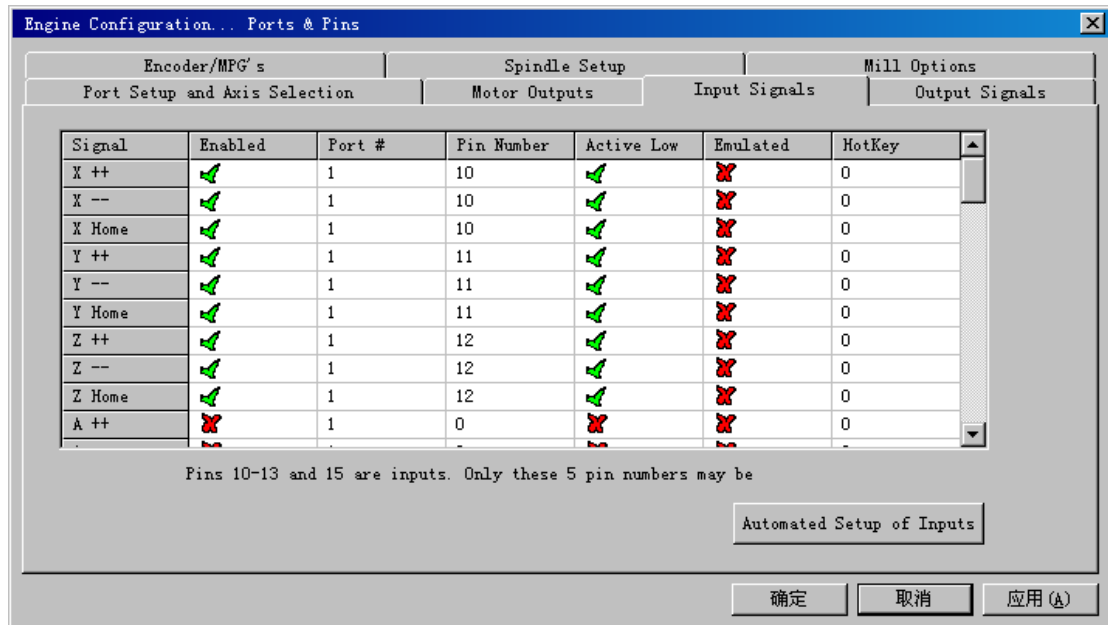
PARA EL CASO DE USARSE FINALES DE CARRERA Y PARADA DE EMERGENCIA

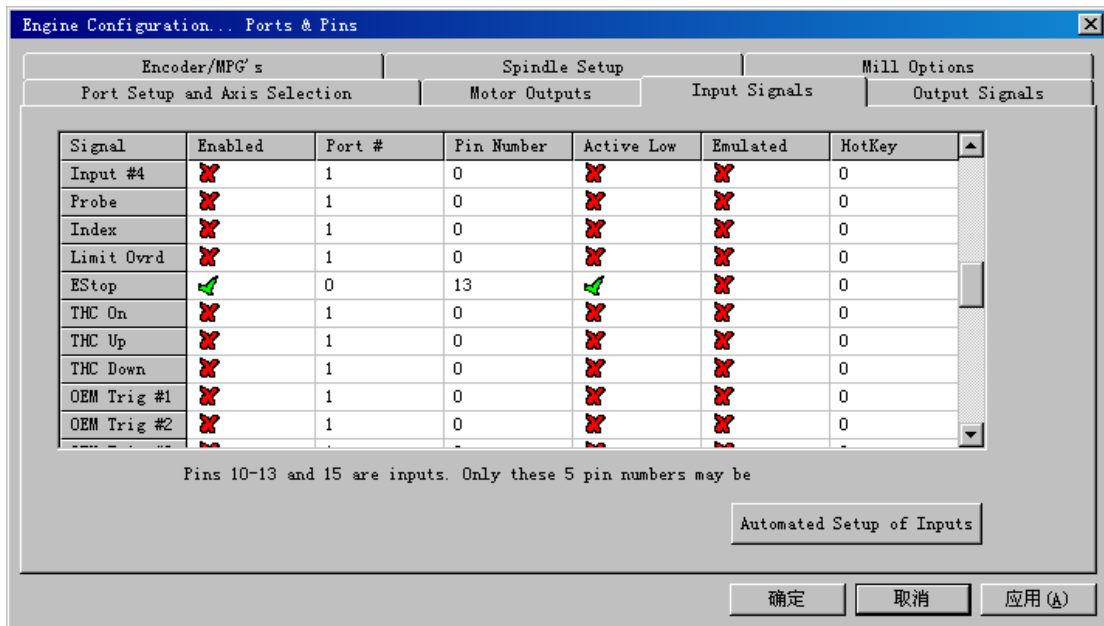
Se utiliza el puerto de 9 pines con la configuración para soldar sus pines como se muestra

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
X Limit	Y Limit	Z Limit	STOP	Empty	GND	GND	GND	GND
P10	P11	P12	P13					

La primera fila muestra los pines del puerto que se ve exteriormente en la tarjeta de potencia y en los cuales se deben conectar cada una de las señales de entrada de finales de carrera como de la parada de emergencia STOP

En la tercera fila se muestra como están conectados estos pines interiormente en la tarjeta hacia el puerto paralelo LPT y estos son los que se deben configurar en el software MACH3





Nota: existen solo un puerto Xlimit , Ylimit, Zlimit, pero cada uno tiene eléctricamente conectados dos finales de carrera para los 2 extremos de cada eje.

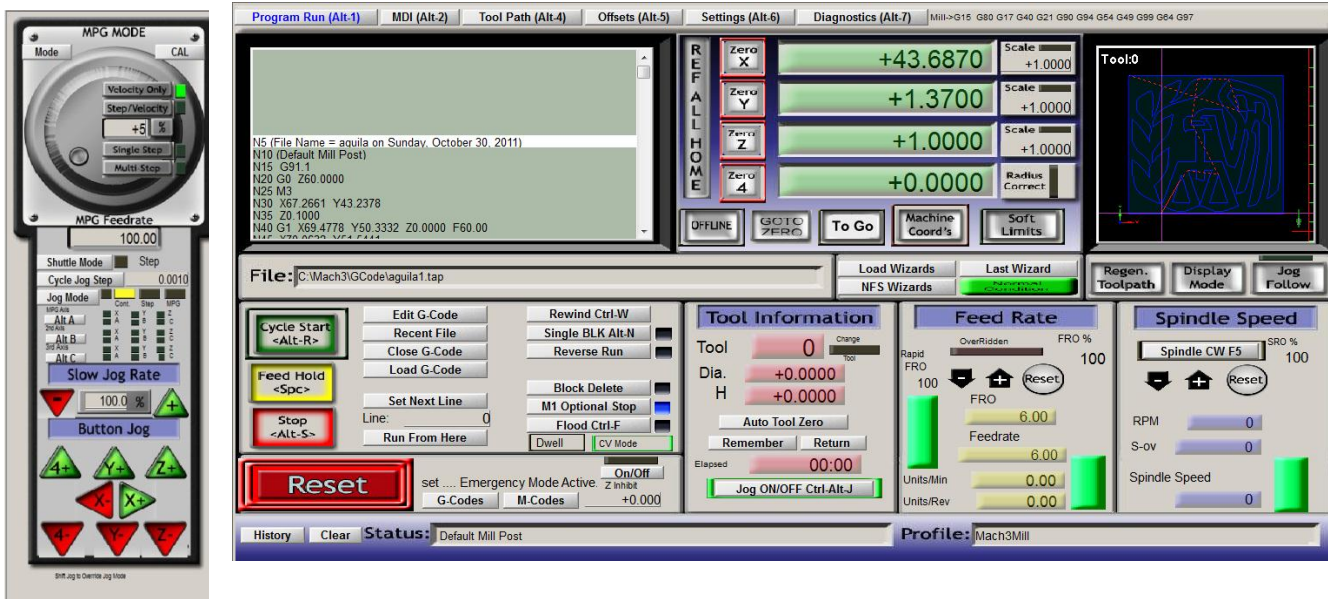
PARA EL CASO DE USARSE UN CONTROL MANUAL TIPO JOYSTICK EXTERNO

Se utiliza el puerto de 15 pines presente en la tarjeta driver de potencia y se configura como se muestra:

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Z/C Enable	C Step	Z Step	X Dir	X Enable	Y Enable	Y Dir	Z Dir	C Dir	Spindle motor	Y Step	X Step	STOP	GN D	5V/vdd

Como usar el software para fresado

El mach 3 presenta una plataforma llamada mach3 MILL incluida en el paquete en la cual se pueden cargar código G de mecanizado de una pieza y su interfaz gráfica es la siguiente

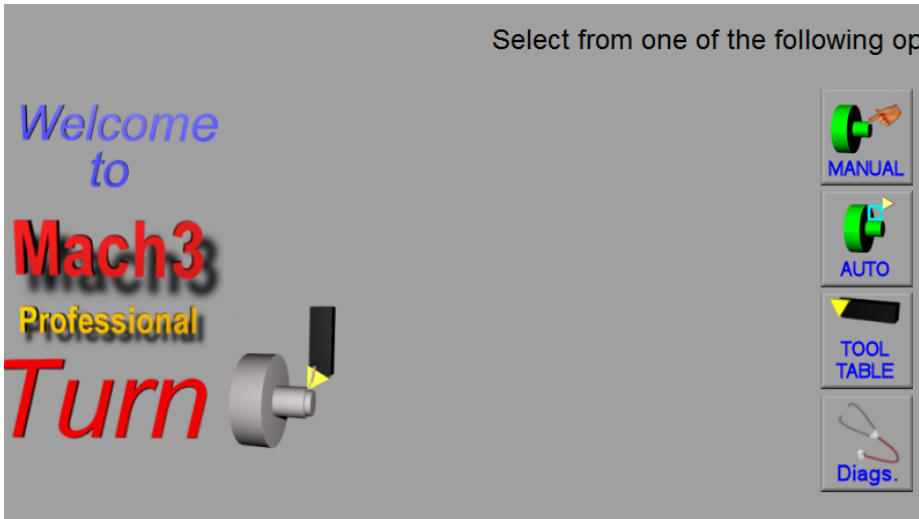


Para el caso de usarse el fresado para el sistema modular: se configuran y se habilitan (enable) los ejes X, Y, Z y A como se mostró anteriormente (el A en la fresadora es con el fin de ser movimiento esclavo del eje Y como se muestra en el montaje de fresa seleccionado y se habilita en CONFIGURATION> SLAVE AXIS)

Posteriormente se ejecuta el programa al dar clic en RESET y luego en CICLE START, después de haber puesto la herramienta de corte en el punto cero con el joystick de movimiento lento incluido en el software con oprimir TAB.

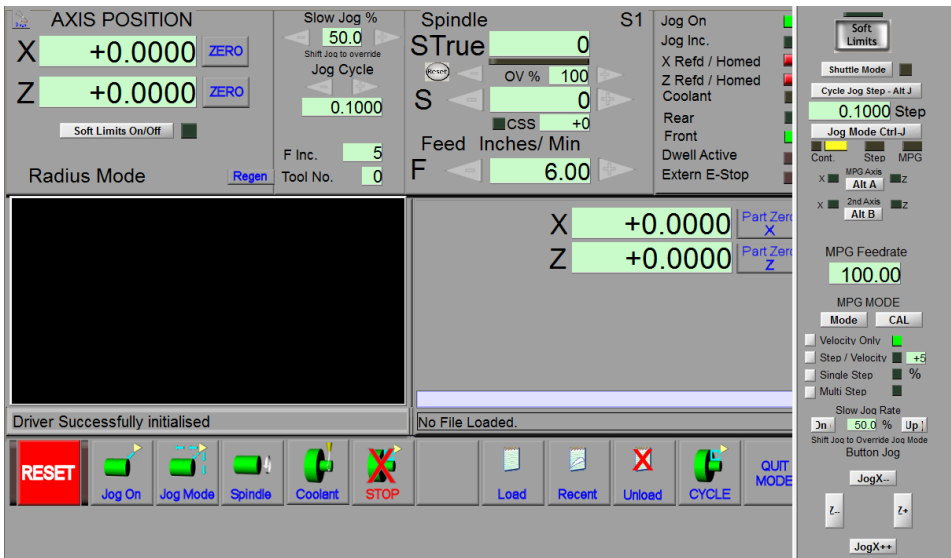
Como usar el software para torneado

Para el caso de torneado igualmente el MACH3 posee un software para el torneado automático y manual llamado MACH3 TURN y este maneja los ejes X y Z por lo que estos deben ser los conectados en la tarjeta de potencia.

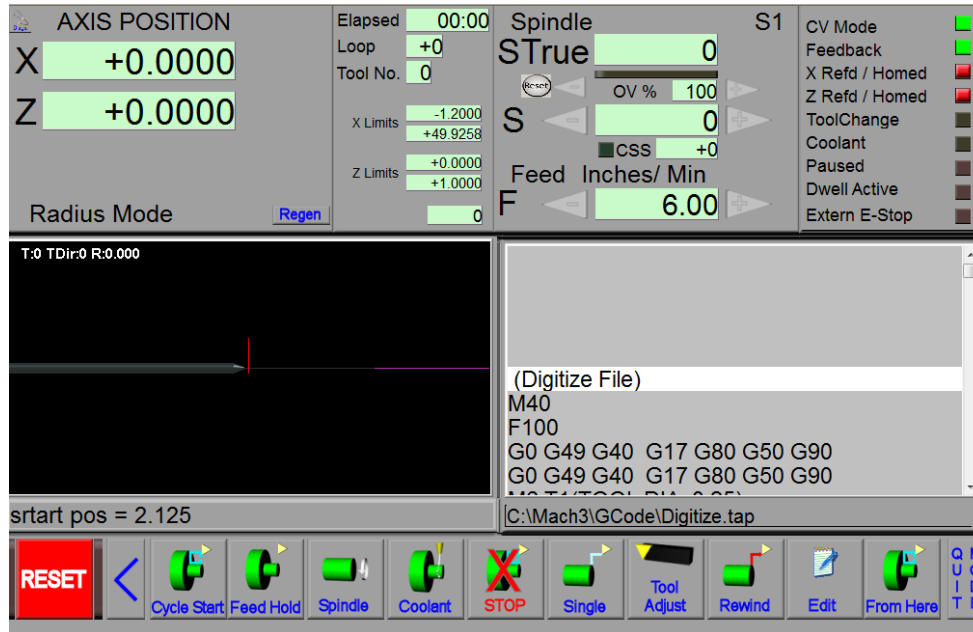


En la configuración de los pines en el software según se mostró en el capítulo anterior se deben deshabilitar todos los ejes excepto X y Z pues serán los utilizados por el software; e igualmente se deben colocar los finales de carrera respectivos.

La interfaz gráfica para el movimiento manual es la que se muestra



Y para el movimiento automático al igual que el fresado o MILL se carga un código G de torneado y para el funcionamiento del código se debe dar clic en RESET y luego en CYCLE START como se muestra:



Como usar el software para corte de hilo caliente

Se utilizaran los cuatro motores o sea los 4 puertos de salida de la tarjeta de potencia, haciendo al igual que el fresado el motor A esclavo al eje Y y para hacer que el eje Z sea esclavo del eje X deshabilitamos el eje Z y habilitamos el eje B con el mismo número de pines del Z.

Así , de esta manera se realiza corte de hilo caliente a dos ejes. Cada eje movido por dos motores sincronizados como se mostró en el montaje físico propuesto.

