

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA CORTE Y GRABADO  
CON RAYO LÁSER CONTROLADA POR COMPUTADOR**

**NÉSTOR JULIÁN MESA ALBARRACÍN  
GERSON CAMILO CAÑAS TRIANA**



Universidad  
Industrial de  
Santander

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

**2016**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA CORTE Y GRABADO  
CON RAYO LÁSER CONTROLADA POR COMPUTADOR**

**NÉSTOR JULIÁN MESA ALBARRACÍN  
GERSON CAMILO CAÑAS TRIANA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Ingeniero Mecánico**

**Director  
RICARDO ALFONSO JAIMES ROLÓN  
Ingeniero Mecánico**

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

**2016**

## **DEDICATORIA**

A mi padre Néstor Mesa Duarte y a mi madre Gloria Inés Albarracín Ferreira.

A mi familia que siempre estuvo atenta en todo mi proceso de formación.

Néstor Julián Mesa Albarracín

## **DEDICATORIA**

A mis padres.

A mi familia que siempre estuvo atenta en todo mi proceso de formación.

Gerson Camilo Cañas Triana

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Profesor Ricardo Alfonso Jaimes Rolón por su dedicación, ayuda y apoyo en el desarrollo del trabajo de grado.

A los profesores de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander por la formación académica profesional durante el transcurso de la vida universitaria.

A Helmuth Maldonado y Felipe Vargas por su ayuda en el desarrollo del proyecto.

Néstor Julián Mesa Albarracín

Gerson Camilo Cañas Triana

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	22
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	23
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	23
1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA.....	23
1.3 OBJETIVOS .....	25
1.3.1 Objetivo general.....	25
1.3.2 Objetivos específicos. ....	25
2. PLANTEAMIENTO Y DOCUMENTACIÓN DEL PROBLEMA .....	27
2.1 HISTORIA DE LAS MÁQUINAS DE CORTE POR RAYO LÁSER.....	27
2.2 EL RAYO LÁSER .....	28
2.2.1 Aplicaciones del rayo láser. ....	28
2.2.2 Aplicaciones a la Ingeniería Mecánica. ....	29
2.2.3 Láser de dióxido de carbono.....	29
2.2.4 Láser de fibra óptica. ....	31
2.2.5 Láser Nd: YAG.....	32
2.2.6 Corte mediante láser.....	33
2.2.7 Grabado mediante láser.....	34
2.3 SISTEMAS DE POTENCIA.....	35
2.3.1 Servomotor. ....	35
2.3.2 Motores paso a paso. ....	35
2.4 SISTEMAS DE TRANSFERENCIA DE POTENCIA.....	36
2.4.1 Tornillo de potencia.....	36
2.4.2 Cadenas. ....	37
2.4.3 Bandas dentadas.....	38
2.5 SISTEMA DE CONTROL.....	38

2.5.1 Hardware. ....	38
2.5.1.1 Tarjeta de Control. ....	38
2.5.1.2 Fuente de Energía. ....	40
2.5.2 Software. ....	41
2.5.2.1 CorelLaser. ....	41
2.5.2.2 WinsealXP. ....	42
2.6 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....	43
2.7 SISTEMA ÓPTICO .....	43
2.9 SISTEMA DE EXTRACCIÓN.....	45
3. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO CONCEPTUAL.....	46
3.1 NECESIDADES.....	46
3.2 PARÁMETROS DE DISEÑO .....	48
2.3 PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS CONCEPTUALES.....	48
3.3.1 Máquina Láser de Dióxido de Carbono. ....	49
3.3.2 Máquina Láser de Fibra Óptica. ....	49
3.3.3 Máquina Láser Nd:YAG. ....	50
3.4 EVALUACIÓN Y DEFINICIÓN DEL DISEÑO .....	51
4. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DE LA MÁQUINA.....	55
4.1 SELECCIÓN DEL RAYO LÁSER.....	55
4.2 SELECCIÓN DE LA BOMBA Y EL REFRIGERANTE.....	57
4.3 SELECCIÓN DE LA TARJETA DE CONTROL Y DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....	65
4.3.1 Selección de la tarjeta de control. ....	65
4.3.2 Selección de la fuente de alimentación. ....	71
4.4 SELECCIÓN DE MOTORES .....	75
4.4.1 Sistema de desplazamiento en el eje X. ....	75
4.4.2 Sistema de desplazamiento en el eje Y. ....	79
4.5 ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA.....	82

4.6 SELECCIÓN DEL SOFTWARE DE LA MÁQUINA .....	84
4.7 MODELO DEL ANÁLISIS DE ESFUERZOS DEL BANCO .....	87
4.7.1 Parámetros de entrada para la simulación.....	87
4.7.2 Mallado del modelo.....	89
4.7.3 Análisis de resultados.....	90
5. CALIBRACIÓN Y PRUEBAS DEL EQUIPO.....	96
5.1 PROTOCOLO DE SEGURIDAD.....	96
5.1.1 Apariencia de la máquina.....	96
5.1.2 Conjunto de accesorios.....	99
5.2 PROTOCOLO DE VERIFICACIÓN Y AJUSTES.....	103
5.2.1 Instalación de la máquina.....	103
5.2.2 Ajuste del camino óptico.....	108
5.3 PROTOCOLO DE FUNCIONAMIENTO.....	113
5.3.1 Operación de la máquina láser.....	113
5.3.1.1 Materiales no permitidos para cortar o grabar.....	113
5.3.1.2 Materiales permitidos para cortar.....	114
5.3.1.3 Materiales permitidos para grabar.....	116
5.3.1.4 Descripción del panel de control.....	116
5.3.1.5 Uso de la máquina.....	117
5.4 PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO.....	118
5.4.1 Mantenimiento diario.....	119
5.4.2 Análisis de fallas comunes.....	121
5.5 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO.....	122
6. CONCLUSIONES .....	124
BIBLIOGRAFÍA.....	126
ANEXOS .....	128

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Máquina para corte y grabado por rayo láser 3-D. ....	24
Figura 2. Láser de Dióxido de carbono. ....	30
Figura 3. Esquema principal de un láser de fibra óptica. ....	31
Figura 4. Esquema principal de un láser Nd:YAG. ....	32
Figura 5. Servomotor. ....	35
Figura 6. Motor paso a paso. ....	36
Figura 7. Tornillo de potencia. ....	37
Figura 8. Cadena de transmisión. ....	37
Figura 9. Banda dentada. ....	38
Figura 10. Mapa de un sistema controlador. ....	39
Figura 11. Fuente de energía. ....	40
Figura 12. Interfaz CorelDraw. ....	42
Figura 13. Interfaz WinsealXP. ....	42
Figura 14. Chiller Industrial. ....	43
Figura 15. Sistema óptico. ....	44
Figura 16. Espejo reflector y lente de enfoque. ....	44
Figura 17. Sistema de ventilación. ....	45
Figura 18. Máquina cortadora láser de dióxido de carbono. ....	49
Figura 19. Máquina cortadora láser de fibra óptica. ....	50
Figura 20. Máquina cortadora láser Nd:YAG. ....	50
Figura 21. Espejo de silicio recubierto en oro. ....	53
Figura 22. Cabezal láser de dióxido de carbono. ....	53
Figura 23. Máquina especificada en diseño conceptual. ....	54
Figura 24. Láser de dióxido de carbono de baja potencia. ....	56
Figura 25. Pérdidas menores de la división de ingeniería de CRANE. ....	62
Figura 26. Resultados de cálculo de la bomba en software EES. ....	63
Figura 27. Catálogo de bombas BACO engineering Co Ltd. ....	64

Figura 28. Tarjeta controladora láser MPC 6535. ....	65
Figura 29. Tarjeta controladora láser 6C6879 LASER-M2. ....	66
Figura 30. Esquema del sistema de lazo abierto. ....	68
Figura 31. Tarjeta controladora láser 6C6879 LASER-M2 sin instalar. ....	68
Figura 32. Dimensiones de la Tarjeta controladora láser 6C6879 LASER-M2. ....	69
Figura 33. Tarjeta controladora instalada.....	69
Figura 34. Representación Gráfica del Algoritmo de Bresenham.....	70
Figura 35. Finales de carrera.....	70
Figura 36. Selección de la fuente en relación al rayo láser. ....	71
Figura 37. Conexión de la PSU al rayo láser. ....	73
Figura 38. PSU instalada. ....	74
Figura 39. Lente de enfoque.....	75
Figura 40. Sistema de fuerzas en el eje X en vista superior.....	76
Figura 41. Catálogo Motion King Stepper motor. ....	78
Figura 42. Guía del lente de enfoque.....	79
Figura 43. Sistema de fuerzas en el eje Y en vista superior.....	79
Figura 44. Acople instalado al motor más grande. ....	81
Figura 45. Bastidor, Bastidor con cubiertas y Mesa. ....	82
Figura 46. Soporte. ....	83
Figura 47. Piezas mecánicas. ....	83
Figura 48. Interfaz CorelDRAW X5. ....	84
Figura 49. Opción de material de Solidworks.....	88
Figura 50. Modelo para la simulación de esfuerzos del banco de pruebas en Solidworks. ....	88
Figura 51. Mallado del banco de pruebas en Solidworks. ....	89
Figura 52. Estudio de tensiones del banco de pruebas en Solidworks.....	91
Figura 53. Estudio de desplazamientos del banco de pruebas en Solidworks. ....	92
Figura 54. Factor de seguridad del banco de pruebas en Solidworks. ....	93
Figura 55. Parte frontal de la máquina.....	97
Figura 56. Parte trasera de la máquina.....	97

Figura 57. Panel de control.....	98
Figura 58. Láser de dióxido de carbono instalado.....	98
Figura 59. Láser de dióxido de carbono emitiendo. ....	99
Figura 60. Mesa de trabajo. ....	99
Figura 61. Bomba de agua centrífuga.....	100
Figura 62. Extractor de aire y tubo de escape.....	100
Figura 63. Llave USB para usar WinsealXP.....	101
Figura 64. Mesa.....	101
Figura 65. Lubricante.....	101
Figura 66. Entrada y salida de refrigerante. ....	104
Figura 67. Instalación de la bomba de agua. ....	105
Figura 68. Instalación del extractor de aire. ....	106
Figura 69. Instalación de la puesta a tierra. ....	106
Figura 70. Ajuste de las propiedades de la máquina.....	107
Figura 71. Primer espejo reflector.....	108
Figura 72. Espejos reflectores y lente de enfoque. ....	108
Figura 73. Cinta de enmascarar en el espejo 2.....	109
Figura 74. Posición A del segundo espejo.....	110
Figura 75. Posición B del segundo espejo.....	110
Figura 76. Cabezal del lente de enfoque cerca al segundo espejo.....	111
Figura 77. Cabezal del lente de enfoque en la posición más lejana del segundo espejo.....	112
Figura 78. Material en la abrazadera. ....	117
Figura 79. Interfaz previa a iniciar el proceso de corte o grabado. ....	118
Figura 80. Prueba de funcionamiento en Corel DRAW X5.....	122
Figura 81. Máquina cortadora láser grabando. ....	123
Figura 82. Trabajo de grabado sobre madera terminado. ....	123

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Materiales susceptibles de ser tratados mediante láser. ....	29
Tabla 2. Alternativas de la máquina cortadora por rayo láser. ....	51
Tabla 3. Catálogo de Rayo Láser. ....	57
Tabla 4. Rugosidad absoluta de materiales. ....	59
Tabla 5. Propiedades del agua. ....	60
Tabla 6. Precios de PSU.....	72
Tabla 7. Variación de radio de polea para cálculo del primer torque. ....	78
Tabla 8. Variación de radio de polea para cálculo del segundo torque. ....	80
Tabla 9. Información de malla.....	90
Tabla 10. Factores de seguridad. ....	93
Tabla 11. Materiales peligrosos para cortar o grabar. ....	114
Tabla 12. Materiales permitidos para cortar. ....	115
Tabla 13. Materiales permitidos para grabar.....	116
Tabla 14. Análisis de fallas comunes. ....	121

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Cotización de máquina comercial. ....	128
Anexo B. Planos de la máquina. ....	129
Anexo C. Cálculos de la bomba en software EES. ....	162
Anexo D. Ficha técnica de la tarjeta controladora seleccionada. ....	163
Anexo E. Esquemas eléctricos de la tarjeta controladora seleccionada. ....	167
Anexo F. Ficha técnica y conexiones de la fuente de alimentación. ....	168
Anexo G. Catálogo Motores paso a paso. ....	177
Anexo H. Ficha técnica de los finales de carrera. ....	179

## LISTA DE SÍMBOLOS

$a$	Aceleración
$H_{bmax}$	Altura máxima de la bomba
$\Delta Z_{12}$	Altura en referencia al nivel del suelo
$A$	Área de la tubería
$\mu_D$	Coeficiente de fricción cinético para el cálculo del primer torque
$\mu_{D2}$	Coeficiente de fricción cinético para el cálculo del segundo torque
$K_{acc12}$	Constante de pérdidas menores
$D$	Diámetro de la tubería
$D_{in}$	Diámetro interno de la tubería
$f_r$	Fricción
$f$	Factor de fricción de Darcy
$N$	Fuerza Normal
$g$	Gravedad
$L$	Longitud de la tubería
$L_{12}$	Longitud de la tubería del circuito hidráulico
$L_T$	Longitud del tubo láser
$m$	Masa para el cálculo del primer torque
$m_2$	Masa para el cálculo del segundo torque
$Re$	Número de Reynolds
$h_f$	Pérdida de carga debida a la fricción
$P_{menores}$	Pérdidas por accesorios en el circuito hidráulico
$P_{fricción}$	Pérdidas por fricción en la tubería
$P_{TOTALES}$	Pérdidas totales del circuito hidráulico
$P_0$	Potencia del rayo láser
$R_2$	Radio de la polea del motor grande

$R$	Radio de la polea del motor pequeño
$\varepsilon$	Rugosidad de la tubería de polietileno
$T_1$	Tensión 1
$T_2$	Tensión 2
$T_3$	Tensión 3
$T_4$	Tensión 4
$Torque_2$	Torque mínimo para el motor grande
$Torque$	Torque mínimo para el motor pequeño
$V$	Velocidad media del fluido
$\nu$	Viscosidad cinemática

## RESUMEN

**TITULO:** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA CORTE Y GRABADO CON RAYO LÁSER CONTROLADA POR COMPUTADOR\*

**AUTORES:** Néstor Julián Mesa Albarracín  
Gerson Camilo Cañas Triana\*\*

**PALABRAS CLAVES:** láser de dióxido de carbono, diseño de máquina cortadora, control por computador.

### DESCRIPCIÓN:

El objetivo de este trabajo de grado es contribuir con el desarrollo académico de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander mediante una máquina de corte y grabado con rayo láser controlada por computador que pueda utilizarse como complemento en la formación de los estudiantes en diferentes áreas y asignaturas de la carrera. Además con el desarrollo de proyectos estudiantiles.

La máquina cortadora láser está constituida por dos motores paso a paso, los cuales mueven un lente de enfoque láser en un plano de coordenadas XY, el posicionamiento de estos motores es controlado por una tarjeta que recibe la señal del computador. El rayo láser es dirigido por un sistema de espejos hasta llegar a la mesa de trabajo, su pulso y alimentación es controlado por una fuente de energía. El calor que genera el láser se refrigera por medio de agua transportada por una bomba centrífuga.

El documento consta del desarrollo del proyecto, comenzando con la definición de un diseño conceptual claro, que permita una selección concisa de los subsistemas que conforman la máquina, la selección del rayo láser adecuado y su sistema óptico, la bomba y el sistema de refrigeración, los motores paso a paso, la tarjeta de control, la fuente de alimentación y el software que controlará la máquina por medio del computador, hasta la simulación del comportamiento de las partes críticas de la máquina cuando se someten a fuerzas por medio del software SOLIDWORKS.

Con base en las especificaciones previas, se estableció un diseño acorde a los parámetros establecidos, y se establecieron métodos de calibración y de prueba del equipo. Se acordaron protocolos de seguridad, ajuste, funcionamiento y mantenimiento que aseguraran un adecuado funcionamiento de la máquina.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingeniería Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director Ricardo Alfonso Jaimes Rolón

## ABSTRACT

**TITLE:** DESIGN AND CONSTRUCTION OF A LASER ENGRAVING AND CUTTING MACHINE CONTROLLED BY COMPUTER\*

**AUTHORS:** Néstor Julián Mesa Albarracín  
Gerson Camilo Cañas Triana\*\*

**KEY WORDS:** Carbon dioxide laser, design of laser cutting machine, computer control.

### DESCRIPTION:

The aim of this graduation project is to contribute with the academic development of the School of Mechanical Engineering at Industrial University of Santander through a cutting and engraving computer controlled laser beam machine that can be used as a complement to the learning experience of students in different areas of their career. In addition to the development of student projects.

The laser cutting machine is constituted by two stepper motors, which move a laser lens in a plane with XY coordinates, the positioning of these motors is controlled by a card that receives the signal from the computer. The laser beam is directed by a mirror system until it reaches the work table, its pulse and power is controlled by a power source. The heat generated by the laser is cooled by water provided by a centrifugal pump.

The document consists of the development of the project, starting with the definition of a clear conceptual design, which allows a concise selection of the subsystems that make up the machine, selecting the right laser and optical system, pump and cooling system, the stepper motors, control card, power supply and software that control the machine using the computer to simulate the behavior of the critical parts of the machine when is subjected to forces using the SOLIDWORKS software.

Based on the previous specifications, a design was established according to the parameters, and methods of calibration and testing equipment were decided. Security protocols, adjustments, operation and maintenance that will ensure proper operation of the machine were agreed.

---

\* Grade project

\*\* Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director Ricardo Alfonso Jaimes Rolón

## INTRODUCCIÓN

La creación de las máquinas herramientas promovió una manera de suplir los esfuerzos humanos en la producción de objetos de una forma efectiva. Con el desarrollo de este proyecto se busca fomentar la investigación y desarrollo en el campo de la manufactura y producción para el departamento de Santander, por medio del uso de nuevas tecnologías, como el corte y grabado por rayo láser. Aunque la primera máquina industrial fue introducida en 1988 en Estados Unidos de América, estas son relativamente nuevas en el ámbito académico y de producción colombiano. Estas máquinas se han convertido a nivel mundial, en potentes artefactos de mecanizado automático, ya que el software de diseño permitió la posibilidad de posicionamiento de la herramienta de corte (en este caso, el láser), de forma automática, por medio de estructuras deslizantes motrices y sistemas de potencia para lograr el posicionamiento cardinal.

Se plantea el diseño y construcción de una máquina para corte y grabado con rayo láser que pueda ser controlada por computador, iniciando con una referencia teórica de los conceptos que se deben tener en cuenta y finalizando con la elaboración de planos de construcción en los anexos (Anexo B). Dicha máquina será entregada a la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander. De esta manera, se complementa la formación de los estudiantes en un área muy prometedora.

Para el plan de trabajo se tienen en cuenta las siguientes fases: fase de identificación de la tarea, fase de investigación, fase de estudio, fase de diseño, fase de desarrollo, fase de operación, realización de pruebas y la fase de elaboración de memorias.

## **1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

Uno de los objetivos de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander es la preparación y formación de los estudiantes en avances científicos aplicados a la industria. Esta preparación se alcanza a través del desarrollo de nuevas tecnologías, por lo cual es necesario poseer recursos que permitan un trabajo adecuado para la formación del conocimiento.

Actualmente la Escuela de Ingeniería Mecánica no cuenta con ningún avance en el desarrollo de tecnologías con rayo láser, siendo este un campo prometedor en la fabricación y en la industria de un país en vías de desarrollo como Colombia. El corte y grabado por rayo láser tiene ventajas únicas comparado con la tecnología tradicional de corte de los equipos con que actualmente cuenta la escuela. Por esta razón, se busca que el desarrollo de la MÁQUINA PARA CORTE Y GRABADO CON RAYO LÁSER prepare e ilustre a los estudiantes en nuevas tecnologías que, probablemente, sean el reemplazo de los actuales sistemas de mecanizado. Además, actualmente casi todos los procesos de fabricación y producción del departamento de Santander se realizan por técnicas tradicionales de corte, cuando actualmente estos sistemas ya han sido reemplazados en países industrializados por máquinas de corte láser.

### **1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA**

Con el desarrollo de la MÁQUINA PARA CORTE Y GRABADO CON RAYO LÁSER en la Escuela de INGENIERÍA MECÁNICA de la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER se tiene como finalidad incentivar y promover la investigación en el campo del rayo láser y sus distintas aplicaciones en la

industria, permitiendo avances en conocimientos, y despertar la curiosidad de los estudiantes y docentes de la escuela en estas máquinas, y además, promover al desarrollo de la impresión 3-D o “Additive manufacturing” en el departamento de Santander y en la República de Colombia, ya que en países como Estados Unidos de América, este sistema de manufactura está solucionando problemas que los sistemas de manufactura tradicionales no pudieron resolver (figura 1).

La justificación de la propuesta radica en la realización del diseño y construcción de una máquina portátil, práctica y económica, en comparación a las que se encuentran en el mercado local e internacional (ver Anexo A, cotización de máquina comercial). La máquina cumplirá con las especificaciones técnicas para el corte y grabado en dos dimensiones, fabricada a partir de elementos y piezas locales e importadas, con la cual se buscará colaborar al desarrollo de distintos proyectos estudiantiles y de agentes externos a la Escuela de Ingeniería Mecánica.

La disponibilidad de la máquina en la Escuela de Ingeniería Mecánica permitirá garantizar precisión y economía en los proyectos que estudiantes y profesores desarrollen en sus distintos campos de interés. Además, contribuiría en la formación del conocimiento de los estudiantes en asignaturas relacionadas con los procesos e ingeniería de la manufactura en un campo tecnológico relativamente nuevo.

Figura 1. Máquina para corte y grabado por rayo láser 3-D.



Fuente: SHINING 3D [En línea] disponible en: [http://en.shining3d.com/lem\\_detail-4146.html](http://en.shining3d.com/lem_detail-4146.html)

## **1.3 OBJETIVOS**

**1.3.1 Objetivo General.** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA CORTE Y GRABADO CON RAYO LÁSER CONTROLADA POR COMPUTADOR, implementada para las solicitudes de cortes y/o grabados en distintos materiales como acrílicos, maderas, cuero, plásticos, etc. en diferentes piezas, creadas para las necesidades que se presenten en la Escuela de Ingeniería Mecánica. De esta manera se promueve el uso de nuevas tecnologías de fabricación en el departamento de Santander, dando vigencia a la misión de la Universidad Industrial De Santander.

### **1.3.2 Objetivos específicos.**

- Diseñar y construir una máquina para corte y grabado de los materiales mencionados en el objetivo general, con un rayo láser que realice cortes en dos dimensiones en un área de trabajo de 63x46 [cm<sup>2</sup>], por medio de un tubo de rayo láser de dióxido de carbono con una potencia de 40[W].
- Seleccionar un sistema de control que cumpla con las siguientes características:
  - Soporte CorelDraw y AutoCad.
  - Salida PWM o salida analógica.
  - Puerto de interfaz USB.
  - Configuración de motor múltiple.
  - Control de dos ejes.
- Crear los manuales de uso y de mantenimiento de la máquina.
- Realizar y registrar pruebas de corte de la máquina láser.

- Seleccionar una herramienta informática que permita vectorizar imágenes para que éstas sean soportadas por el sistema de control de la máquina.

## 2. PLANTEAMIENTO Y DOCUMENTACIÓN DEL PROBLEMA

El corte por láser tiene ventajas importantes. En primer lugar, la fabricación ágil, el corte con alta eficiencia, lo que significa una alta velocidad de corte. Ahorro de tiempo de producción, pues no es necesario una sujeción de la pieza, como en el mecanizado tradicional, ahorro de material, formando una sola vez y fácil automatización. En segundo lugar, fabricación de alta calidad en los cortes, procesamiento sin contacto, sin distorsiones de calor y tensiones mecánicas como resultado del proceso, de esta manera se logra una alta calidad superficial con un mínimo de material de residuos. En tercer lugar, la manufactura flexible, permite cortar una gran variedad de materiales, placas de metal y no metal (dependiendo de la potencia y del tipo de láser) de diversas formas y tamaños. En cuarto lugar, se logra una manufactura más amigable con el medio ambiente, hay poco ruido y ninguna formación de viruta. Por todos estos beneficios, no es de extrañarse que el corte por láser logre posicionarse como una técnica de manufactura tradicional en un futuro no muy lejano. En este capítulo se hace una descripción de los fundamentos teóricos en los que se basa la construcción de la máquina.

### 2.1 HISTORIA DE LAS MÁQUINAS DE CORTE POR RAYO LÁSER<sup>1</sup>

La primera máquina comercial para corte por rayo láser se introdujo en el mercado en el año de 1978 en Nueva York, Estados Unidos. Desde que el rayo láser se introdujo en la industria, se ha buscado desarrollar máquinas que puedan realizar cortes y grabados mecánicos los cuales se realizan con las máquinas convencionales.

---

<sup>1</sup> BERTOLOTTI, Mario. *The history of the Laser*. University of Rome "La Sapienza". Translated from *Storia del laser*. Copyright: 1999 Bollati Boringhieri Editore Torino. ISBN 0 7503 0911 3.

El ser humano ha buscado la manera de perfeccionar técnicas para manufacturar diversos objetos que usamos a diario. Las técnicas más conocidas hoy en día son el torneado, fresado, trazado, rectificando, aserrado, cepillado, esmerilado, etc. Algunas han evolucionado gracias al Control Numérico Computarizado (CNC), el cual ha logrado conseguir mejores acabados en menos tiempo, esto fue necesario debido a la alta demanda del mundo altamente globalizado. Estas máquinas CNC se pueden complementar con la aplicación del Láser. Aunque en 1916 Albert Einstein estableció los fundamentos teóricos para el desarrollo de los láseres, solo hasta años cercanos a 1960 aparecieron bien constituidos, el primero fue uno de rubí construido por Theodore Maiman y desde ahí han venido más de cincuenta años de desarrollo, sobretodo en el campo industrial.

## **2.2 EL RAYO LÁSER**

Un láser es una amplificación de luz por emisión estimulada de radiación, es un dispositivo que utiliza un efecto de la mecánica cuántica, la emisión inducida o estimulada, para generar un haz de luz coherente tanto espacial como temporalmente. La coherencia espacial se corresponde con la capacidad de un haz para permanecer con un pequeño tamaño al transmitirse por el vacío en largas distancias y la coherencia temporal se relaciona con la capacidad para concentrar la emisión en un rango espectral muy estrecho.<sup>2</sup>

**2.2.1 Aplicaciones del rayo Láser.**<sup>3</sup> Debido a las propiedades particulares del haz de radiación luminosa con su gran potencia concentrada (el láser), hacen de él una herramienta ideal en muchas aplicaciones donde se precise de una fuente controlada y localizada de energía. Si a este factor diferenciador inicial se le suma la facilidad para su control automático y regulación, se observa como se amplía el campo de utilización a otros usos en los que la precisión, la minimización de daños

---

<sup>2</sup> F. K. Kneubühl, M. W. Sigrist: *Laser*. 3. Auflage. Teubner, 1991, Pág. 4.

<sup>3</sup> ABOITES, Vicente. El Láser [en línea]. México. [fecha de consulta: 28 de julio del 2014]. Disponible en: <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/105/htm/ellaser.htm>

colaterales y la menor modificación de la características del material circundante y de sus dimensiones son importantes. De ahí el amplísimo rango de aplicaciones.

**2.2.2 Aplicaciones a la Ingeniería Mecánica.**<sup>4</sup> En el mundo industrial se han producido avances sustanciales en el desarrollo e implantación de tecnologías láser en todo tipo de materiales. Dentro del procesado de materiales, el láser es utilizado como se había dicho en todas las ramas (corte, soldadura, marcado microscópico, etc.) al poder ser empleado en casi todos los materiales y tener una muy buena respuesta en el mecanizado (tabla 1).

Tabla 1. Materiales susceptibles de ser tratados mediante láser.

Metálicos	No Metálicos
Aceros al carbono	Polímeros
Aceros inoxidable	Cerámicos
Aceros de herramientas	Madera
Fundiciones	Vidrio
Aleaciones ligeras	Caucho
Aleaciones de cobre	Cuero
Aleaciones de titanio	Corcho

Fuente: El láser [En línea] disponible en:

<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/105/htm/ellaser.htm>

**2.2.3 Láser de dióxido de carbono.**<sup>5</sup> Por lo general las máquinas para corte y grabado por rayo láser difieren unas de otras dependiendo del tipo de rayo láser que se utilice. Cada tipo de rayo láser tiene sus ventajas y desventajas dependiendo del tipo de material que se vaya a trabajar y del tipo de corte que se vaya a realizar. El más común para las máquinas de corte y grabado por su precio y efectividad, es el láser de dióxido de carbono. Hay que resaltar que ciertas máquinas utilizan láseres en estado sólido o láseres de cristal, ambas opciones son muy costosas, aunque pueden lograr corte de metal.

---

<sup>4</sup> Ídem.

<sup>5</sup> Íbidem.

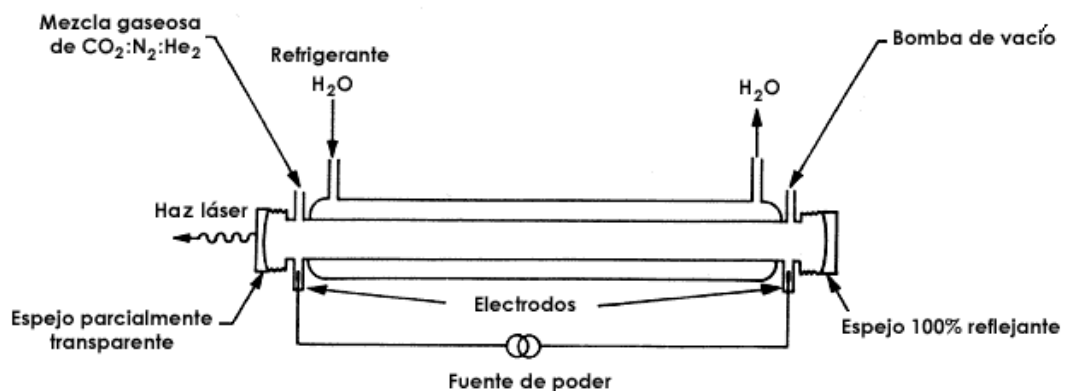
El láser de dióxido de carbono es un tipo de láser de gas, el cual es estimulado eléctricamente. Por lo general se utilizan para cortar materiales no metálicos y en su mayoría plásticos. El rayo tiene una alta eficiencia y además una buena calidad en los cortes y grabados.

Basados en su construcción, los láseres de dióxido de carbono se dividen en las siguientes categorías: Láseres de flujo axial lento, láseres de onda guiada, láseres de flujo axial rápido, láseres de difusión-congelante, láseres de flujo transversal y láseres de presión atmosférica excitados transversalmente.

El medio activo en este láser es una mezcla de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) aproximadamente entre un 10 y 20 por ciento, nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) entre un 10 y 20 por ciento y helio ( $\text{He}$ ) en la cantidad que sea suficiente para completar la mezcla, aunque las transiciones láser se llevan a cabo en los niveles energéticos del  $\text{CO}_2$ .

En algunas ocasiones también se pueden encontrar pequeños porcentajes de hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) o Xenón ( $\text{Xe}$ ). A continuación se observará que el  $\text{N}_2$  y el  $\text{He}$  son importantes para los procesos de excitación y desexcitación de la molécula de  $\text{CO}_2$  (figura 2).

Figura 2. Láser de Dióxido de carbono.



Fuente: Emisores de luz: láseres y LED's [En línea] disponible en:

<http://personales.upv.es/jogomez/fai/tema06a.html>

**2.2.4 Láser de fibra óptica.**<sup>6</sup> Los láseres de fibra pertenecen al grupo de los láseres sólidos. Generan el rayo láser mediante lo que se conoce como "Seed Laser" y lo amplifican en fibras de vidrio especialmente montadas a las que se suministra energía a través de diodos de bombeo. Con una longitud de onda de 1,064 micrómetros, los láseres de fibra consiguen un diámetro de foco muy pequeño, por lo que su intensidad es hasta 100 veces superior a la de los láseres de CO<sub>2</sub> de la misma potencia media emitida.

Los láseres de fibra (figura 3) resultan ideales para el marcado de metales y para marcados en plástico ricos en contrastes. Los láseres de fibra por lo general no requieren mantenimiento y se caracterizan por su larga vida útil, de por lo menos 25.000 horas de láser.

Este tipo de láser es adecuado para los siguientes materiales: metales, metales revestidos, plásticos.

Figura 3. Esquema principal de un láser de fibra óptica.



Fuente: GRUPO GODED [en línea] disponible en: [http://goded.com/laser-plasma-oxicorte/?attachment\\_id=14](http://goded.com/laser-plasma-oxicorte/?attachment_id=14)

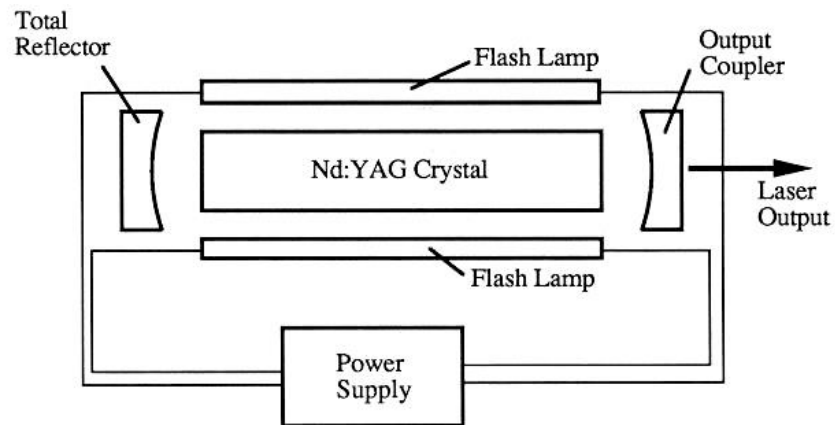
<sup>6</sup> TROTEC. Comparación de tipos de láser [en línea]. Baranquilla, Colombia. fecha de consulta: [23 de marzo del 2016]. Disponible en: <http://concepto.de/fuente-de-alimentacion/#ixzz43kv0WrnD>

**2.2.5 Láser Nd: YAG.**<sup>7</sup> Como los láseres de fibra, los láseres de cristal pertenecen a los láseres sólidos. Para aplicaciones de marcado, en la actualidad estos láseres son bombeados por diodos (antes mediante lámparas de rayos). Los tipos de láser más habituales de esta categoría son Nd:YAG (granate de itrio-aluminio dopado de neodimio) y Nd:YVO (ortovanadato de itrio dotado de neodimio), llamados así por el elemento de dopado neodimio y el cristal anfitrión. Con 1,064 micrómetros, los láseres de cristal presentan la misma longitud de onda que los láseres de fibra y por lo tanto también resultan adecuados para marcar metales y plásticos.

A diferencia de los láseres de fibra, estos tipos de láser necesitan de diodos de bombeo como material de desgaste, que son relativamente costosos, y que hay que cambiar aproximadamente cada 8.000 o como máximo 15.000 horas de láser. Incluso el propio cristal tiene una vida útil mucho más reducida que el láser de fibra (figura 4).

Este tipo de láser es adecuado para los siguientes materiales: metales, metales revestidos, plásticos, y en parte también cerámica.

Figura 4. Esquema principal de un láser Nd:YAG.



Fuente: YAG laser machining of materials [en línea] disponible en:  
<http://www.aml.engineering.columbia.edu/ntm/level1/ch05/html/l1c05s07.html>

<sup>7</sup> Ídem.

**2.2.6 Corte mediante Láser.**<sup>8</sup> En el corte mediante láser se utiliza la radiación procedente de la fuente láser para calentar la pieza hasta alcanzar la temperatura de fusión, al tiempo que una corriente de gas a presión arrastra el material fundido. La utilización del láser en este campo ofrece muchos aspectos positivos. El haz láser focalizado sobre la pieza tiene unas dimensiones mínimas, de modo que actúa como una herramienta puntual. Por tanto, la zona afectada térmicamente es muy limitada, lo que evita la aparición de distorsiones en piezas que pueden tener contornos muy complejos. El corte por láser se puede realizar sobre chapas finas de metal, madera, plástico, tela o cerámica y sobre diversos materiales, desde acero a corcho, pasando por materiales plásticos, etc., para formas en dos y tres dimensiones. Las fuentes láser utilizadas son de media y baja potencia (de 0,4 a 1,2 [kW]), consiguiéndose realizar cortes en piezas de espesores que van desde los 0,5 a los 8 [mm], con tolerancias entre +/- 0,05 y +/- 0,1 [mm].

Las ventajas que ofrece el láser sobre las técnicas convencionales en este tipo de utilizaciones son las siguientes:

- Mejor aprovechamiento del material, debido a que la anchura del surco generado es mínima.
- Las paredes de corte son perpendiculares a la pieza y paralelas entre sí.
- La pieza cortada no precisa ningún tratamiento ni limpieza posteriores.
- Se pueden realizar cortes en cualquier dirección.
- El proceso es altamente flexible y automatizado.
- No se precisan cambios de herramienta, lo que aumenta la flexibilidad y eficiencia de los equipos.
- Es un proceso rápido y silencioso.
- Dentro de este campo, podemos destacar las siguientes aplicaciones innovadoras:

---

<sup>8</sup> Íbidem.

- Corte de materiales innovadores (Titanio y plástico).
- Corte de vidrio.

Si bien el corte por láser constituye una inversión que bien aplicada brinda excelentes resultados, si no se cuenta con la capacitación adecuada puede llegar a conducir a graves errores en la manufactura del producto y también puede poner en riesgo la integridad física del operario.

**2.2.7 Grabado mediante Láser.**<sup>9</sup> La técnica utilizada normalmente para realizar el marcado mediante láser es por desplazamiento del haz. Con esta técnica se focaliza un haz láser de media potencia sobre la superficie a marcar. El haz se orienta mediante una combinación de espejos galvanométricos de manera que sigue el recorrido del diseño a marcar. En función del tipo de material que se va a grabar, se utilizan distintos tipos de fuentes láser: CO<sub>2</sub>, Nd:YAG o excímeros.

Actualmente pueden marcarse una gran variedad de materiales: metálicos, plásticos, vidrio, etc. La profundidad de la zona marcada va desde algunas micras (marcado superficial) a décimas de milímetros (marcado profundo). La superficie máxima de marcado es un cuadrado de 100x100 [mm]. Mediante la utilización de equipos de baja potencia se puede realizar el marcado de elementos de envasado sobre ventanas pre impresas, sobre todo papel, con los datos sobre lotes de fabricación y fechas de consumo preferente, muy importantes en la industria del envasado de bienes de consumo.

## **2.3 SISTEMAS DE POTENCIA**

El rayo láser seleccionado debe ser posicionado por un sistema capaz de moverlo a la posición deseada y ordenada por un sistema de control, a continuación, se

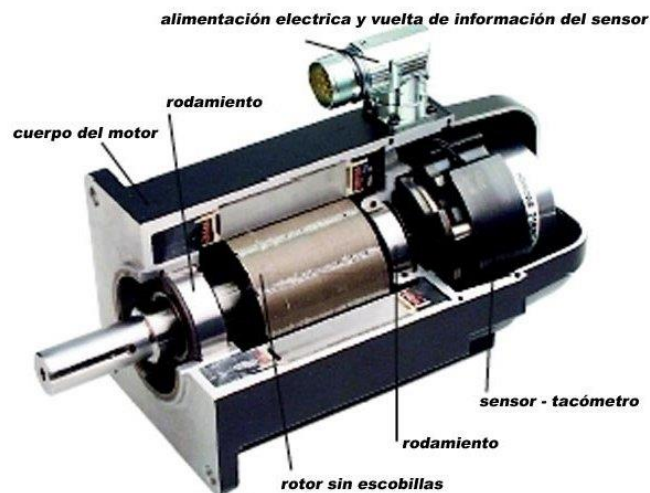
---

<sup>9</sup> íbidem.

describen los sistemas de potencia más comunes en las máquinas cortadoras láser comerciales.

**2.3.1 Servomotor.** Un servomotor es un motor pequeño con un eje controlado, este eje se lleva a diferentes posiciones angulares al enviar una señal codificada, cuando esta señal cambia, la posición angular de los piñones del servomotor varía. Los servos son muy útiles en la robótica ya que no consumen mucha energía (figura 5).

Figura 5. Servomotor.



Fuente: Servomotor [En línea] disponible en: <http://www.castor.es/servomotor.html>

**2.3.2 Motores paso a paso.**<sup>10</sup> Son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. En todos aquellos mecanismos que requieran posicionarse con precisión en puntos fijos. La diferencia con los motores comunes es que pueden detenerse en posiciones determinadas con una precisión de minutos, cosa que los motores comunes no pueden hacer por su inercia mecánica. Fotocopiadoras, plateadoras, máquinas de control numérico, impresoras, lectoras de cd, robótica, etc. son las aplicaciones más comunes. La

<sup>10</sup> AFANADOR, Diana Marcela. Y PEREZ, Cristian Jhair. Diseño y construcción de un mini-router CNC para cortar láminas de aluminio. Trabajo de grado ingeniero mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial De Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2013. P.37

cantidad de giros o desplazamiento angular de estos motores es programada en forma secuencial para aplicar a los mecanismos. Para ello se necesitan controladores comandados por órdenes de características de lógica digital (figura 6).

Figura 6. Motor paso a paso.



Fuente: Motor Paso a Paso 2.4Kg/cm [En línea] disponible en:  
<http://www.bricogeek.com/shop/motores/75-motor-paso-a-paso-24kg-cm.html>

## 2.4 SISTEMAS DE TRANSFERENCIA DE POTENCIA

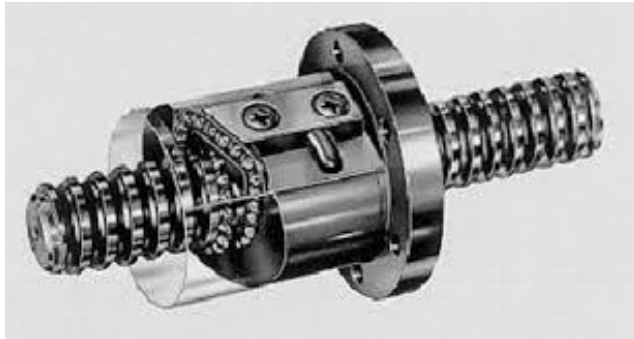
**2.4.1 Tornillo de potencia.**<sup>11</sup> Es un sistema que cambia el movimiento angular por lineal, este sistema desarrolla un excelente rendimiento y disminuye las pérdidas mecánicas significativamente, es el elemento de transmisión de potencia más utilizado en el mercado. Tiene gran ventaja mecánica, tanto a tensión como a compresión, lo que lo hace un gran candidato al proporcionar múltiples opciones.

El tornillo de potencia nos ofrece ventajas como: obtener ventaja mecánica con el objeto, ejercer fuerzas de gran magnitud y obtener un posicionamiento preciso de un movimiento axial (figura 7).

---

<sup>11</sup> Ídem. Pág.35.

Figura 7. Tornillo de potencia.



Fuente: TORNILLOS Y UNIONES ATORNILLADAS [En línea] disponible en <http://will2011ulatinacr.blogspot.com.co/2011/07/tornillos-y-uniones-atornilladas.html>

**2.4.2 Cadenas.**<sup>12</sup> Su funcionamiento es de manera similar que los engranajes, manejan velocidades relativamente medias y son útiles para transmisión de movimiento a larga distancia. Dentro de sus defectos se encuentra que este sistema es muy ruidoso, puede acarrear descarrilamiento en altas velocidades y es supremamente inexacto, pues depende de su exactitud el número de dientes por rueda, lo que generalmente es muy poco (figura 8).

Figura 8. Cadena de transmisión.



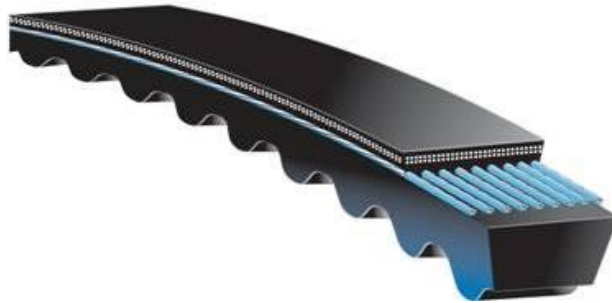
Fuente: Transmisiones por cadena, correa dentada o cardan. [En línea] disponible en: <http://www.motorpasionmoto.com/tecnologia/transmisiones-por-cadena-correa-dentada-o-cardan-para-gustos-los-colores>

---

<sup>12</sup> Íbidem. Pág.34.

**2.4.3 Bandas dentadas.** Es un método de transmisión de energía mecánica entre un piñón que arrastra y otro que es arrastrado. El sistema de dentado impide que haya deslizamiento mutuo, y además ofrece una disipación del calor generado durante operación. Pueden circular fácilmente sobre poleas de diámetros pequeños y ofrecen mayor vida útil que las bandas tradicionales (figura 9).

Figura 9. Banda dentada.



Fuente: POWERING PROGRESS [En línea] disponible en:  
<http://www.gates.com.mx/seccion04.asp?subseccion=19>

## 2.5 SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control está compuesto por dos partes esenciales que se integran para que la máquina funcione correctamente.

### 2.5.1 Hardware.

2.5.1.1 Tarjeta de Control.<sup>13</sup> Las tarjetas de control existen de diversos costos, dependiendo de la configuración que se desee tener, se encuentran las que poseen diversas salidas que controlan los motores, todo dependiendo de los ejes de salida que se necesiten. Además existen tarjetas que permiten recibir señales

---

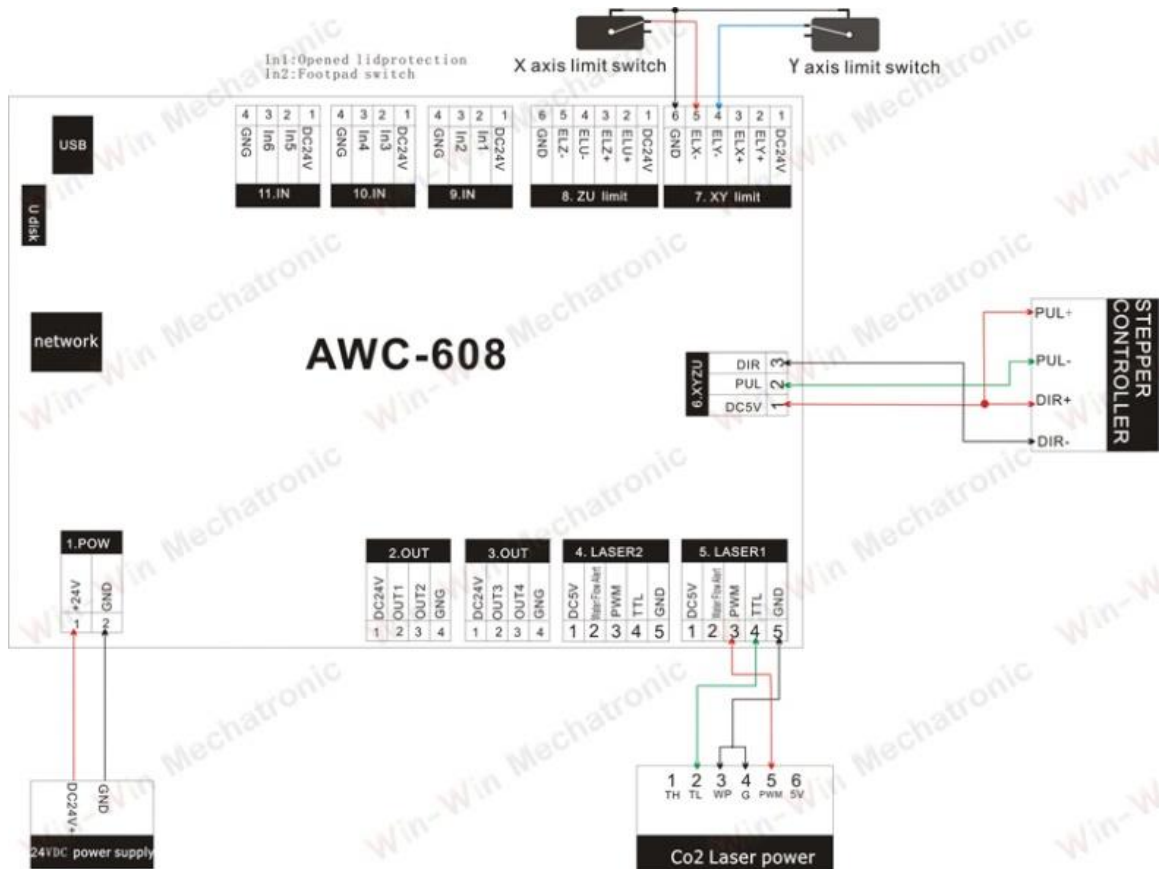
<sup>13</sup> AFANADOR, Diana Marcela. Y PEREZ, Cristian Jhair. Diseño y construcción de un mini-router CNC para cortar láminas de aluminio. Trabajo de grado de la escuela de ingeniería mecánica. Bucaramanga: Universidad Industrial De Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. 2013. Pág.39.

de entrada lo cual permite un control manual y digital que sería solamente a través del computador.

Las tarjetas de control básicas nos permiten un control de la potencia del rayo láser por PWM "PULSE WIDTH MODULATION", control de dos ejes, los límites, y señales de entrada para el botón de parada de emergencia si se desea instalar.

La PWM básicamente es una señal de voltaje que se utiliza para modificar la cantidad de energía que es enviada a una carga. Por lo general, en las tarjetas controladoras de láseres se envían señales entre 0 [V] y 5[V] (figura 10).

Figura 10. Mapa de un sistema controlador.



Fuente: The control screen LASER AWC608 co2 laser. [En línea] disponible en:

<http://klongthomshoppingmal.tarad.com/product-en-1010924-5458203->

[The+control+screen+LASER+AWC608+co2+laser.html](http://klongthomshoppingmal.tarad.com/product-en-1010924-5458203-The+control+screen+LASER+AWC608+co2+laser.html)

2.5.1.2 Fuente de Energía.<sup>14</sup> Se le llama fuente de poder o de alimentación (PSU en inglés) al dispositivo que se encarga de transformar la corriente alterna de la línea eléctrica comercial que se recibe en los domicilios (110 volts en Colombia) en corriente continua o directa; que es la que utilizan los dispositivos electrónicos tales como televisores y computadoras, suministrando los diferentes voltajes requeridos por los componentes, incluyendo usualmente protección frente a eventuales inconvenientes en el suministro eléctrico, como la sobretensión.

Las fuentes de poder pueden ser lineales o conmutativas. Las fuentes lineales siguen el esquema de transformador (reductor de tensión), rectificador (conversión de voltaje alterno a onda completa), filtro (conversión de onda completa a continua) y regulación (mantenimiento del voltaje de salida ante variaciones en la carga). Las fuentes conmutativas, en cambio, convierten la energía eléctrica por medio de conmutación de alta frecuencia sobre transistores de potencia. Las fuentes lineales son típicamente de regulación ineficiente, comparadas con fuentes conmutativas de similar potencia. Estas últimas son las más utilizadas cuando se requiere un diseño compacto y de bajo costo (figura 11).

Figura 11. Fuente de energía.



Fuente: La fuente de alimentación. [En línea] disponible en: <http://concepto.de/fuente-de-alimentacion>

---

<sup>14</sup> Autor desconocido. Concepto de fuente de alimentación [en línea]. Concepto.de. [fecha de consulta: 23 de marzo del 2016]. Disponible en: <http://concepto.de/fuente-de-alimentacion/#ixzz43kv0WrnD>

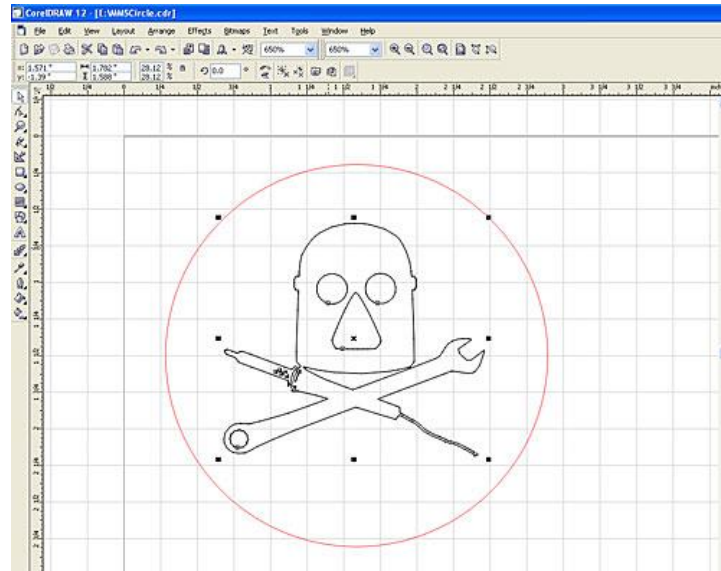
Los pasos esenciales que cumple la fuente son cuatro:

- **Transformación.** Allí se consigue reducir la tensión de entrada a la fuente (220 v o 125 v), que son las que suministra la red eléctrica. Allí participa un transformador en bobina. La salida de este proceso generará de 5 a 12 voltios.
- **Rectificación.** Tiene el objetivo de asegurar que no se produzcan oscilaciones de voltaje en el tiempo. Se intenta con esta fase pasar de corriente alterna a corriente continua a través de un componente que se llama puente rectificador o de Graetz. Esto permite que el voltaje no baje de 0 voltios, y siempre se mantenga por encima de esta cifra.
- **Filtrado.** En esta fase se aplanan al máximo la señal, eso se consigue con uno o varios condensadores, que retienen la corriente y la dejan pasar lentamente, con lo que se logra el efecto deseado.
- **Estabilización.** Cuando se dispone ya de la señal continua y casi del todo plana, solo resta estabilizarla por completo.

**2.5.2 Software.** La máquina cortadora láser funciona de manera muy semejante a una impresora convencional, el mercado ofrece gran cantidad de software gratuito y pago que permite realizar el vínculo entre el computador y la máquina. El concepto fundamental es diseñar en el software, y posteriormente mandarlo a la máquina a través del driver de impresión.

2.5.2.1 CorelLaser. CorelDRAW ofrece una solución completa con herramientas de ilustración dedicadas, como la extensión Laser (Corel Laser), la cual permite comunicar el computador con la máquina cortadora láser. Crea proyectos rápidamente accediendo a contenido de diseño de diferentes orígenes. Una amplia gama de más de 100 formatos de archivo, como WebCGM, SVG, DWG, PDF 3D, EPS y TIFF pueden ser trabajados (figura 12).

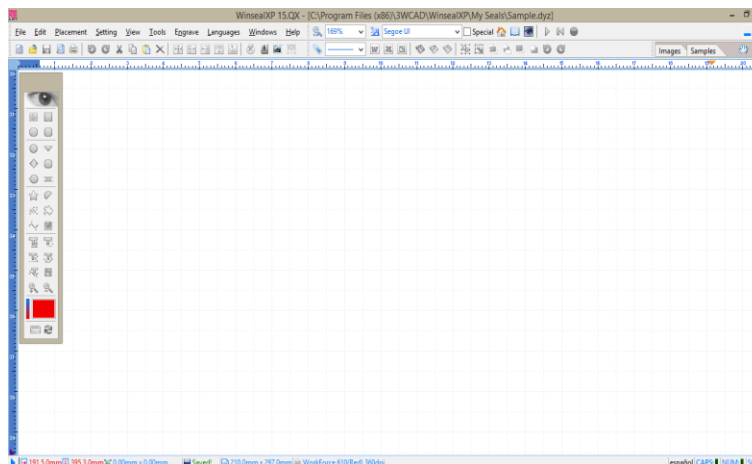
Figura 12. Interfaz CorelDraw



Fuente: Laser Cut Files. [En línea] disponible en: <http://rasterweb.net/raster/2012/01/19/laser-cut-files/>

2.5.2.2 WinsealXP. Este software permite importar imágenes de diversos formatos y acepta la conexión a varias tarjetas controladoras diseñadas para máquinas cortadoras láser. Además tiene una interfaz de fácil aprendizaje para que el usuario pueda realizar sus trabajos y diseños sin complicaciones (figura 13).

Figura 13. Interfaz WinsealXP.



## 2.6 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

El tubo de laser de dióxido de carbono requiere de un sistema de refrigeración, ya que mientras está funcionando este eleva su temperatura. Para dar solución a esta problemática es necesario emplear un refrigerante impulsado por una bomba que remueva este calor por medio de agua helada, estos sistemas permiten reciclar el agua sin necesidad de ser remplazada. La selección de la bomba y del refrigerante adecuado, depende de la potencia del rayo láser(figura 14).

Figura 14. Chiller Industrial.

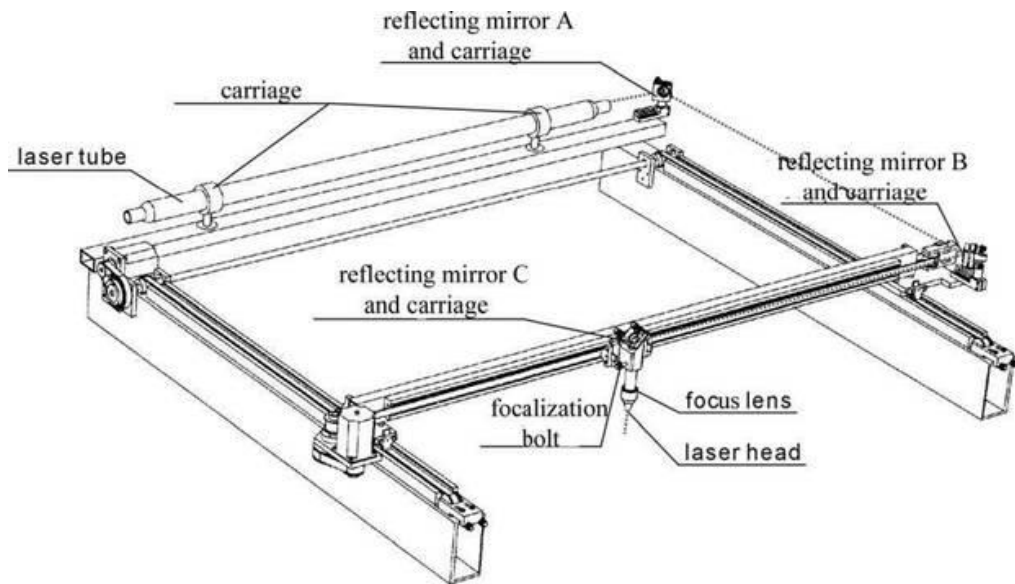


Fuente: KARTIER TECHNOLOGY [en línea] disponible en: <http://kartier.pl/akcesoria.html>

## 2.7 SISTEMA ÓPTICO

El láser que emite el tubo de dióxido de carbono jamás va directamente a la pieza de trabajo, pues sería muy complicado mover el tubo laser para poder lograr el corte. Debido a esto se emplean dos espejos reflectores que desvían el láser en un ángulo de 90 grados cada uno, para que finalmente llegue al lente de enfoque que lo direcciona a la pieza de trabajo (figura 15).

Figura 15. Sistema óptico.



Fuente: Microfluidic Materials: Polymeric Laminate Technology [en línea] disponible en:  
<http://faculty.washington.edu/yagerp/microfluidicstutorial/polymericlaminates/polymericlaminates>

El sistema óptico debe ser de excelente calidad para que no hayan pérdidas de potencia del láser en el recorrido, y además, ser cuidadosamente ajustado y calibrado. De esta manera se asegura precisión en la llegada del láser a la pieza de trabajo (figura 16).

Figura 16. Espejo reflector y lente de enfoque.



Fuente: High-Power Density-Focusing Optics [en línea] disponible en:  
<http://www.ulsinc.com/products/features/hpdfo/>

## 2.9 SISTEMA DE EXTRACCIÓN

Las máquinas actuales para corte y grabado láser son muy seguras y productivas cuando sus sistemas son correctamente instalados y operados. El sistema de extracción de gases es un componente clave para que esto se logre. Muchos de los gases generados cuando la máquina se encuentra trabajando pueden hacer daño al sistema respiratorio humano, por lo cual es estrictamente necesario un ventilador extractor. Este ventilador extractor mantendrá el interior de la máquina limpio y el aire alrededor de la máquina seguro para el ser humano. A continuación se ilustra un sistema con el cual cuentan actualmente la mayoría de máquinas comerciales (Figura 17).

Figura 17. Sistema de ventilación.



Fuente: Extractor de humo láser [en línea] disponible en:  
<http://www.directindustry.es/prod/airmex/product-157773-1711675.html>

### **3. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO CONCEPTUAL**

Las máquinas actuales para corte y grabado láser son muy seguras y productivas cuando sus sistemas son correctamente instalados y operados. Debido a esto, es muy importante tener un diseño claro y conciso, ya que un buen desarrollo de la máquina, permite, mediante la aplicación de nuevas tecnologías, optimizar los procesos de manufactura tradicionales. Para poder realizar el respectivo diseño y construcción de la máquina cortadora láser, se debe constituir un proyecto que sea viable económicamente, y que además cumpla con los objetivos establecidos anteriormente.

#### **3.1 NECESIDADES**

La principal necesidad que debe cumplir una máquina cortadora láser es poder realizar trabajos de producción extremadamente difíciles para la manufactura tradicional. La necesidad de poder manufacturar diseños cada vez más complejos ha hecho que los métodos tradicionales sean inviables para realizarlos, el láser va a ser una tendencia para los próximos años debido a que puede suplir esta necesidad, ya que una de las principales características es que logra unos cortes muy finos, limpios y complejos.

A continuación se nombran las necesidades que deben cumplir los diferentes sistemas de la máquina:

- Sistema de extracción: cuando la máquina se encuentra trabajando, dependiendo del material cortado, produce una serie de gases y residuos que deben ser evacuados de esta, pues estos pueden generar daños con el tiempo en el equipo y además afectar la salud del operario. Por lo general estos gases son extraídos hacia el medio ambiente.

- Refrigerador para el rayo láser: el medio que amplifica el rayo láser es un gas, este gas debe ser refrigerado por un circuito refrigerante, pues se va a trabajar con potencias de un valor considerablemente alto. El enfriador debe reducir la temperatura de recirculación en el tubo láser. De esta manera se evitan sobrecalentamientos en el tubo de láser y se asegura un correcto funcionamiento de este sistema.
- Tipo de rayo láser: existen gran cantidad de tipos de láser en el mercado actual, cada uno tiene diferentes cualidades y características dependiendo del uso que se le quiera dar.
- Compresor de aire: el compresor debe aportar un gas a presión como oxígeno, argón o nitrógeno para poder evacuar el material cortado. Por lo general la salida del gas se encuentra contigua a la salida del láser de trabajo hacia la pieza.
- Sistema de control: el sistema de control debe permitir una óptima conexión entre el computador y la máquina. Para esto se necesita de una tarjeta de control que se encargue de los motores, las señales de entrada, las señales de salida, la parada de emergencia y demás sistemas que sean considerados. Además el computador debe contar con un software que sea soportado por el sistema de control.
- Sistema de potencia y de transmisión de potencia: se requiere de un sistema que proporcione movimientos precisos, con buena resistencia mecánica y de buen rendimiento, que no genere muchas pérdidas en la transmisión de potencia.
- Sistema óptico: El sistema óptico debe ser de excelente calidad para que no hayan pérdidas de potencia del láser en el recorrido, y además, ser

cuidadosamente ajustado y calibrado. De esta manera se asegura precisión en la llegada del láser a la pieza de trabajo.

### **3.2 PARÁMETROS DE DISEÑO**

La máquina cortadora láser debe cumplir con los siguientes requerimientos generales:

- Seguridad.
- Fácil mantenimiento.
- Repuestos de fácil adquisición.
- Láser con buena vida útil.
- Fácil instalación.
- Fácil transporte.
- Precisión.
- Piezas estándar.
- Interfaz amigable.
- Económica.
- Mecanismo sencillo.
- Control de dos ejes.
- Puerto de interfaz USB.

### **2.3 PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS CONCEPTUALES**

Se consideraron tres alternativas de láseres que se pueden encontrar actualmente en las máquinas cortadoras láser y en el mercado de países desarrollados. Cada una de estas tiene sus ventajas y desventajas dependiendo del propósito para el cual se vayan a utilizar. Hay que aclarar que el fin del proyecto de grado es totalmente académico.

**3.3.1 Máquina Láser de Dióxido de Carbono.** Las máquinas cortadoras por rayo láser de dióxido de carbono (figura 18) son las más comunes del mercado, los repuestos son de fácil adquisición en cualquier lugar del mundo. No son aptas para trabajar sobre metal, su mantenimiento es sencillo y son la alternativa más económica para pequeños trabajos y para el ámbito académico. Por lo general, el movimiento del espejo que enfoca el rayo láser se realiza por motores paso a paso y por correas.

Figura 18. Máquina cortadora láser de dióxido de carbono.



**3.3.2 Máquina Láser de Fibra óptica.** La mayoría de máquinas cortadoras láser de fibra óptica (figura 19) no necesitan de un alineamiento óptico ni de complejos requerimientos en la instalación. Una gran ventaja de este tipo de máquinas es

que no requieren de reemplazo muy rápido del rayo láser, lo que hace que este tipo de máquinas no requieran de un mantenimiento muy exhaustivo.

Figura 19. Máquina cortadora láser de fibra óptica.



Fuente: TITAN FLS 612 [en línea] disponible en: <http://www.fonon.us/fiber-laser-cutting-systems/>

**3.3.3 Máquina Láser Nd:YAG.** Las máquinas cortadoras láser Nd:YAG (figura 20) son las más rápidas del mercado y se genera muy poco calor en las zonas tratadas con el láser. Son más estables que el láser de dióxido de carbono, ya que son adecuadas para largos ciclos de trabajo. Por lo general estas máquinas cuentan con tornillos de bola de alta precisión y un sistema de accionamiento por servomotores, lo cual las hace muy exactas.

Figura 20. Máquina cortadora láser Nd:YAG.



Fuente: Nd:YAG laser cutting machine / carbon steel / stainless steel / CNC [en línea] disponible en: <http://www.directindustry.com/prod/wuhan-tianqi-laser-equipment-manufacturing-co-ltd/product-69351-1080899.html>

### 3.4 EVALUACIÓN Y DEFINICIÓN DEL DISEÑO

A continuación se presentan las ventajas y desventajas de las alternativas de diseño mencionadas anteriormente (tabla 2).

Tabla 2. Alternativas de la máquina cortadora por rayo láser.

Alternativas de diseño	Ventajas	Desventajas
<b>Máquina Láser de Dióxido de Carbono</b>	Bajo costo de las partes debido a que pueden ser de dimensiones pequeñas.	No son aptas para trabajar sobre metal. Mantenimiento en cada encendido.
<b>Máquina Láser de Fibra</b>	Fácil mantenimiento. Permiten trabajar sobre metal	Altos costos de las partes. Dimensiones muy grandes.
<b>Máquina Láser YAG</b>	Fácil mantenimiento. Permiten trabajar sobre metal.	Altos costos de las partes. Dimensiones muy grandes.

Para el diseño de la máquina cortadora láser se define el láser de dióxido de carbono como la opción para dar solución al problema, ya que es una elección económica (desde US \$ 160 para 40 [W]), de fácil mantenimiento y de fácil adquisición en el mercado. El láser YAG y el láser de fibra son muy costosos y son más difíciles de adquirir, por lo general estos tipos de láseres se utilizan para máquinas de gran tamaño en las industrias. La idea es lograr el movimiento y posicionamiento del rayo láser de una manera sencilla, económica y de fácil entendimiento, para esto es importante que el diseño de las dimensiones, el sistema de movimiento y el sistema óptico se solucione de manera económica y sencilla.

El diseño del bastidor de la máquina cortadora láser se efectúa en lámina Cold Rolled calibre 22, puesto que este material tiene buenas propiedades mecánicas, bajo costo, y buena disponibilidad. Además, el factor más importante, es que este material es imposible de cortar o grabar por un láser de dióxido de carbono de 40 [W], lo cual brinda seguridad al momento de hacer pruebas o de alinear el sistema óptico. Para mejorar su resistencia a la oxidación, se le hace un recubrimiento con

pintura epóxica especial, que es aplicable para superficies ferrosas de gran resistencia a químicos fuertes, humedad y desgaste por calor, alta flexibilidad, libre de convertidores químicos tóxicos, alto espesor y alta durabilidad.

La solución para construir este proyecto se basa en el funcionamiento de las máquinas para corte y grabado por rayo láser que se puede encontrar comercialmente hoy en día. Ningún sistema es improvisado o se ha encontrado fuera de estudio. La idea es que la máquina funcione bajo los parámetros y características de las comerciales, de esta manera se conserva calidad en el desarrollo del trabajo de corte y grabado.

Se planea adquirir un láser de tubo de vidrio de dióxido de carbono sellado (figura 2) de 40 vatios de potencia, esta potencia es buena para la realización de una gran cantidad de proyectos a un buen precio. Este láser se refrigerará por medio de agua impulsada por una bomba de pequeñas dimensiones, de esta manera se soluciona la refrigeración económicamente.

En algunas máquinas cortadoras láser de grandes dimensiones se usa un compresor de aire que ayuda a enfriar el lente de enfoque. En este proyecto se considera innecesario debido a la baja potencia que va a tener el láser y a las dimensiones de la máquina.

El posicionamiento del rayo láser se dará por medio de motores paso a paso y correas dentadas. Este sistema tiene una buena precisión a muy bajo costo, en comparación con los servomotores. Se seleccionaran dos motores paso a paso, uno para el eje X y otro para el eje Y, los cuales tendrán diferentes características debido a que deben mover diferentes cargas. La tarjeta de control deberá posicionar estos motores y estos mover correas dentadas que al final posicionarán el haz de luz de rayo láser, alimentado por una fuente de poder.

Por lo general, para altas potencias del láser se utilizan espejos de oro y ventanas de seleniuro de zinc, pero debido a que el láser se considera de baja potencia (40 [W]) se puede emplear una óptica más económica. Una solución son espejos fabricados en silicio y ventanas en germanio, estos son los espejos más comunes, tienen buena durabilidad, estabilidad térmica y bajo costo (US \$ 5), algunos de estos espejos vienen con recubrimiento en oro, este diseño óptico obedece a que los láseres de dióxido de carbono emiten en el infrarrojo, a una longitud de onda de 10.6 [ $\mu\text{m}$ ] y el láser necesita ser dirigido sin perder potencia por el camino óptico (figura 21).

Figura 21. Espejo de silicio recubierto en oro.



Fuente: Lente para cabezales de corte láser [en línea] disponible en:  
<http://www.directindustry.es/prod/mate-precision-tooling/product-55691-1461691.html>

Los espejos van montados en cabezales y soportes diseñados según su diámetro, se seleccionaron espejos de diámetro 20 [mm] (figura 22).

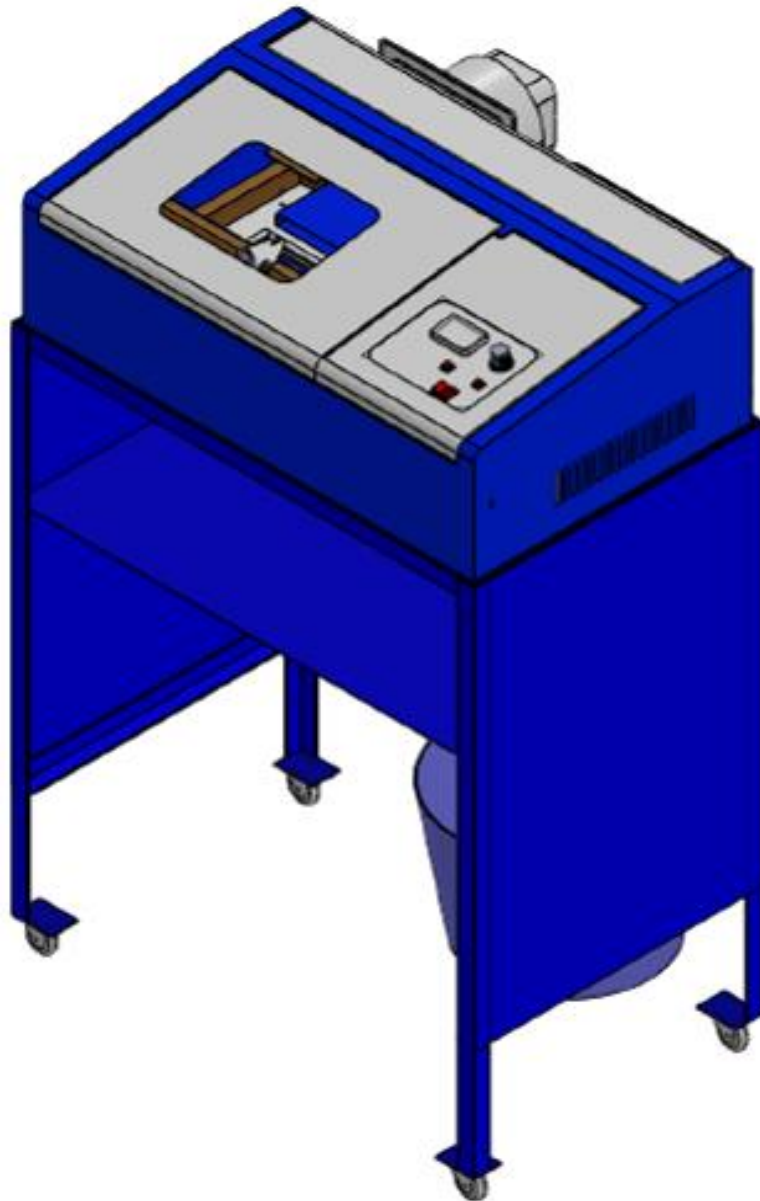
Figura 22. Cabezal láser de dióxido de carbono.



Fuente: Cabeza lente Co<sub>2</sub> [en línea] disponible en: [http://www.signsbus.com/es/155mm-co2-lens-head-mounts-for-laser-engraving-machine-cutter\\_p3325.html](http://www.signsbus.com/es/155mm-co2-lens-head-mounts-for-laser-engraving-machine-cutter_p3325.html)

La siguiente imagen será la máquina cortadora láser que se construirá, con un balde ubicado en la parte trasera, usado para contener el refrigerante, y un extractor para retirar los humos generados por el corte. La construcción y diseño de la máquina está basada en las especificaciones y parámetros previamente explicados (figura 23).

Figura 23. Máquina especificada en diseño conceptual.



## 4. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DE LA MÁQUINA

### 4.1 SELECCIÓN DEL RAYO LÁSER

La potencia disponible en los diferentes tubos láser sellados del mercado es totalmente independiente del diámetro de salida, pero si es directamente proporcional al largo del tubo, debido a esto, el ancho del bastidor de la máquina deberá ser proporcional al largo del tubo láser. En un láser de dióxido de carbono correctamente diseñado, la potencia del láser varía de 60[W] a 80[W] por metro de tubo. Esto es válido para tubos láser que varían de 1[m] a 20[m].

Basados en un láser de dióxido de carbono de 40 [W] se calcula el ancho del bastidor con la siguiente ecuación:

$$L_T = \frac{P_0[W]}{60} (1)$$

Donde:

$L_T$ : Longitud del tubo láser [m].

$P_0$ : Potencia del rayo láser [W].

Reemplazando la potencia del láser de 40[W] se obtiene la longitud del tubo láser de 0,66[m] lo cual se aproxima a 0,7[m]. Además, para el ancho del bastidor se tiene que considerar el posicionamiento del primer espejo que direccionará el láser. Por lo cual un ancho en total de 0,81[m] bastará para posicionar cómodamente el primer espejo<sup>15</sup>.

Para la selección del rayo láser se consultó el catálogo de la empresa Jinan Ruby Laser Technology Co.,Ltd ubicada en China, ya que hoy por hoy ninguna empresa Colombiana realiza la fabricación de láseres de dióxido de carbono. Actualmente varias empresas Colombianas se dedican a la importación de máquinas y

---

<sup>15</sup> WHITEHOUSE, David. UNDERSTANDING CO<sub>2</sub> LASERS [en línea] Manager, Laser Advanced Development Center. [fecha de consulta: 04 de Marzo del 2015]. Disponible en: <http://www.laserk.com/newsletters/whiteCO.html>

repuestos láser. El catálogo de la los productos de la empresa puede ser consultado en: <http://www.rubylasertech.com>.

En la página web del fabricante se puede encontrar varios tipos de láseres de dióxido de carbono. El tipo de láser que interesa ser implementado en la máquina se encuentra clasificado en “Low Power Type CO<sub>2</sub> Laser Tube”, estos se fabrican de una potencia entre 3[W] y 40[W]. Es el láser más potente de la clasificación de baja potencia, se consigue a buen precio y permita buena versatilidad en el desarrollo de los proyectos (figura 24).

Figura 24. Láser de dióxido de carbono de baja potencia.



Fuente: Ruby Laser Tech [en línea] disponible en: <http://www.rubylasertech.com/cpzs/yaig>

El ambiente donde va a estar ubicado el láser de dióxido de carbono debe cumplir con los siguientes requisitos mínimos para su funcionamiento e instalación (datos suministrados por el fabricante):

- Temperatura ambiental: 5 - 35 [°C]
- Humedad: 10 – 60 %
- Ambiente limpio, sin contaminantes.

- Corriente de trabajo: 12 – 16 [mA] (Corriente excesiva puede afectar el poder del láser).
- El láser debe ser rosado, si es blanco es necesario cambiarlo.
- Los apoyos para el rayo láser deben estar ubicados a  $\frac{1}{4}$  de distancia de cada extremo.
- El agua para refrigerar el láser debe estar entre 10 - 35 [°C].
- Caudal recomendado de la bomba para refrigerar entre 600-1200 [L/H].

El modelo 1000-C del fabricante Ruby Laser Tech, tiene una vida útil de aproximadamente 1000 horas de trabajo y emite una longitud de onda 10.6 [ $\mu\text{m}$ ], longitud que en el espectro electromagnético se encuentra en el infrarrojo. Este láser cumple con las condiciones establecidas en el diseño de la máquina, tiene un precio de 160 US \$ (tabla 3).

Tabla 3. Catálogo de Rayo Láser.

Model	Length mm	Rated Power W	Peak Power W	Diameter mm	Start Voltage KV	Work Voltage KV	Work Current mA	Warranty Month
250-C	100	3	5	$\Phi 30 \pm 1$	7	5	5	3
400-P/Z	200	8	12	$\Phi 36 \pm 1$	11	9	12	3
745-C	345	32	35	$\Phi 50 \pm 2$	17	12	18	3
800-C	450	35	38	$\Phi 50 \pm 2$	17	13	20	3
850-C	550	35	38	$\Phi 50 \pm 2$	17	13	20	3
900-C	600	38	40	$\Phi 50 \pm 2$	18	13	20	3
1000-C	700	40	45	$\Phi 50 \pm 2$	20	14	20	3

Fuente: Ruby Laser Tech [en línea] disponible en:  
<http://www.rubylasertech.com/cpzs/yaig/2015/1028/10.html>

## 4.2 SELECCIÓN DE LA BOMBA Y EL REFRIGERANTE

Dependiendo de la potencia del láser se selecciona un Chiller adecuado, que cumpla con los requisitos de refrigeración que exige el rayo láser. El rayo láser de la máquina se considera de baja potencia (40[W]), por lo cual se decide solucionar

el problema de generación de calor de forma sencilla y económica por medio de una pequeña bomba centrífuga, comúnmente utilizada en acuarios.

La selección de la bomba centrífuga se basa en la altura que tiene que vencer la bomba y en un caudal que recomienda el fabricante para la refrigeración del rayo láser. La bomba se instalará al nivel del suelo, y para llegar al nivel de entrada del rayo láser tiene que vencer una altura de 1,13[m] como se observa posteriormente en la figura 67.

El fabricante del rayo láser de dióxido de carbono recomienda refrigerar el láser con agua como refrigerante con un caudal entre 600-1200[l/h] para poder retirar el calor que este genera adecuadamente. Se consideran los siguientes parámetros constantes en la instalación del sistema de refrigeración hidráulico:

$$\dot{V} = 0,000222222 \left[ \frac{m^3}{s} \right] \quad (2)$$

$$L_{12} = 1,6[m] \quad (3)$$

$$g = 9,81 \left[ \frac{m}{s^2} \right] \quad (4)$$

$$\varepsilon = 0,0000015[m] \quad (5)$$

$$D_{in} = 0,015[m] \quad (6)$$

$$\Delta Z_{12} = 1,1[m] \quad (7)$$

$$A = \pi \cdot \frac{D_{in}^2}{4} [m^2] \quad (8)$$

Donde:

$\dot{V}$ : Caudal recomendado para refrigerar el Láser  $\left[ \frac{m^3}{s} \right]$ .

$L_{12}$ : Longitud de la tubería de Polietileno [m].

$g$ : Gravedad  $\left[ \frac{m}{s^2} \right]$ .

$\varepsilon$ : Rugosidad de la tubería de Polietileno en tabla 4[m] .

$D_{in}$ : Diámetro interno de la Tubería [m].

$\Delta Z_{12}$ : Altura en referencia al nivel del Suelo [m].

$A$ : Área de la Tubería [ $m^2$ ].

Se calculará la altura de la bomba basada en el caudal promedio que recomienda el fabricante del láser, 800 [l/h] en su equivalente en metros cúbicos por segundo. La rugosidad del polietileno se encuentra en la siguiente tabla (tabla 4).

Tabla 4. Rugosidad absoluta de materiales.

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
Material	$\varepsilon$ (mm)	Material	$\varepsilon$ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003	Hormigón	0,3-3,0

Fuente: Universidad de Castilla - La mancha [en línea] disponible en:[https://www.uclm.es/area/ing\\_rural/Hidraulica/Temas/TablaRugosidadAbsolutaMateriales.pdf](https://www.uclm.es/area/ing_rural/Hidraulica/Temas/TablaRugosidadAbsolutaMateriales.pdf)

Se consideró instalar un sistema hidráulico con tubería de polietileno por donde circulará el refrigerante impulsado por una bomba. Es necesario seleccionar una bomba centrífuga con la altura requerida para llegar al rayo láser, esta es seleccionada con base en la mecánica de fluidos. La viscosidad cinemática para los cálculos se consideró a 20° [C] y a una presión atmosférica de 101 [kPa] (tabla 5).

Tabla 5. Propiedades del agua.

Temperatura (°C)	Peso específico $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Densidad $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidad dinámica $\mu$ (Pa·s) ó (N·s/m <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática $\nu$ (m <sup>2</sup> /s)
0	9.81	1000	$1.75 \times 10^{-3}$	$1.75 \times 10^{-6}$
5	9.81	1000	$1.52 \times 10^{-3}$	$1.52 \times 10^{-6}$
10	9.81	1000	$1.30 \times 10^{-3}$	$1.30 \times 10^{-6}$
15	9.81	1000	$1.15 \times 10^{-3}$	$1.15 \times 10^{-6}$
20	9.79	998	$1.02 \times 10^{-3}$	$1.02 \times 10^{-6}$
25	9.78	997	$8.91 \times 10^{-4}$	$8.94 \times 10^{-7}$
30	9.77	996	$8.00 \times 10^{-4}$	$8.03 \times 10^{-7}$
35	9.75	994	$7.18 \times 10^{-4}$	$7.22 \times 10^{-7}$
40	9.73	992	$6.51 \times 10^{-4}$	$6.56 \times 10^{-7}$

Fuente: MOTT. R.L. *Mécanica de fluidos aplicada*. 4 Edición. Prentice Hall. Tabla de propiedades del agua a 1 ATM.

De la tabla anterior se halla la viscosidad cinemática para resolver el problema:

$$\nu = 1,02 \times 10^{-6} \left[ \frac{m^2}{s} \right] \quad (9)$$

Es necesario determinar la naturaleza del fluido para proceder adecuadamente al cálculo del factor de fricción. El número adimensional de Reynolds nos caracteriza la naturaleza del fluido, es flujo laminar si este es menor a 2000 y es flujo turbulento si este es mayor a 4000. Si el número de Reynolds se encuentra entre 2000 y 4000, se considera que está en zona de transición entre flujo laminar y flujo turbulento (ecuación 10).

$$Re = 4 \cdot \frac{\dot{V}}{\pi \cdot D_{in} \cdot \nu} \quad (10)$$

Donde:

*Re*: Número de Reynolds [adimensional].

Resolviendo la ecuación anterior, se obtiene un número de Reynolds de 18493, es decir, el flujo es turbulento.

Se aplica la ley de conservación de energía desde el nivel de la bomba hasta la entrada del láser. Se desprecian las pérdidas al interior del láser debido a la complejidad de la geometría y así mismo, en la tubería de retorno al tanque, ya que el agua vuelve por efecto de la gravedad.

$$H_{bmax} - P_{TOTALES} = \Delta Z_{12} + \frac{\dot{V}^2}{\frac{2 \cdot g}{A^2}} \quad (11)$$

Donde:

$H_{bmax}$ : *Altura máxima de la bomba [m].*

$P_{TOTALES}$ : *Pérdidas totales del circuito hidráulico [m].*

Las pérdidas totales del circuito se basan en la ecuación empírica de Darcy-Weisbach (ecuación 12), estas son iguales a la adición de las pérdidas por fricción en la tubería y a las pérdidas menores, o de accesorios del sistema hidráulico (ecuación 13).<sup>16</sup>

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^3}{2 \cdot g} \quad (12)$$

$$P_{TOTALES} = P_{fricción} + P_{menores} \quad (13)$$

$$P_{fricción} = 8 \cdot f \cdot L_{12} \cdot \frac{\frac{\dot{V}^2}{\pi^2}}{D_{in}^5 \cdot g} \quad (14)$$

$$P_{menores} = K_{acc12} \cdot 8 \cdot \frac{\frac{\dot{V}^2}{\pi^2}}{D_{in}^4 \cdot g} \quad (15)$$

Donde:

$h_f$ : *Pérdida de carga debido a la fricción [m].*

$f$ : *Factor de fricción de Darcy [adimensional].*

$L$ : *Longitud de la tubería [m].*

$D$ : *Diámetro de la tubería [m].*

---

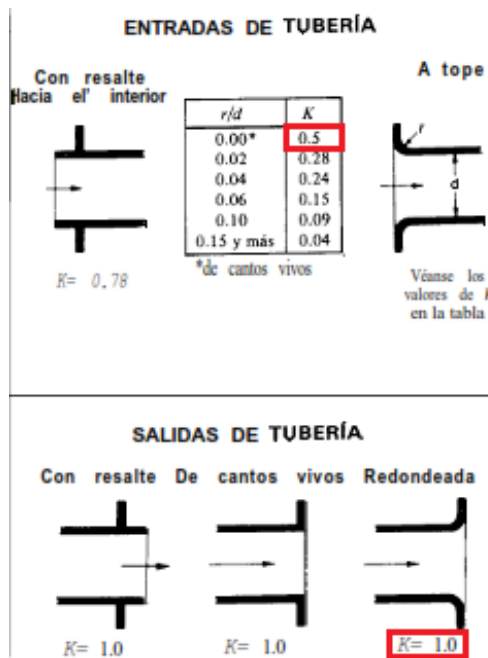
<sup>16</sup> CENGEL, Yunus, CIMBALA, JOHN. Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones. México: McGraw-HILL, 2006. Cap.8.

$V$ : Velocidad media del fluido  $\left[\frac{m}{s}\right]$

$K_{acc12}$ : Pérdidas menores por accesorios o por entrada y salida de la tubería.

Las pérdidas menores son constantes halladas en el catálogo de flujo de fluidos de la división de ingeniería de CRANE (figura 25).

Figura 25. Pérdidas menores de la división de ingeniería de CRANE.



Fuente: División de ingeniería de CRANE.

El circuito hidráulico que se instala hasta la entrada del rayo láser no cuenta con accesorios, solo presenta pérdidas menores por entrada de 0,5 y por salida de 1 de la tubería de polietileno, estos valores son adimensionales.

$$K_{acc12} = 0,5 + 1 = 1,5 \quad (16)$$

Para hallar el factor de fricción de Darcy es necesario utilizar el software para resolver ecuaciones EES, ya que para solucionar la ecuación implícita de Colebrook-White es ineludible realizar iteraciones. Esta ecuación se puede aplicar para flujo turbulento o de transición (ecuación 17).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0,86 \cdot \ln \left[ \frac{\varepsilon}{D_{in} \cdot 3,7} + \frac{Re}{\sqrt{f}} \right] \quad (17)$$

Resolviendo el sistema de 15 ecuaciones y 15 variables se obtiene el resultado de la altura de la bomba (figura 26).

Figura 26. Resultados de cálculo de la bomba en software EES.

Unit Settings: [kJ]/[C]/[kPa]/[kg]/[degrees]

A = 0,0001767 [m<sup>2</sup>]

D<sub>in</sub> = 0,015 [m]

f = 0,02707

**H<sub>bmax</sub> = 1,534 [m]**

L<sub>12</sub> = 1,6 [m]

P<sub>fricción</sub> = 0,2327

P<sub>TOTALES</sub> = 0,3536

Ḃ = 0,0002222 [m<sup>3</sup>/s]

ΔZ<sub>12</sub> = 1,1 [m]

ε = 0,0000015 [m]

g = 9,81 [m/s<sup>2</sup>]

K<sub>acc12</sub> = 1,5

v = 0,00000102 [m<sup>2</sup>/s]

P<sub>menores</sub> = 0,1209

Re = 18493

El sistema requiere de una bomba con una altura máxima de 1,534 [m]. Para tener seguridad se aproxima a 1,6 [m]. El precio de estas bombas oscila entre US \$3-16, dependiendo del tamaño. Del catálogo de bombas centrífugas para acuario de BACO engineering Co Ltd, se selecciona el modelo GP-386, el cual cumple con las condiciones descritas previamente para un adecuado funcionamiento del sistema hidráulico. Este modelo tiene una altura de 1,6 [m] y un caudal máximo de 750 [L/H] (figura 27).

Figura 27. Catálogo de bombas BACO engineering Co Ltd

## 多功能水泵系列

## Multifunction pump series

### SAA

### RoHS

Item number 型号	GP-200	GP-228	GP-238
Size 尺寸	35x35x25mm	37x35x30mm	46x45x36mm
Hmax 扬程	40cm	50cm	65cm
Flow rate 最大流量	180L/H	220L/H	300L/H
pump watt 功率	2.5W	3W	4W
Voltage 可调电压	AC12V/24V/120V/220V-240V	AC12V/24V/120V/220V-240V	AC12V/24V/120V/220V-240V
HZ 频率	60/50HZ	60/50HZ	60/50HZ
Outlet connection 出水口尺寸	8.5mm	8.5mm	8.5mm/13mm

Item number 型号	GP-336	GP-358	GP-356
Size 尺寸	53x40x47mm	65x45x56mm	70x52x62mm
Hmax 扬程	90cm	1.2m	1.6m
Flow rate 最大流量	500L/H	600L/H	750L/H
pump watt 功率	7W	8W	15W
Voltage 可调电压	AC12V/24V/120V/220V-240V	AC12V/24V/120V/220V-240V	AC12V/24V/120V/220V-240V
HZ 频率	60/50HZ	60/50HZ	60/50HZ
Outlet connection 出水口尺寸	8.5mm/13mm	8.5mm/13mm	8.5mm/13mm

Item Number 型号	GP-500	GP-510	GP-630
Size 尺寸	86x60x78mm	92x60x72mm	110x72x100mm
Hmax 扬程	1.8m	2.0m	2.2m
Flow rate 最大流量	1000L/H	1100L/H	2000L/H
pump watt 功率	18W	21W	30W
Voltage 可调电压	AC110V/120V/220V-240V	AC110V/120V/220V-240V	AC12V/24V/120V/220V-240V
HZ 频率	60/50HZ	60/50HZ	60/50HZ
Outlet connection 出水口尺寸	13mm	13mm/16mm/19mm	13mm/16mm/19mm

Fuente: BACO engineering Co Ltd. Catálogo de bombas centrífugas.

### 4.3 SELECCIÓN DE LA TARJETA DE CONTROL Y DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN.

**4.3.1 Selección de la tarjeta de control.** La tarjeta de control debe cumplir con las siguientes características:

- Soporte CorelDraw, AutoCAD, WinsealXP, y demás opciones de programas.
- Control de dos ejes.
- Control de mínimo dos motores paso a paso.
- Puerto de interfaz USB
- Autonomía.
- Salida PWM o salida analógica.
- Económica.
- Fácil instalación y conexión.
- Señal de control de salida del láser.
- Trabajo continuo.

El mercado ofrece una gran variedad de tarjetas controladoras para motores paso a paso y láseres de dióxido de carbono. Se consideraron dos tarjetas asequibles y que cumplen cercanamente con las condiciones expuestas anteriormente. La primera opción la fabrica la empresa MACTRON en china (figura 28).

Figura 28. Tarjeta controladora láser MPC 6535.



Fuente: Laser Controller MPC6535 [en línea] disponible en: <http://www.co2-lasers.com/laser-accessories/48-laser-controller.html#.VwQ4afnhDIU>

Esta tarjeta controladora está diseñada exclusivamente para controlar maquinaria láser, cuenta con panel LCD y la caja de aluminio la protege de posibles interferencias. Permite el control de tres motores paso a paso o de servomotores digitales, encendido y apagado del rayo láser y control de este por PWM. Además permite la transferencia de datos entre el computador y la máquina por medio de cable de datos USB. Esta tarjeta se puede conseguir en el mercado desde US \$ 500. Para mayor información sobre esta tarjeta controladora (ver la ficha técnica completa en la página web [www.leetro.com](http://www.leetro.com)). La segunda opción la fabrica la empresa Lihuiyu Studio Labs en china (figura 29).

Figura 29. Tarjeta controladora láser 6C6879 LASER-M2.



Fuente: Control Board 6C6879 [en línea] disponible en:  
<http://redmine.laoslaser.org/projects/laos/wiki/K40-III>

Esta tarjeta controladora está diseñada exclusivamente para controlar maquinaria láser, no cuenta con panel LCD. Permite el control de dos motores paso a paso, encendido y apagado del rayo láser y control de la potencia de este por PWM.

Además permite la transferencia de datos entre el computador y la máquina por medio de cable de datos USB. Esta tarjeta se puede conseguir en el mercado desde US \$ 100.

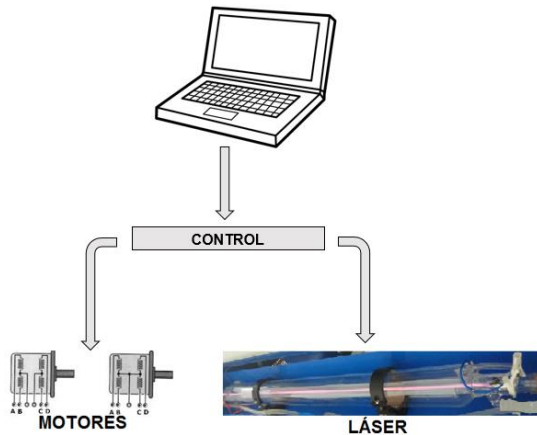
Se selecciona la Tarjeta controladora láser 6C6879 LASER-M2 de la empresa Lihuiyu Studio Labs, debido a que esta tiene una serie de ventajas importantes comparada con la primera opción, ya que se adapta apropiadamente a las características que exige el desarrollo de la máquina cortadora láser. Con la tarjeta viene incluido un software protegido por una llave USB llamado WinsealXP, lo cual permite que sólo el usuario que tenga en su poder la llave USB pueda hacer uso de la máquina. Este factor es muy importante para el desarrollo de la máquina, debido a que esta se va a utilizar en un entorno académico. La máquina cortadora láser solo va a tener movimiento de dos ejes, por lo cual también se puede descartar la primera opción, debido a que permite la conexión de un motor más para agregar otro eje de movimiento, lo cual se considera innecesario. Otro factor importante es el precio, la opción seleccionada tiene un valor de US \$ 400 por debajo de la primera opción descrita. Prácticamente la diferencia de valor se debe al eje de más y al panel LCD que se puede descartar, pues se considera innecesario debido a que todos los datos y el control se podrán observar en el computador.

Es importante tener en cuenta que esta tarjeta controladora debe situarse lo suficientemente alejada de la fuente de energía para evitar posibles interferencias electromagnéticas.

El sistema de control que se empleará en la máquina, es un sistema de lazo abierto, el computador designa el trabajo y el software de control genera las señales necesarias de paso y dirección para realizar la tarea, energizando las bobinas de los motores paso a paso para que estos generen el movimiento. Este sistema no tiene retroalimentación, es decir, el control no puede verificar que el

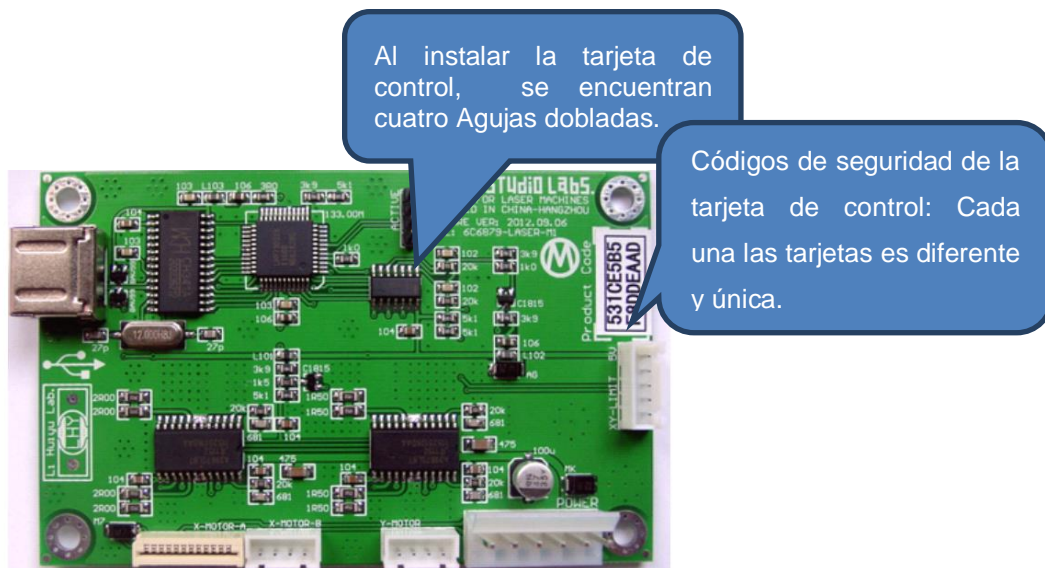
motor haya realizado la acción adecuadamente. Este sistema es económico, en comparación con un sistema de lazo cerrado con servomotores (figura 30).

Figura 30. Esquema del sistema de lazo abierto.



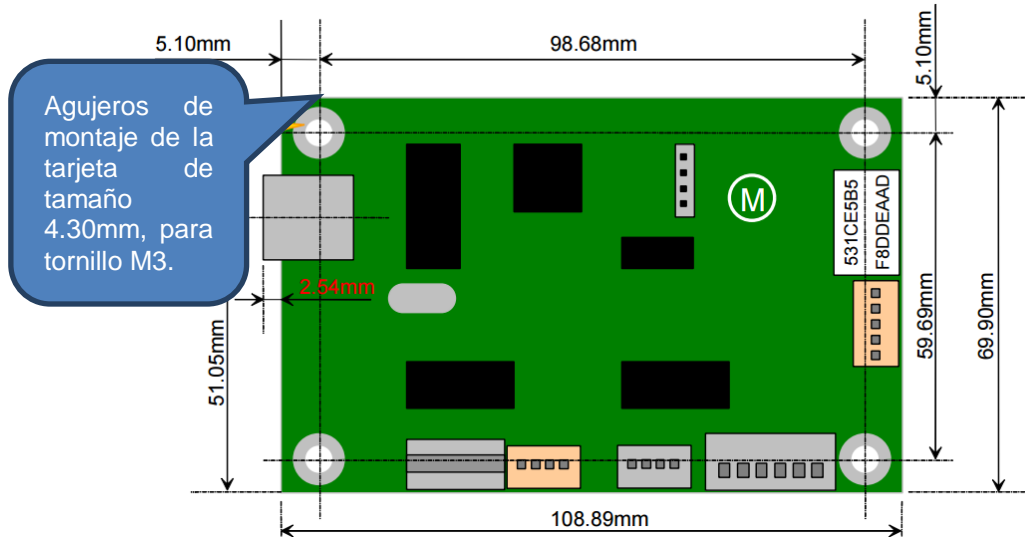
A continuación se explican algunos consejos para lograr una instalación correcta de la tarjeta y además que significan algunos de sus puertos (figura 31) (figura 32).

Figura 31. Tarjeta controladora láser 6C6879 LASER-M2 sin instalar.



Fuente: Ficha técnica en Anexo D.

Figura 32. Dimensiones de la Tarjeta controladora láser 6C6879 LASER-M2.



Fuente: Ficha técnica en Anexo D.

Para mayor información sobre esta tarjeta controladora y los esquemas de conexión con los motores paso a paso, los finales de carrera, el rayo láser y la fuente de alimentación, ver la ficha técnica completa en el Anexo D.

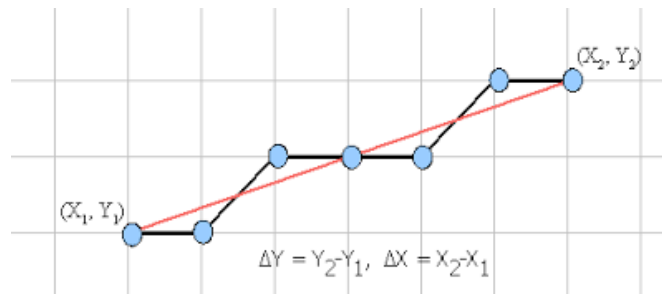
Instalación de la tarjeta controladora en el bastidor de la máquina, para información de los esquemas eléctricos ver Anexo E (figura 33).

Figura 33. Tarjeta controladora instalada.



La tarjeta controladora contiene programación que fue escrita para interpolar trayectorias lineales en el plano XY, basada en una extensión del algoritmo de Bresenham, este algoritmo ha sido satisfactoriamente aplicado en máquinas CNC y en máquinas cortadoras láser que usan motores paso a paso como actuadores, dando como resultado errores mínimos para una resolución específica de los motores, para mayor información sobre la programación del algoritmo, consultar la bibliografía (figura 34).<sup>17</sup>

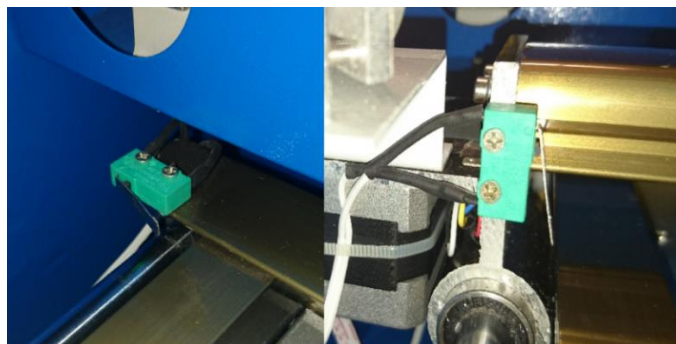
Figura 34. Representación Gráfica del Algoritmo de Bresenham.



Fuente: MENDOZA CRUZ, Mario Alberto. Graficación. [en línea] disponible en:  
<http://albertomc91.blogspot.com.co/p/unidad-2.html>

Con la finalidad de evitar golpes del carretel contra el bastidor, se instalan dos finales de carrera en el origen de la máquina, controlados por la tarjeta (figura 35).

Figura 35. Finales de carrera.



<sup>17</sup> CHIANG, Luciano. 3-D CNC Trajectory interpolation Using Bresenham's Algorithm.. Santiago, Chile: Universidad Católica de Chile. Department of Mechanical Engineering. Pág.1

**4.3.2 Selección de la fuente de alimentación.** El uso y selección de una fuente de alimentación es imprescindible debido a que el computador no está capacitado para alimentar el rayo láser, además la fuente de alimentación protege de sobretensiones del sistema eléctrico y de convertir la corriente alterna (AC) a corriente directa (DC). El computador se encargará de alimentar la tarjeta de control por medio del puerto USB.

La selección de la fuente de alimentación, llamado en inglés PSU “POWER SUPPLY UNIT” se realizó basada en el mismo catálogo de la empresa de la cual se seleccionó el rayo láser, esto asegura mayor fiabilidad en el funcionamiento del equipo (figura 36).

Figura 36. Selección de la fuente en relación al rayo láser.



Fuente: Ruby Laser Tech [en línea] disponible en: <http://www.rubylasertech.com/cpzs/cojg/>

Del catálogo de la empresa Ruby Laser Tech se procederá a la selección de una PSU económica y que pueda alimentar el láser adecuadamente (tabla 6).

Tabla 6. Precios de PSU.

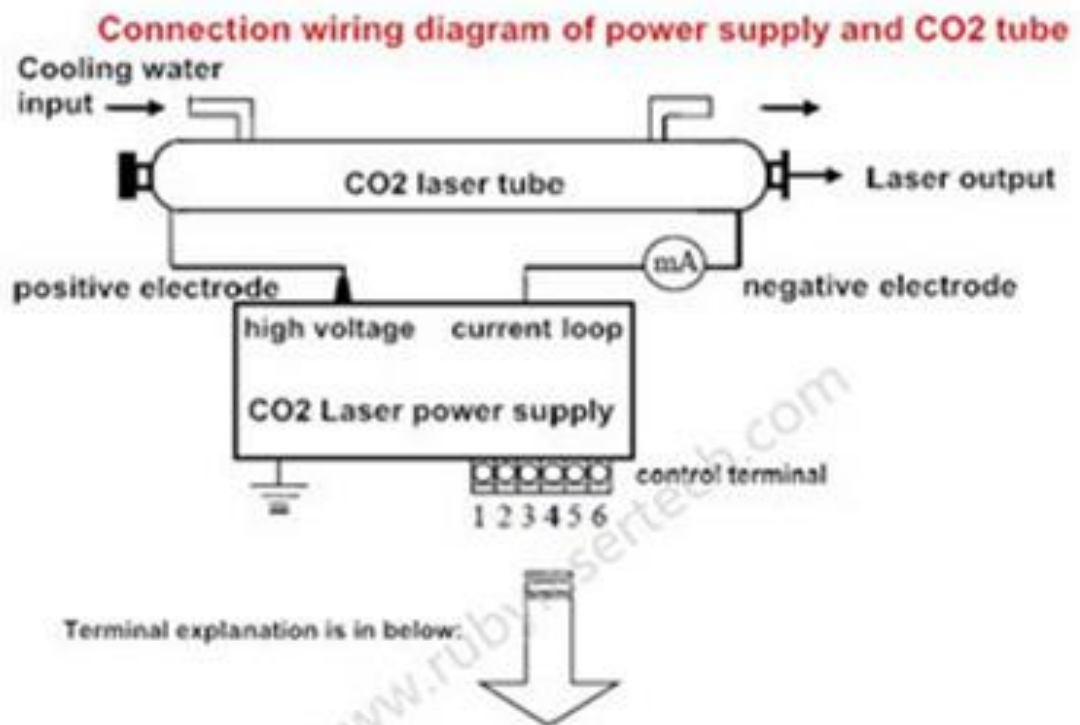
Modelo	Especificación	Garantía	Precio CIF
MYJG-40	Entrada 110/220VAC, salida 30kV y 23mA. Matriz y enchufe en el bloque de terminales para la conexión del cableado. 0-5 V y señal PWM para control del láser. Color azul.	12 meses	109 US
MYJG-60	Entrada 110/220VAC, salida 35kV y 23mA. TERMINAL ARRAY para la conexión del cableado. 0-5 V y la señal PWM para control del láser. Color Azul/amarillo/Negro.	12 meses	172 US
MYJG-80	Entrada 110/220VAC, salida 45kV y 30mA. TERMINAL ARRAY para la conexión del cableado. 0-5 V y señal PWM para control del láser. Color Azul/amarillo.	12 meses	197 US
MYJG-100	Entrada 110/220VAC, salida 50kV y 30mA. TERMINAL ARRAY para la conexión del cableado. 0-5 V y señal PWM para control del láser. Color Azul/amarillo.	12 meses	244 US
MYJG-130	Entrada 110/220VAC, salida 50kV y 35mA. TERMINAL ARRAY para la conexión del cableado. 0-5 V y señal PWM para control del láser. Color Azul/amarillo.	12 meses	286 US
MYJG-150	Entrada 110/220VAC, salida 50kV y 38-40mA. TERMINAL ARRAY para la conexión del cableado. 0-5 V y señal PWM para control del láser. Color Azul/amarillo.	12 meses	308 US
MYJG-100N	El Voltaje de entrada está en un amplio rango que se puede adaptar a diverso voltajes y proteger los tubos de CO <sub>2</sub> . 2. El trabajo actual se puede visualizar por en una pantalla LED. Conexión para detectar el agua, esta es una señal de protección para proteger el tubo de CO <sub>2</sub> . Color Negro.	12 meses	244 US
MYJG-130N		12 meses	286 US
MYJG-150N		12 meses	308 US
DY-10	Entrada 110/220VAC, salida 45kV y 30mA. Terminales de tornillos para la conexión del cableado. 0-5 V y señal PWM para control del láser. Tubo tipo Reci CO <sub>2</sub> . Color Azul.	12 meses	197 US
DY-13	Entrada 110/220VAC, salida de 50 V y 30mA. Terminales de tornillos para la conexión del cableado. 0-5 V y señal PWM para control del láser. Tubo tipo Reci CO <sub>2</sub> . Color Azul.	12 meses	244 US
DY-20	Entrada 110/220VAC, salida 50kV y 35mA. Terminales de tornillos para la conexión del cableado. 0-5 V y señal PWM para control del láser. Tubo tipo Reci CO <sub>2</sub> . Color Azul.	12 meses	286 US
DY-30	Entrada 110/220VAC, salida 50kV y 38-40mA. Terminales de tornillos para la conexión del cableado. 0-5 V y señal PWM para control del láser. Tubo tipo Reci CO <sub>2</sub> . Color Azul.	12 meses	308 US

Fuente: Ruby Laser Tech [En línea] disponible en: <http://www.rubylasertech.com>

La fuente seleccionada es la más económica del catálogo, claramente, la potencia del láser es directamente proporcional al precio de la fuente que se requiere para su funcionamiento. Debido a que el tubo de rayo láser tiene una potencia de [40], la primera opción es suficiente para controlar su alimentación eléctrica. La “PSU” seleccionada ofrece varias ventajas. Es fácil de combinar con cualquier marca de

tubo láser de dióxido de carbono, por lo cual, al momento de reemplazar el láser, no va a ser problema usar un láser de diferente fabricante. Se puede ajustar para señal "PWM", esta fuente de alimentación tiene circuito abierto, cuando la puesta a tierra es adecuada, la fuente protege una posible explosión del tubo de rayo láser. El esquema (figura 37) describe la conexión de la fuente de alimentación al rayo láser.

Figura 37. Conexión de la PSU al rayo láser.



Fuente: Ruby Laser Tech [en línea] disponible en: <http://www.rubylasertech.com/zlxz/>

Para mayor información sobre conexiones y características, ver la ficha técnica de la fuente de alimentación seleccionada y los esquemas eléctricos en el Anexo F respectivamente (figura 38).

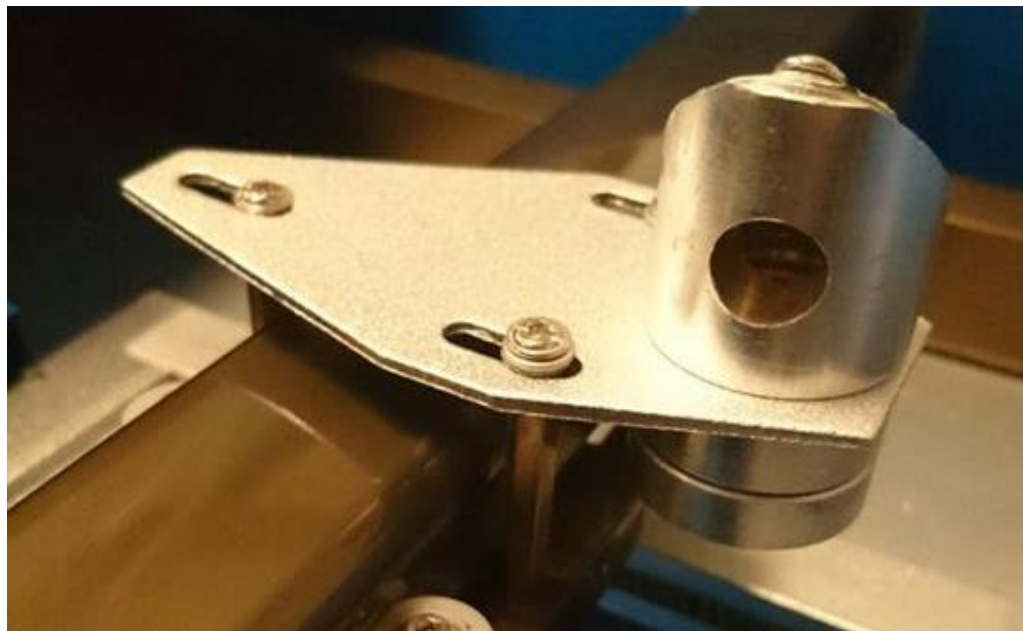


#### 4.4 SELECCIÓN DE MOTORES

EL sistema de desplazamiento del sistema óptico de láser, consta de dos componentes para su movimiento: el sistema que desplaza el espejo receptor para el grabado en el eje X y en el eje Y, teniendo en cuenta esto se hace el cálculo del torque requerido para desplazar el lente de enfoque a lo largo del plano sin complicaciones de paros inesperados, para así realizar los grabados y cortes adecuadamente.

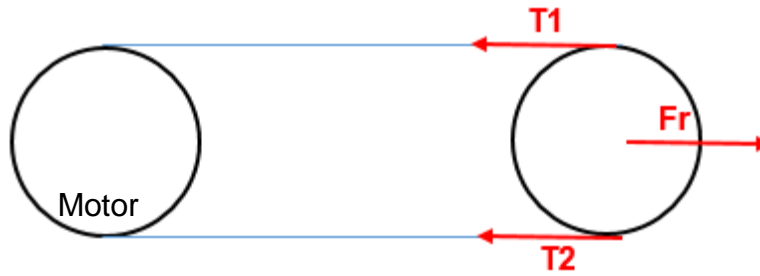
**4.4.1 Sistema de desplazamiento en el eje X.** El desplazamiento del sistema óptico receptor con respecto al eje X se efectúa mediante un motor paso a paso instalado a lo largo de la línea de acción del mismo, el cual desplaza la estructura donde está el lente de enfoque (figura 39).

Figura 39. Lente de enfoque.



El método de transmisión es un sistema de poleas simples de desplazamiento (figura 40).

Figura 40. Sistema de fuerzas en el eje X en vista superior



Se tiene un sistema de fuerzas en el eje X, que como se puede observar, se tiene en cuenta las fuerzas de tensión de la banda y la fricción cinemática resultante del desplazamiento por la guía de aluminio, sometidas a un movimiento<sup>18</sup>.

$$\sum F_x = m * a \quad (18)$$

Teniendo en cuenta que el motor paso a paso funciona a velocidad constante, se considera que la aceleración del sistema es equivalente a cero, y la sumatoria de fuerzas de la ecuación 18 solo depende de las fuerzas que actúan en el sistema del lente de enfoque.

$$T_1 + T_2 - f_r = 0 \quad (19)$$

Donde:

$T_1$ : Tensión 1 [N]

$T_2$ : Tensión 2 [N]

$f_r$ : fricción [N]

Despejando la ecuación anterior se obtiene:

$$T_1 + T_2 = f_r \quad (20)$$

La fricción es el rozamiento entre dos cuerpos en contacto, uno de los cuales está inmóvil y hace una fuerza en dirección contraria a la del movimiento, haciendo cierta restricción, dicha fuerza depende de la carga normal del sistema, que en

<sup>18</sup> BEER, F. P.; JOHNSTON, E. R. Mecánica Vectorial para Ingenieros: Dinámica. McGraw-Hill. 9ªed, 2010. Cap.12.

este caso es el peso del sistema por el coeficiente de rozamiento cinético entre los dos cuerpos (en este caso entre el aluminio y el teflón de las ruedas del sistema del lente de enfoque), la cual es un valor constante que en nuestro caso es 0,04<sup>19</sup>.

$$f_r = \mu_D * N \quad (21)$$

$$N = m * g \quad (22)$$

Donde:

$N$ : fuerza normal [N].

$m$ : masa del sistema, 1 [kg].

$\mu_D$ : coeficiente de fricción cinético [adimensional].

Se reemplaza la ecuación 21 a la ecuación 18 para obtener:

$$f_r = \mu_D * m * g \quad (23)$$

Ahora se reemplaza la ecuación 23 en la ecuación 18 para obtener:

$$T_1 + T_2 = \mu_D * m * g \quad (24)$$

Teniendo en cuenta las variables anteriores, se hace una sumatoria de torques en el centro del eje motor para obtener una ecuación para hallar el torque necesario que se necesita al seleccionar el motor.

$$R(T_1 + T_2) = Torque \quad (25)$$

Se reemplaza la ecuación 23 en la ecuación 25 para obtener:

$$R * \mu_D * m * g = Torque \quad (26)$$

Teniendo en cuenta que el coeficiente de fricción, la masa y la gravedad son variables constantes ya prediseñadas, se hace un estudio de que radio debe tener la polea que transmite la fuerza del motor para seleccionar un motor adecuado que cumpla con las condiciones establecidas (tabla 7).

---

<sup>19</sup> SERWAY, Raymond. Physics for Scientists and Engineers. 8va edición. 2010. Pág. 124

Tabla 7. Variación de radio de polea para cálculo del primer torque.

R [m]	Torque[N*m]
5.00E-03	1.96E-03
1.00E-02	3.92E-03
1.50E-02	5.89E-03
2.00E-02	7.85E-03
2.50E-02	9.81E-03
3.00E-02	1.18E-02


Del catálogo del Fabricante Motion King Motor Industry Co., Ltd, se seleccionará un motor que cumpla con el torque mínimo de 0,589 [N\*cm] y con una resolución de 1,8 grados. Ambos motores deberán tener la misma resolución, 1,8 grados aseguran pasos de 0,026 [mm], lo cual es una buena precisión para la finalidad de la máquina y se evitan sobrecostos por sobre diseño (figura 41).

Figura 41. Catálogo Motion King Stepper motor.

**MotionKing** HB Stepper Motor Catalog  
 MotionKing (China) Motor Industry Co., Ltd.

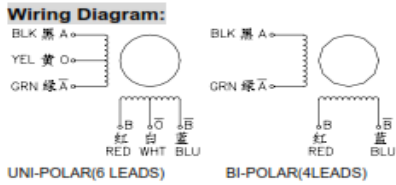
## 2 Phase Hybrid Stepper Motor

### 8HY series-Size 20mm(1.8 degree)



**Nema 8 (20mm)**  
MINI STEPPER MOTOR

**Wiring Diagram:**



UNI-POLAR(6 LEADS)      BI-POLAR(4LEADS)

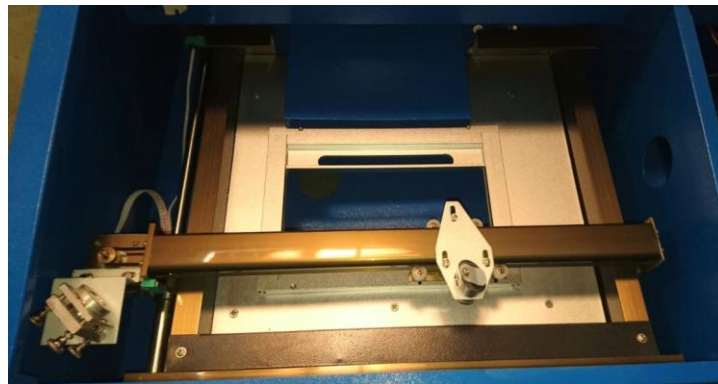
Electrical Specifications:									
Model	Phase Voltage (V)	Phase Current (A)	Phase Resistance (ohm)	Phase Inductance (mH)	Holding Torque (N.cm)	Lead Wires (No.)	Weight (g)	Length (mm)	
8HY26-0204A	4.0	0.2	23	8.2	1.6	4	40	26	
8HY28-0204A	12.0	0.2	23	8.2	1.6	4	50	28	
8HY28-0604A	1.9	0.6	3.2	0.9	1.6	4	50	28	
8HY33-0204A	5.0	0.2	25	8.4	2.0	4	70	33	
8HY33-0604A	2.7	0.6	4.5	1.2	2.0	4	70	33	
8HY40-0204A	6.4	0.2	32	8.8	2.8	4	80	40	
8HY40-0604A	3.5	0.6	5.8	1.6	2.8	4	80	40	

Fuente: MotionKing Motor Industry Co., Ltd [en línea] disponible en: [www.motionking.com](http://www.motionking.com)

Se selecciona el modelo 8HY26-0204A, basados en los parámetros previamente mencionados. Para mayor información sobre estos motores, y su ficha técnica consultar el catálogo del fabricante en el Anexo G.

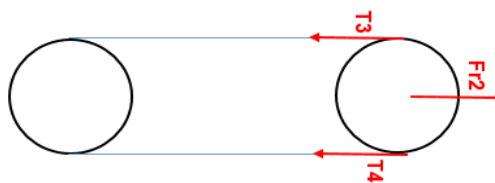
**4.4.2 Sistema de desplazamiento en el eje Y.** El desplazamiento con respecto al eje Y del plano, se tiene en cuenta instalar otro motor que culpa con el propósito de desplazar la línea guía del lente de enfoque; teniendo en cuenta tales parámetros para la selección del motor que pueda desplazar el sistema a una velocidad constante (figura 42).

Figura 42. Guía del lente de enfoque.



Como en el sistema anterior, el desplazamiento es mediante un sistema de poleas simples de desplazamiento (figura 43).

Figura 43. Sistema de fuerzas en el eje Y en vista superior.



Fuente: Autores

Teniendo en cuenta las ecuaciones usadas para calcular el motor que mueve solamente el lente de enfoque, se obtiene una ecuación similar de torque para hallar el parámetro de selección del motor.

$$T_3 + T_4 = 2 * \mu_{D2} * \frac{m_2}{2} * g \quad (27)$$

En donde se tiene en cuenta que la guía al estar apoyada en ambos extremos, la fuerza resultante en cada extremo es la mitad del total de la guía y que la fuerza de fricción en la sumatoria de fuerzas es el doble, puesto que en ambos extremos hay fricción, bajo las mismas condiciones estáticas y de coeficiente de fricción, puesto que es el mismo contacto aluminio-acero. Teniendo en cuenta las variables anteriores, se hace una sumatoria de torques en el centro del eje motor para obtener una ecuación para hallar el torque necesario que se necesita al seleccionar el motor.

$$R_2(T_3 + T_4) = Torque_2 \quad (28)$$

Se reemplaza la ecuación 27 en la ecuación 28 y obtenemos:

$$R_2 * \mu_{D2} * m_2 * g = Torque_2 \quad (29)$$

Donde la masa  $m_2$  es de 3.5 [Kg], puesto que la guía al estar apoyada en sus extremos, por sumatoria de fuerzas cada extremo soporta dicho peso, y el coeficiente de fricción cinético  $\mu_{D2}$  es de 0.47 (coeficiente de fricción entre aluminio y acero). Con estos datos se realiza el mismo proceso efectuado anteriormente de variar el radio de la polea para seleccionar una polea adecuada al sistema y al mismo tiempo un torque para la selección del motor paso a paso (tabla 8).

Tabla 8. Variación de radio de polea para cálculo del segundo torque.

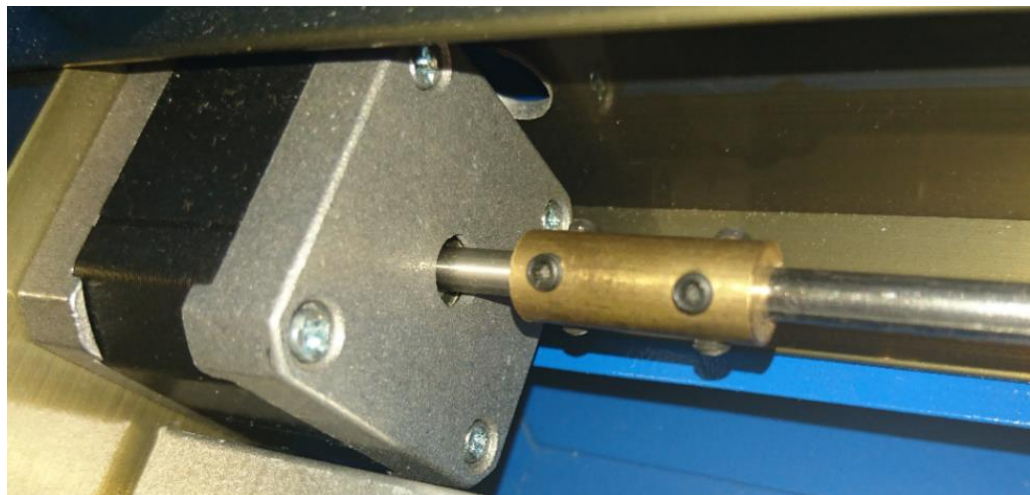
R 2 [m]	Torque 2 [N*m]
5.00E-03	8.07E-02
1.00E-02	1.61E-01

1.50E-02	2.42E-01
2.00E-02	3.23E-01
2.50E-02	4.03E-01
3.00E-02	4.84E-01

El motor se seleccionó bajo los mismos parámetros explicados previamente y con un torque mínimo requerido de 24,2 [N\*m]. El modelo seleccionado es el 17HS3410.

La aplicación de movimiento al carretel que transporta el lente de enfoque del rayo láser y su guía, se intenta oponer al movimiento debido a su propio peso y la fuerza de fricción que genera el movimiento. Debido a esto, es necesario instalar un acople que una los dos ejes y que amortigüe movimientos bruscos y vibraciones de los motores paso a paso. Además, evita avances bruscos en los movimientos, manteniendo la calidad de los trabajos realizados por la máquina cortadora láser (figura 44).

Figura 44. Acople instalado al motor más grande.



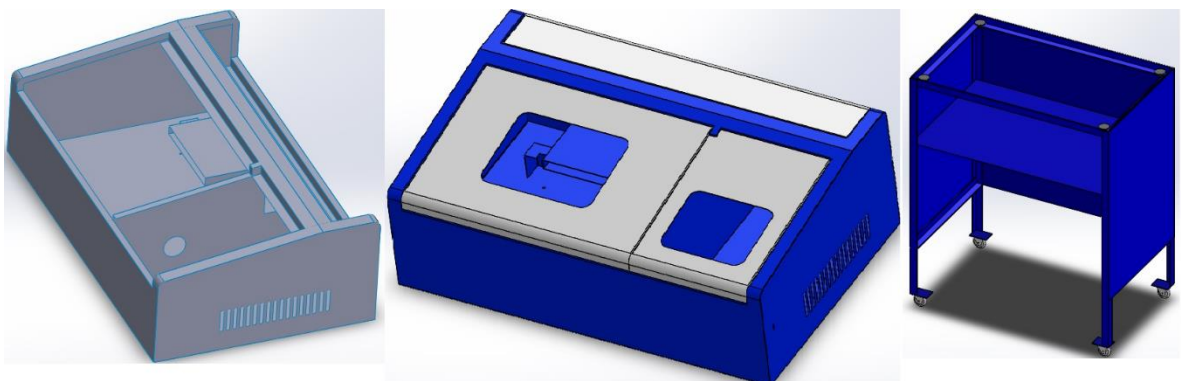
## 4.5 ESTRUCTURA QUE CONFORMA LA MÁQUINA

El desarrollo de la estructura que conforma la máquina cortadora láser está basado en modelos comerciales ya existentes. En la página web: <https://www.buildyourcnc.com/blackToothLaserCutterAndEngraver.aspx#prettyPhoto> se puede encontrar un procedimiento paso a paso para la construcción de máquinas cortadoras láser y además los esquemas eléctricos de estas. A continuación se presenta un despliegue del diseño geométrico CAD de los elementos principales que conforman la máquina a través del software SOLIDWORKS.

- Bastidor, Bastidor con cubiertas y Mesa (figura 45).

El bastidor de la máquina cuenta con tres divisiones: compartimiento del láser, área de trabajo y compartimiento para la PSU y la tarjeta controladora. Se instalan cubiertas con el fin de proteger a los usuarios y a los componentes. Además cuenta con un ducto por el cual el extractor retira los gases generados al grabar o cortar las piezas. La mesa soporta el peso total de la máquina, 30 [Kgf], posteriormente se realizará el análisis de esfuerzos de la mesa.

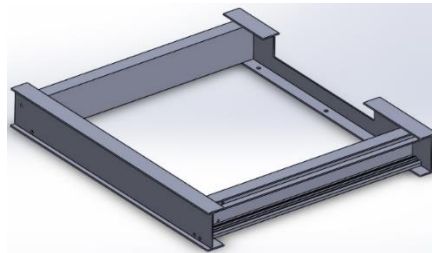
Figura 45. Bastidor, Bastidor con cubiertas y Mesa.



- Soporte (figura 46).

El soporte se ubica en el área de trabajo y en él van montadas todas las piezas, motores y partes mecánicas con las cuales la máquina genera los movimientos en el plano XY.

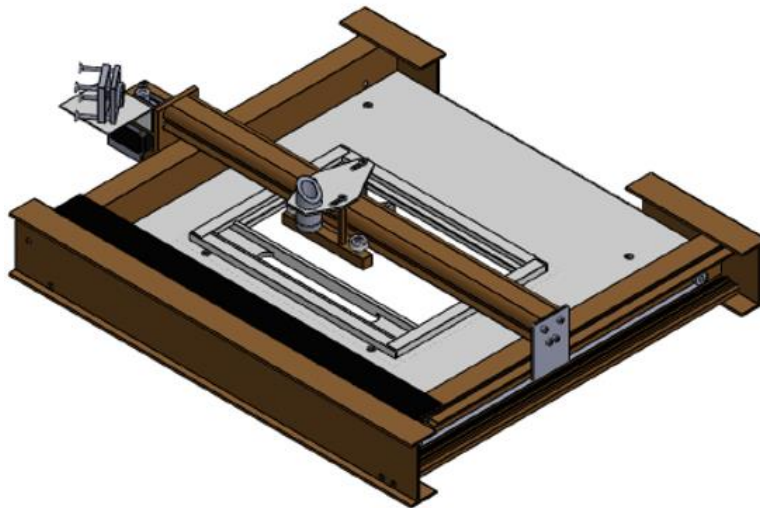
Figura 46. Soporte.



- Piezas mecánicas (figura 47).

Son varias las piezas que se instalan sobre el soporte, como la mesa de trabajo, ejes guía, riel, soportes de los espejos y del lente de enfoque, finales de carrera, tornillos de fijación, motores y demás. Para una descripción enumerada y precisa de estos componentes, ver los planos en el Anexo B.

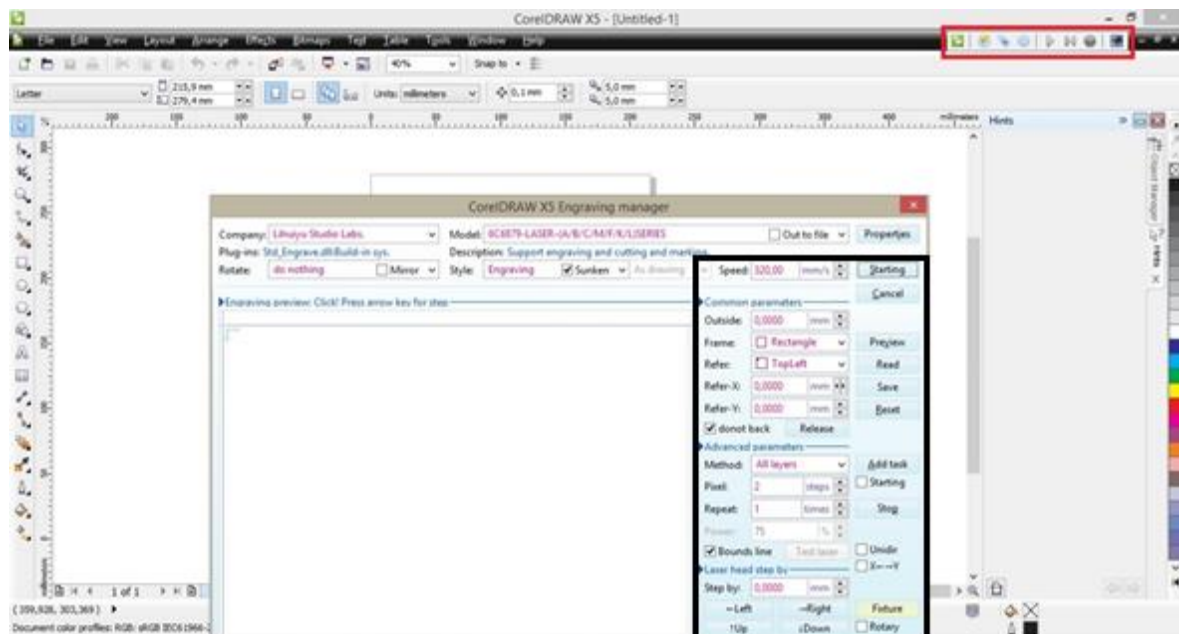
Figura 47. Piezas mecánicas.



## 4.6 SELECCIÓN DEL SOFTWARE DE LA MÁQUINA

La tarjeta controladora seleccionada tiene compatibilidad con un software llamado WinsealXP y con la extensión CorelLaser para CorelDRAW. Para poder dar uso de la máquina con CorelLaser se debe contar con la instalación previa de CorelDRAW en una versión igual o previa a la X5. El uso y configuración de la máquina con ambos software es prácticamente el mismo, pero CorelDRAW tiene una ventaja importante, permite abrir muchos más formatos de archivos que WinsealXP. A continuación se ilustra la interfaz de CorelDRAW X5 con la extensión ya instalada (figura 48).

Figura 48. Interfaz CorelDRAW X5.



El cuadro rojo de la figura 48, tiene las opciones de configuración, corte y grabado de la máquina láser. Por ejemplo, al seleccionar la opción de grabado, se abrirá el cuadro siguiente y se deberán especificar los parámetros del cuadro negro requeridos para realizar un buen trabajo. Si no hay seguridad sobre la ubicación

del origen, se puede seleccionar “Preview” para tener clara la ubicación del lente de enfoque del láser y dar pasos de 0,026[mm] en la coordenada X o Y, según se requiera. Para mayor información sobre el uso del software, ver el manual de la máquina en el capítulo 5.

CorelDraw guarda, importa y exporta los documentos en los siguientes formatos<sup>20</sup>:

- AI - Adobe Illustrator.
- BMP - Mapa de bits OS/2.
- BMP - Mapa de bits Windows.
- CAL - Mapa de bits comprimido CALS.
- CDR - CorelDraw.
- CDT - Plantilla CorelDraw.
- CDX - CorelDRAW comprimido.
- CGM - Metarchivo de gráficos PC.
- CLK - Corel R.A.V.E.
- CMX - Corel Presentation Exchange.
- CMX - Intercambio de Presentación Corel 5.0.
- CPT - Imagen Corel PHOTO-PAINT.
- CPX - CMX comprimido de Corel.
- CSL - Biblioteca de símbolos de Corel.
- DES - Corel DESIGNER.
- DOC - MS Word 97/2000/2002.
- DOC - MS Word para Windows 6/7.
- DOC, DOCX - MS Word.
- DWG - AutoCAD.
- DXF - AutoCAD.
- EMF - Metarchivo mejorado de Windows.
- EPS - PostScript encapsulado.
- FMV - Metarchivo mejorado de Frame.

---

<sup>20</sup> COREL CORPORATION.2016. Consultado: [20 de abril de 2016]. Disponible en [www.corel.com](http://www.corel.com).

- FPX - Imagen Kodak FlashPix.
- GIF - Animación GIF.
- GIF - Mapa de bits CompuServe.
- JPG - Mapa de bits JPEG.
- JPG2- JPEG 2000 Codestream.
- JPG2- JPEG 2000 Standard.
- MAC - Mapa de bits MACPaint.
- PAT - Archivo de patrón.
- PCT - Macintosh PICT.
- PCX - PaintBrush.
- PDF - Adobe Portable Document Format.
- PFB - Fuente Adobe Type 1.
- PIC - Lotus Pic.
- PLT - Archivo de trazador HPGL.
- PNG - Portable Network Graphics.
- PP4 - Picture Publisher 4.
- PP5 - Picture Publisher 5.0.
- PPF - Imagen Picture Publisher v10.
- PPT - Microsoft PowerPoint.
- PS, EPS, PRN - PostScript.
- PSD - Adobe Photoshop.
- PSP - Corel Paint Shop Pro.
- PUB - Formato de documento MS Publisher.
- RAW - Archivos RAW.
- RIFF- Painter.
- RTF - Formato RTF.
- SVG - Scalable Vector Graphics.
- SVGZ- SVG comprimido.
- SWF - Macromedia Flash.

- TGA - Mapa de bits Truevision Graphics Adapter o TARGA (Truevision Advanced Raster Graphics Adapter).
- TIF - Mapa de bits TIFF.
- TTF - Fuente True Type.
- TXT - Texto ANSI.
- WB, WQ - Corel Quatro Pro.
- WI - Mapa de bits Wavelet comprimido.
- WK - LOTUS 1-2-3.

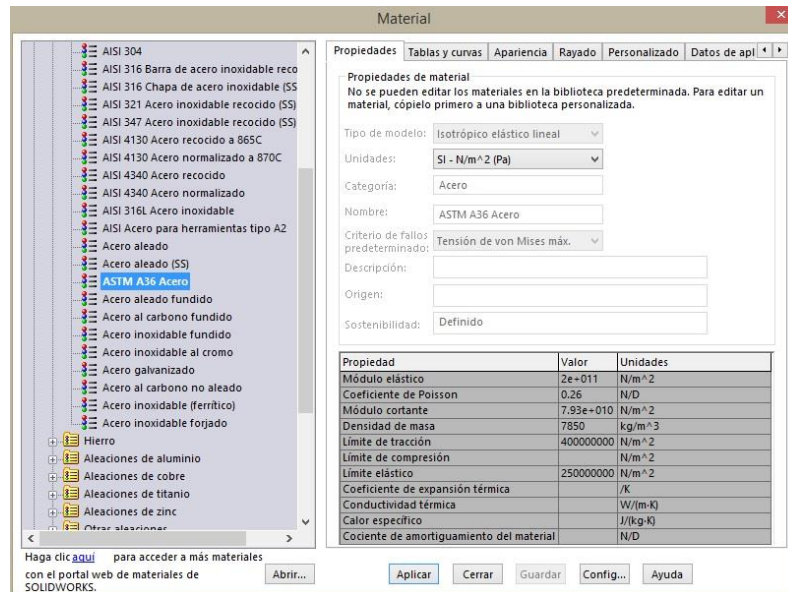
Para usar el software es necesario comprarlo en la página web [www.corel.com](http://www.corel.com).

#### **4.7 MODELO DEL ANÁLISIS DE ESFUERZOS DEL BANCO**

Con el diseño definido para el banco de la máquina láser, se efectúa un análisis de cargas, las cuales son las resultantes de las fuerzas que efectúa la masa de la cortadora laser. Para ello se realiza el análisis en el programa SOLIDWORKS, el cual tiene una opción de simulación de cargas para así poder visualizar el comportamiento, y con unos respectivos parámetros de entrada, como la fuerza a la que está sometida, el punto donde se somete esa fuerza, donde se apoya, y el material del banco, que permite el estudio de los esfuerzos del banco.

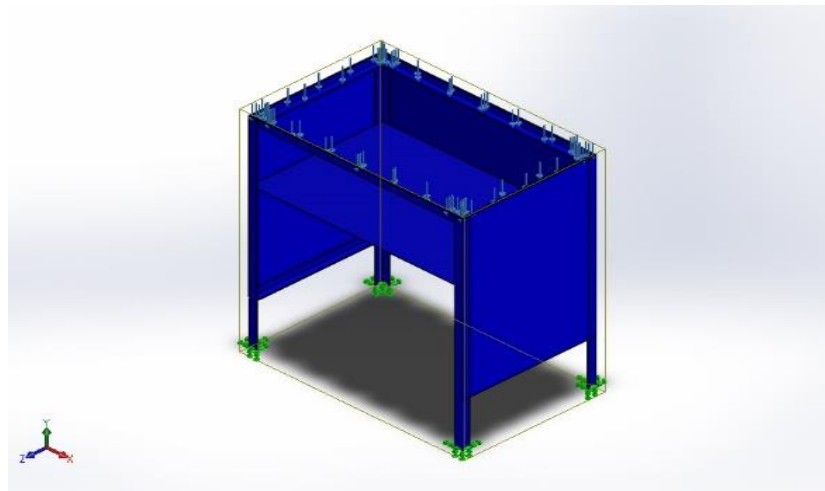
**4.7.1 Parámetros de entrada para la simulación.** Para la simulación, el primer parámetro que se debe establecer es la selección del material, para ello el programa ya tiene predeterminados diversos materiales con sus respectivas propiedades, y como anteriormente se mencionó, el material que se seleccionó es un acero al carbono, entonces se selecciona un acero ASTM A36 para el banco (figura 49).

Figura 49. Opción de material de Solidworks.



Se considera para el sistema un análisis de carga estática, debido a que no hay fuerzas dinámicas que actúen sobre el sistema, solo el peso de la máquina cortadora láser sobre el banco de pruebas (figura 50).

Figura 50. Modelo para la simulación de esfuerzos del banco de pruebas en Solidworks.

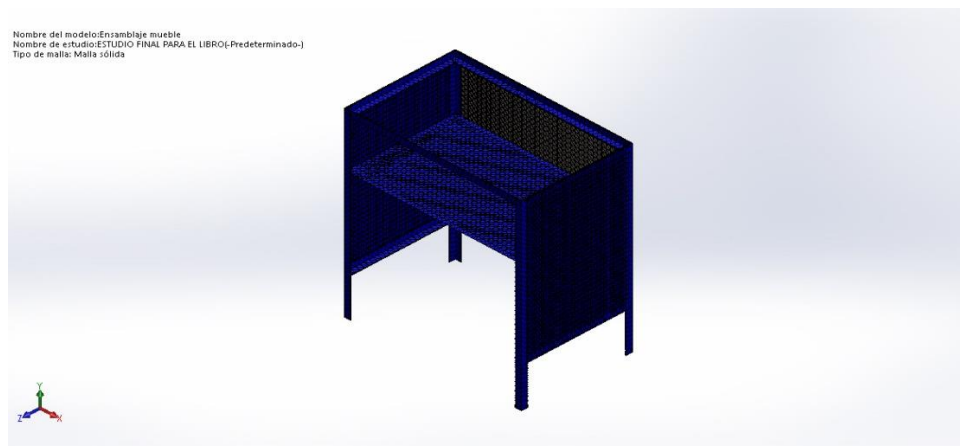


Las flechas que representan las fuerzas en la placa (flechas celestes), es la fuerza que efectúa el peso de la cortadora laser, la cual es equivalente a 30 [Kg] en su totalidad.

El programa SOLIDWORKS para la simulación del banco de pruebas requiere fijar la sección del elemento al cual se le piensa hacer el estudio, que como se puede observar en la figura 50, está representado por flechas verdes.

**4.7.2 Mallado del modelo<sup>21</sup>.** El proceso de subdividir el modelo en pequeñas partes se llama malla. Los programas de análisis de elementos finitos consideran al modelo como una red de elementos interconectados. El mallado es un paso crucial en el análisis de diseño. El software crea automáticamente una malla combinada de elementos sólidos, de vaciado y de viga. La malla sólida es adecuada para los modelos voluminosos o complejos en 3D. Los elementos de vaciado son adecuados para las piezas delgadas. La precisión de la solución depende de la calidad de la malla. En general, cuanto más delgada es la malla mayor es la precisión (figura 51).

Figura 51. Mallado del banco de pruebas en Solidworks.



<sup>21</sup> DASSAULT SYSTEMES. Help Solidworks. Disponible en: <http://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/Fundamentals/Meshing.htm> [Citado 27/04/2015]

Para el banco de la cortadora laser, el mallado se hizo con elementos lo más pequeños posibles, dado que las láminas de calibre 14 son delgadas, si se efectuaba un mallado normal el programa generaba error al realizar el análisis de esfuerzos (tabla 9).

Tabla 9. Información de malla.

<b>Número total de nodos</b>	63658
<b>Número total de elementos</b>	31054
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	166.47
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	0.232
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b>	86.2
<b>% de elementos distorsionados (Jacobiana)</b>	0
<b>Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):</b>	00:00:34
<b>Nombre de computadora:</b>	NÉSTORMESA

**4.7.3 Análisis de resultados.** EL estudio del modelo de deformación para el banco que usa el programa SOLIDWORKS, es según la teoría de tensión de Von Mises.<sup>22</sup> El esfuerzo de Von mises se define como el esfuerzo de tensión uniaxial que crearía la misma energía de distorsión que la combinación real de los esfuerzos aplicados. El esfuerzo efectivo Von Mises  $\sigma$  para el caso tridimensional es:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_1\sigma_3 - \sigma_3\sigma_2} \quad (30)$$

Donde:

$\sigma_1 =$  *esfuerzo principal en el eje X*

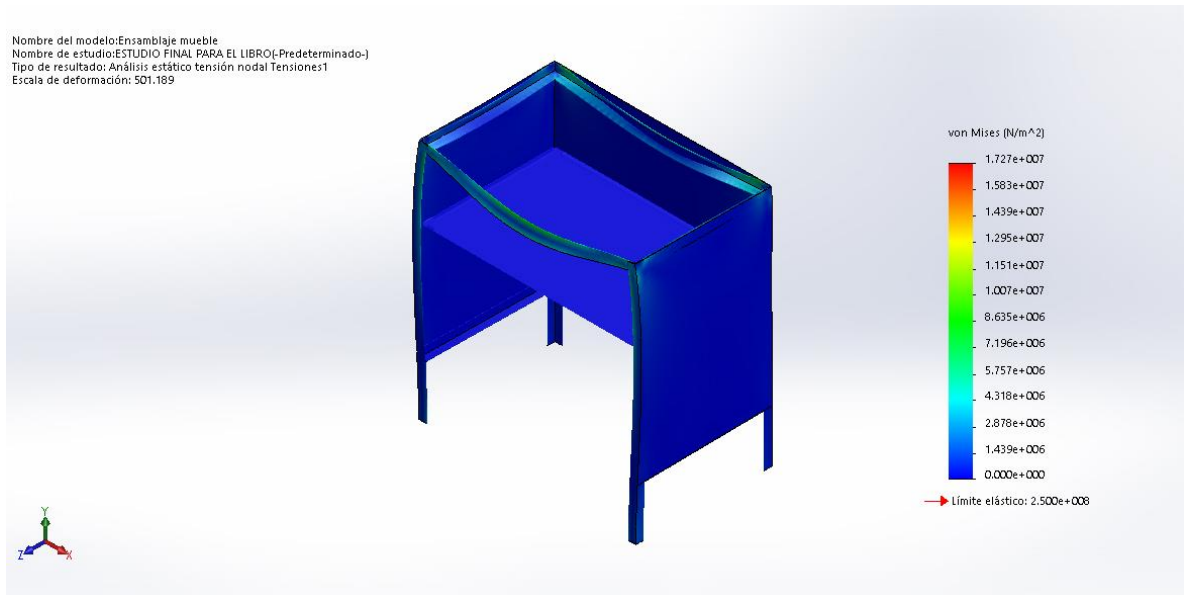
$\sigma_2 =$  *esfuerzo principal en el eje Y*

$\sigma_3 =$  *esfuerzo principal en el eje Z*

<sup>22</sup> NORTON, Robert. Diseño de máquinas. McGraw-Hill Interamericana. 2009. P. 179

Con base en la teoría, el programa realiza el cálculo de esfuerzos, para así mostrar escaladamente como es el comportamiento de las fuerzas en el banco, dando la facilidad de visualizar la deformación con claridad (figura 52).

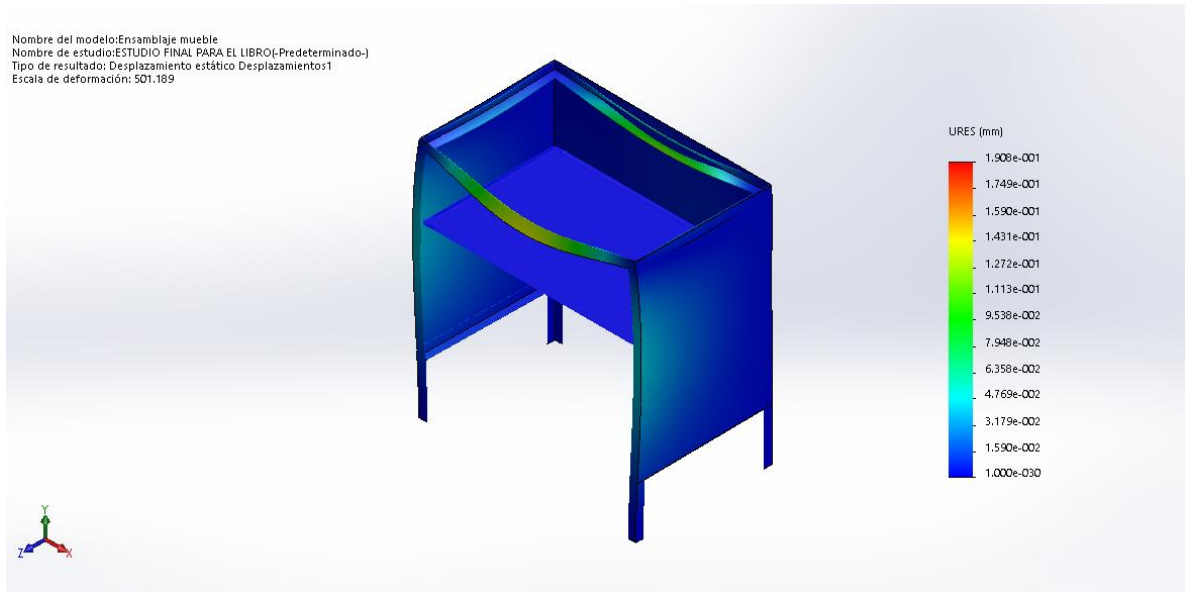
Figura 52. Estudio de tensiones del banco de pruebas en Solidworks.



Se denota una escala de los esfuerzos que se presentan en el banco de forma de colores, donde el esfuerzo mínimo de 0 [N/m<sup>2</sup>] está de color azul, y el esfuerzo máximo de 1,72E7 [N/m<sup>2</sup>] esta de color rojo. Como se puede observar en la figura 52, visiblemente por el programa, no se tienen esfuerzos que generen fallas al banco de pruebas, puesto que el programa notificaría inmediatamente al momento de realizar el análisis.

Con respecto al desplazamiento, como se mencionó anteriormente, solo se presenta los mayores esfuerzos en la parte donde se encuentra el motor, por consiguiente ahí también estarán ubicadas las máximas deformaciones del mismo (figura 53).

Figura 53. Estudio de desplazamientos del banco de pruebas en Solidworks.



Como se observa en la figura 53, se puede apreciar una escala de colores, en la cual el color rojo es el máximo desplazamiento y el azul el mínimo desplazamiento, el color rojo no indica que es crítica la sección, sólo representa, como se mencionó anteriormente, el punto de mayor deformación con respecto al resto del sistema. Dicho desplazamiento máximo es de  $4,1E-5$  [mm] y no es una deformación permanente. Gracias al programa SOLIDWORKS se puede tener una buena visualización de los desplazamientos del banco.

Para asegurar la confiabilidad del diseño, se hace un estudio general del factor de seguridad del banco (figura 54), dado que este nos permite conocer el valor de las cargas máximas que puede soportar el banco sin fallar:

$$N = \frac{S_y}{\sigma} \quad (31)$$

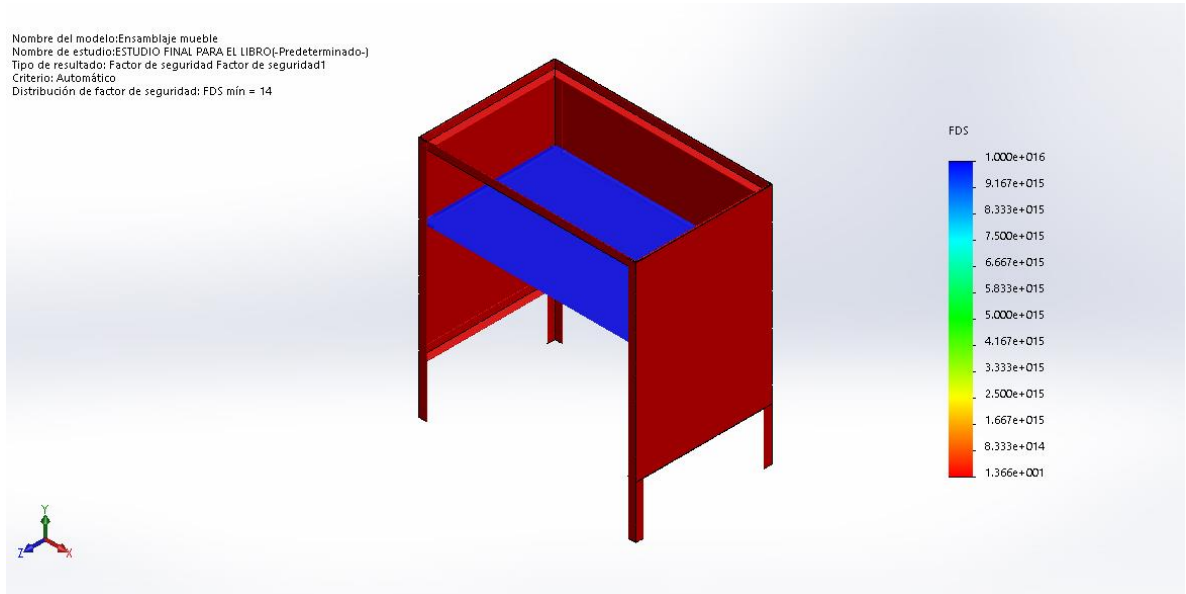
Donde:

N: Factor de seguridad.

$S_y$ : Resistencia de fluencia por tensión del material.

$\sigma$ : Esfuerzo en el material.

Figura 54. Factor de seguridad del banco de pruebas en Solidworks.



El factor de seguridad del banco que establece el programa es de 13,67. Faïres<sup>23</sup> propone una tabla que se representa el intervalo del factor de seguridad N posible para ciertos materiales, dependiendo de sus propiedades y el criterio de falla (tabla 10).

Tabla 10. Factores de seguridad.

TIPO O CLASE DE CARGA	ACERO, METALES DÚCTILES		HIERRO FUNDIDO, METALES FRÁGILES	MADERA DE CONSTRUCCIÓN
	Basado en la resistencia máxima	Basado en la resistencia de fluencia	Basado en la resistencia máxima	
Carga muerta o carga variable bajo análisis por fatiga	3- 4	1,5 - 2	5 - 6	7
Repetida en una	6	3	7 - 8	10

<sup>23</sup> FAIRES, Virgil. Diseño de elementos de máquinas. Limusa. 1997. Pág. 24.

<b>dirección, gradual (choque suave)</b>				
<b>Repetida invertida, gradual (choque medio)</b>	8	4	10-12	15
<b>Choque fuerte</b>	10-15	5-7	15-20	20

Fuente: FAIRES, Virgil. Diseño de elementos de máquinas

Nótese que en la tabla se considera el caso de diseño de materiales dúctiles con base en la resistencia máxima, sin embargo, muchos autores no consideran este caso y plantean que el diseño de estos materiales se base en la resistencia de fluencia.

Teniendo en cuenta que el factor de seguridad de 13,67 que suministra el programa es basado en la resistencia de fluencia, al ver la tabla 10 en la sección de aceros, se enfoca en la columna de factores de seguridad que se basan en la resistencia de la fluencia y en la fila de carga muerta (carga estática), que es la que se efectuó para la simulación, se observa que el intervalo óptimo del factor de seguridad está entre 1,5 y 2, por consiguiente, se puede concluir que el banco cumple con las especificaciones previamente establecidas para un buen factor de seguridad, y que además es superior al valor del intervalo establecido por el libro, respecto al material y al tipo de carga establecidos por el autor.

Dentro de la estructura de la cortadora laser, se encuentra un sistema de transmisión óptico, dicho sistema se encuentra apoyado sobre cuatro columnas de apoyo de acero 1020, las cuales soportan la masa de la misma, que es aproximadamente es de 5 [Kg], 4 de sus apoyos se encuentran en los extremos de la base cuadrada del sistema. Haciendo un análisis conceptual de la estructura, se llegó a la conclusión de que un análisis de pandeo al sistema es irrelevante, puesto que la masa es muy pequeña para hacer una inestabilidad elástica en las columnas en las que está apoyado el sistema de transmisión óptico, dado que en el mercado la comercialización de acero 1020 en barra con perfil hexagonal, el

perfil con menor área transversal soporta una carga estática superior a los 25 [Kg]  
(según el proveedor).

## 5. CALIBRACIÓN Y PRUEBAS DEL EQUIPO

### 5.1 PROTOCOLO DE SEGURIDAD

La máquina cortadora láser es una máquina de alta tecnología combinada con principios ópticos, mecánicos y eléctricos. Es estrictamente necesario seguir las medidas de seguridad para asegurar su buen funcionamiento y mantenimiento.

Los estudiantes e interesados en utilizar la máquina deberán leer este manual de seguridad detalladamente antes de proceder a su uso, para así comprender cómo se opera y cómo es su mantenimiento y funcionamiento.

Antes de conocer el protocolo de seguridad, es primordial tener claridad de las partes y del conjunto de accesorios de la máquina.

**5.1.1 Apariencia de la máquina.** A continuación se puede observar las diferentes vistas de la máquina.

- Parte frontal (figura 55).

Figura 55. Parte frontal de la máquina.



- Parte trasera (figura 56).

Figura 56. Parte trasera de la máquina.



- Panel de control (figura 57).

Figura 57. Panel de control.

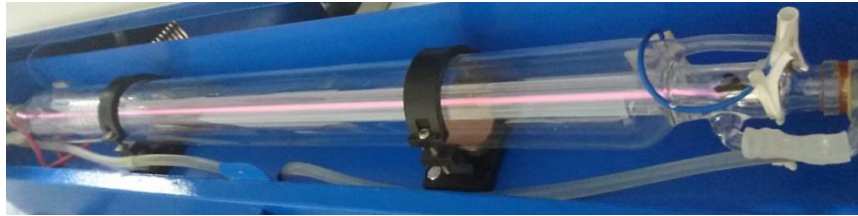


- Láser de dióxido de carbono instalado (figura 58) y emitiendo (figura 59).

Figura 58. Láser de dióxido de carbono instalado.

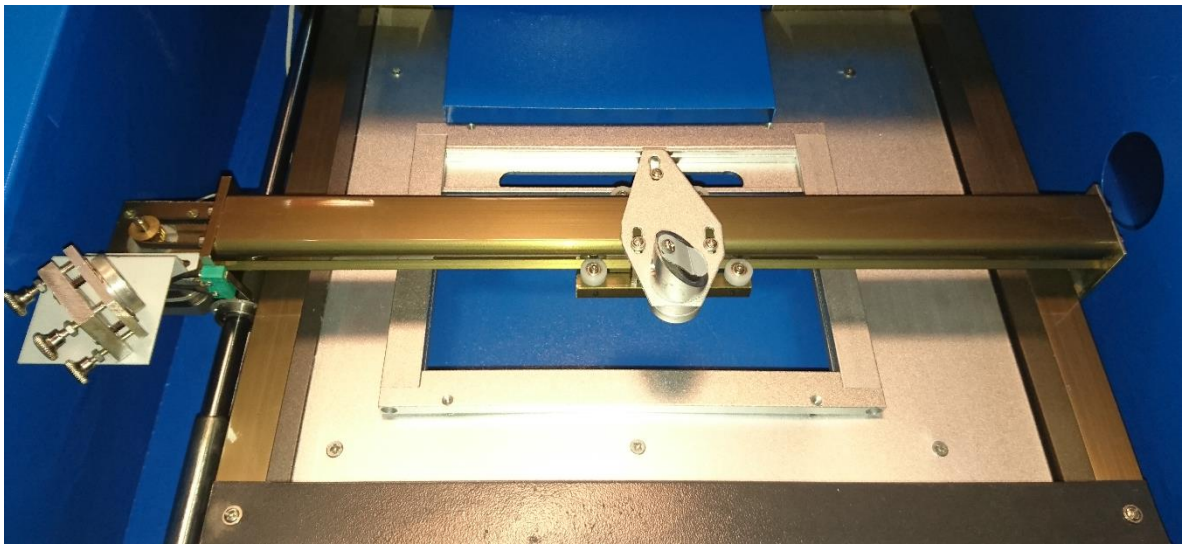


Figura 59. Láser de dióxido de carbono emitiendo.



- Mesa de trabajo (figura 60).

Figura 60. Mesa de trabajo.



**5.1.2 Conjunto de accesorios.** A continuación se pueden observar los diferentes accesorios de la máquina.

- Bomba de agua (figura 61).

Figura 61. Bomba de agua centrífuga.



- Extractor de aire y tubo de escape (figura 62).

Figura 62. Extractor de aire y tubo de escape.



- Llave para usar WinsealXP (figura 63).

Figura 63. Llave USB para usar WinsealXP.



- Mesa (figura 64).

Figura 64. Mesa.



- Lubricante (figura 65).

Es necesario lubricar rieles y ejes guía, el siguiente lubricante es el recomendado.

Figura 65. Lubricante.



- Los usuarios deberán leer el manual de uso cuidadosamente antes de utilizar la máquina. Se deben obedecer las normas estrictamente. Personas sin acompañamiento y previa lectura tienen prohibido utilizar la máquina.
- La máquina utiliza un láser tipo IV (radiación fuerte de laser), este tipo de radiación puede generar los siguientes accidentes:
  - Puede incendiar cualquier tipo de elemento combustible.
  - Algunos materiales de trabajo pueden causar radiaciones y gases tóxicos durante el proceso.
  - La radiación directa del láser causa daño corporal.
- La ubicación de la máquina debe contar con equipos contra incendios. Alrededor no debe tener ningún objeto combustible o explosivo, un lugar abierto. Personal sin entrenamiento tiene prohibido utilizar la máquina.
- Los materiales que se van a utilizar y sus emisiones deben cumplir con las normas y regulaciones locales.
- Por razones de seguridad, el usuario debe considerar cuidadosamente si los materiales a procesar son adecuados para trabajar con un láser.
- La máquina cuenta con un alto voltaje y otras partes que potencialmente son peligrosas, personas no profesionales tienen prohibido desarmar la máquina.
- El operador de la máquina tiene prohibido dejar la máquina sola mientras se está trabajando en ella, y debe apagarla completamente al terminar.
- Está prohibido abrir alguna tapa de la máquina mientras trabaja.

- Asegurar las conexiones de corriente y el polo a tierra antes de utilizar la máquina.
- El operador debe de estar pendiente de cómo está operando la máquina, si algo excepcional sucede, se deberá apagar inmediatamente.
- Mantener la máquina en un lugar seco, sin contaminación, sin efectos eléctricos ni magnéticos. La temperatura ambiental debe de estar entre 5° y 40°C.
- El voltaje de la máquina es de AC110V, 60Hz, está prohibido abrir la máquina cuando la fuente de poder esté inestable.
- No observe la luz producida mientras la máquina se encuentre operando.
- Las máquinas cortadoras láser usan un alto voltaje, nunca toque o manipule los cables internos de la máquina.
- Siempre utilice la máquina cortadora láser con el sistema de extracción encendido. El humo que pueda producir la máquina es perjudicial para la salud. La mayoría de este humo se elimina correctamente si el sistema de escape esta encendido, si la cantidad de humo es demasiada hay que detener la máquina.

## **5.2 PROTOCOLO DE VERIFICACIÓN Y AJUSTES**

**5.2.1 Instalación de la máquina.** El sistema completo está compuesto por la máquina de grabado laser, el extractor de aire, tubo de escape, bomba de agua, tanque de agua, llave USB y cable USB. Según la necesidad, el usuario puede

configurar los computadores, impresoras, escáneres, y demás hardware que le quieran agregar.

- **Conexión a la bomba de agua:**

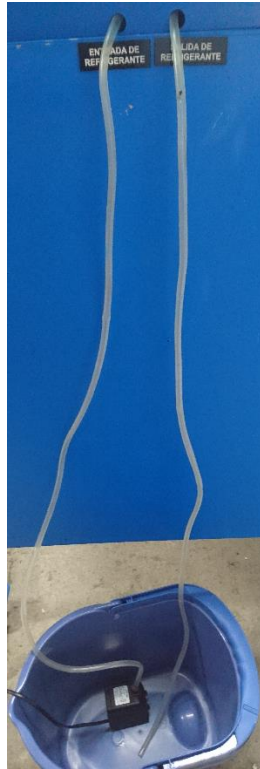
El sistema de enfriamiento de agua es muy importante para la máquina, en caso de no tenerlo en cuenta, el tubo láser puede llegar a explotar por la cantidad de calor que puede generar.

El tubo de ingreso de agua (figura 66) en el láser se conecta a la bomba de agua, el tubo de salida de agua se coloca directamente en el tanque de agua, se llena el tanque de agua, se enciende la bomba de agua, y el agua empieza a correr (figura 67).

Figura 66. Entrada y salida de refrigerante.



Figura 67. Instalación de la bomba de agua.



Nota: antes de encender el láser, asegurarse que el agua esté corriendo. Cuando la temperatura del agua sea mayor de 35 °C, se puede enfriar el agua agregando hielo en esta. Colocar alguna sustancia anticongelante en el agua que en caso de que la temperatura del ambiente sea menor a 0 °C.

- Instalación del extractor de aire:

El tubo del extractor debe estar ubicado de manera que los gases salgan al exterior (figura 68).

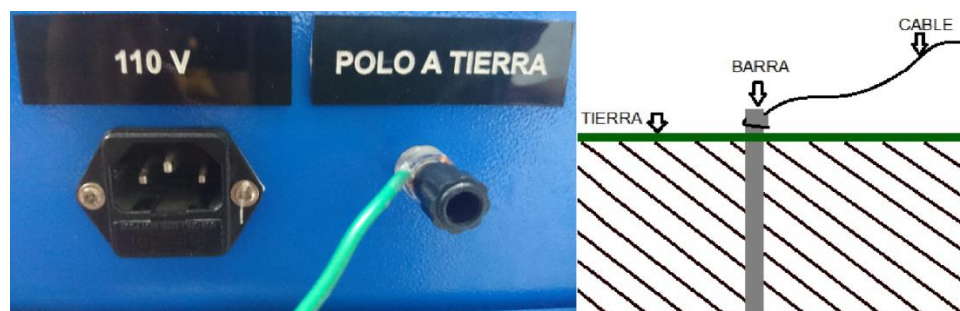
Figura 68. Instalación del extractor de aire.



- Puesta a tierra:

La máquina de grabado láser usa un tubo láser de tipo IV. Esta máquina tiene un alto voltaje, por lo tanto los usuarios de la máquina deben de cumplir con el protocolo de seguridad. Debe de utilizar un polo a tierra como resistencia que sea menor que  $5\Omega$  (figura 69).

Figura 69. Instalación de la puesta a tierra.

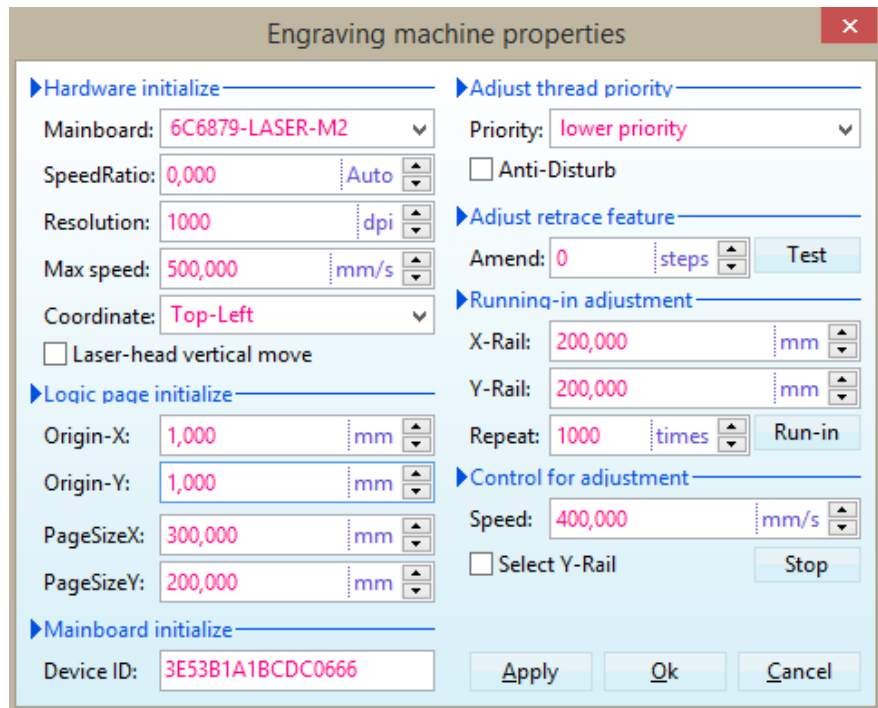


Nota: No instalar el polo a tierra tiene alta probabilidad de causar que falle el equipo y a su vez puede causar otro tipo de incidentes de seguridad, como sobrecalentamiento de rayo láser.

- Software:

Ya sea en WinsealXP o Corel Laser es necesario ajustar las propiedades de la máquina, ingresar el código de la tarjeta controladora (visible a un costado de la tarjeta) para que la máquina sea reconocida por el computador, ajustar la velocidad máxima en 500 [mm/s], la resolución en 0,026 [mm] o 1000[dpi] (estos datos son dependientes de los motores paso a paso) y el tamaño del área de corte en la coordenada X de 300 [mm] y en la coordenada Y de 200[mm]. También es necesario insertar la llave USB en el ordenador para que la tarjeta controladora permita realizar los trabajos (figura 70).

Figura 70. Ajuste de las propiedades de la máquina.



El fabricante del rayo láser recomienda una velocidad de 0-350 [mm/s] para grabados y 0-35 [mm/s] para cortes. En ambos programas la máquina se configura de manera semejante. El cuadro de diálogo anterior se abre seleccionando el símbolo de una tuerca.

**5.2.2 Ajuste del camino óptico.** Para el ajuste del camino óptico se usan los tres espejos reflectores y el lente de enfoque. En la figura 71 se ilustran el espejo 1 y en la figura 72 se ilustra 2, 3 como los siguientes espejos y 4 al lente de enfoque.

Figura 71. Primer espejo reflector.

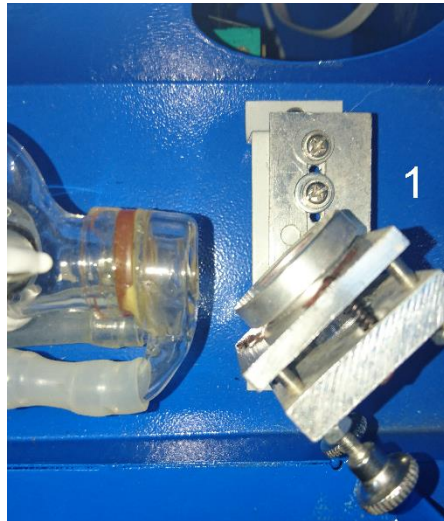
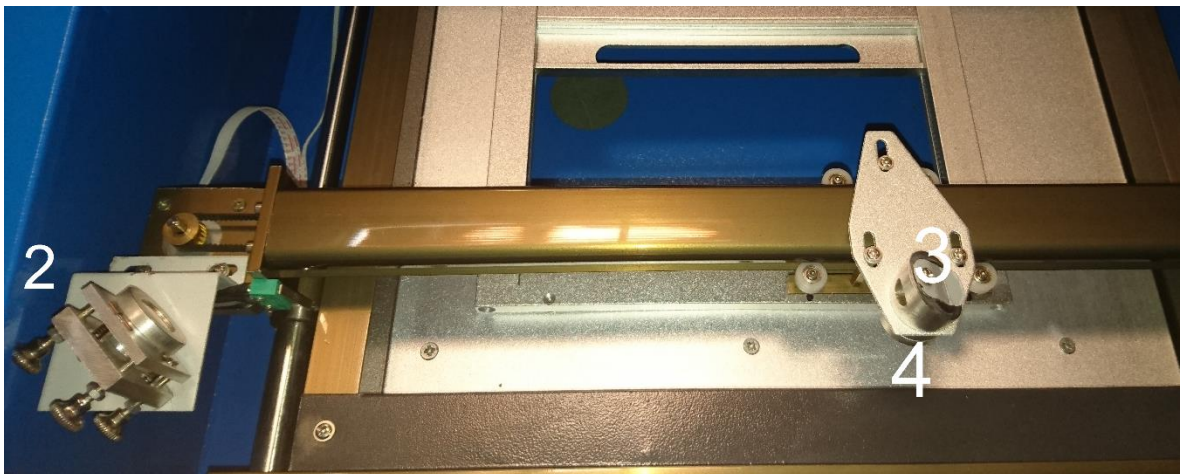


Figura 72. Espejos reflectores y lente de enfoque.



Paso 1:

Ajusta el valor de la corriente a 6mA.

Paso 2:

Colocar cuatro capas de cinta de enmascarar al espejo 1, luego hacer una prueba para obtener un punto de laser en la cinta. El punto del láser debe dar en el centro del espejo, ajustar la posición del tubo del láser por medio de los soportes que lo sostienen hasta obtenerlo.

Paso 3:

Colocar cinta de enmascarar en el espejo 2, después mover el riel en el eje Y a la posición A (figura 74). Se realiza una prueba para obtener un punto del láser en la cinta, este punto debe de dar en el centro del espejo (figura 73).

Figura 73. Cinta de enmascarar en el espejo 2.

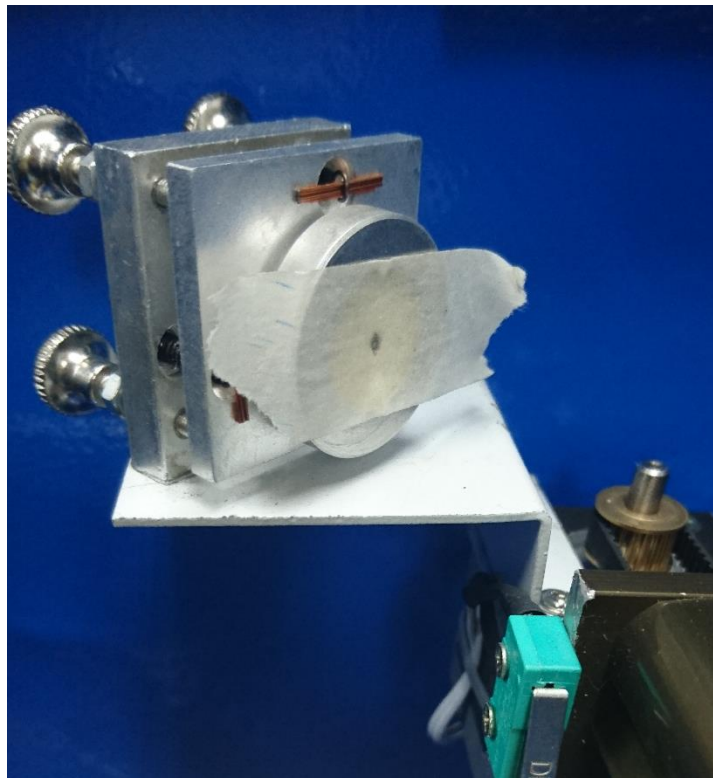
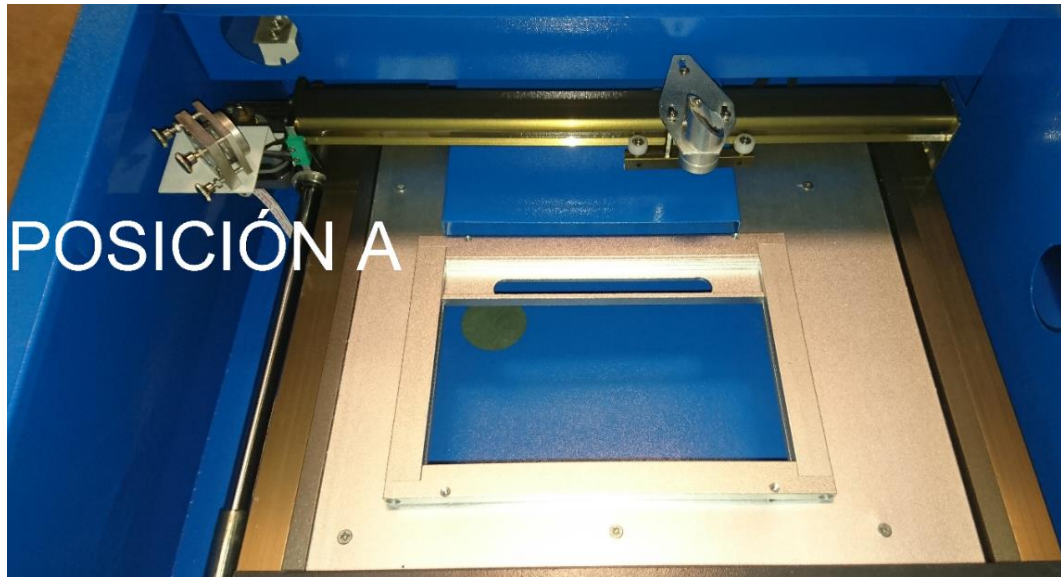


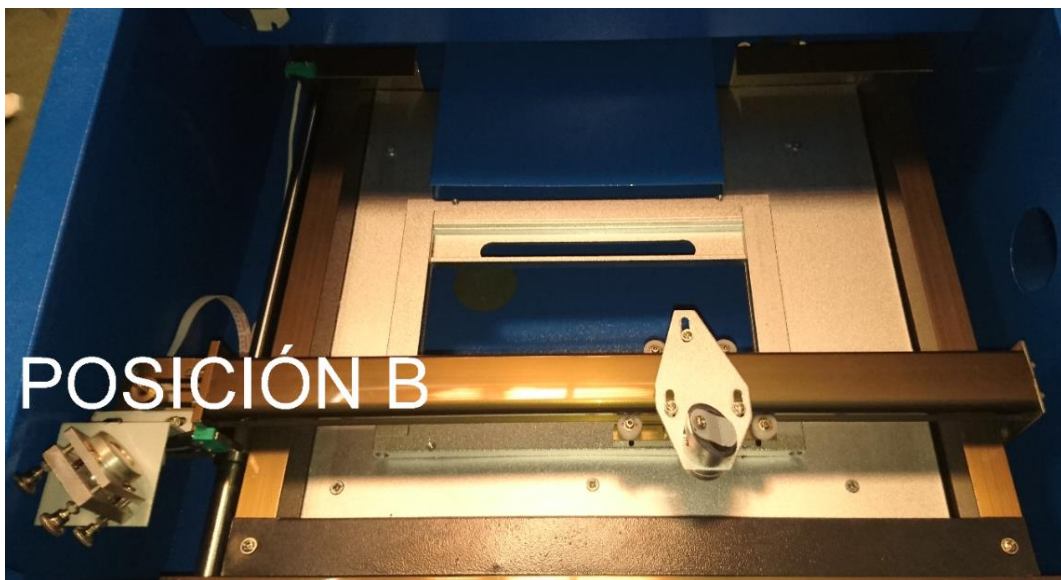
Figura 74. Posición A del segundo espejo.



Paso 4:

Mover la fuente del rayo en el eje Y a la posición B lentamente y volver a realizar una prueba para obtener otro punto en la cinta (figura 75).

Figura 75. Posición B del segundo espejo.



Paso 5:

Si el segundo punto no está en la misma posición del primero, ajustar los tornillos que están ubicados detrás del espejo 1 hasta que el segundo punto quede encima del primero. Hay tres tornillos de ajuste, los dos superiores ajustan si el punto se mueve hacia la izquierda o derecha, y el tornillo inferior ajusta si se mueve hacia arriba o abajo (figura 71).

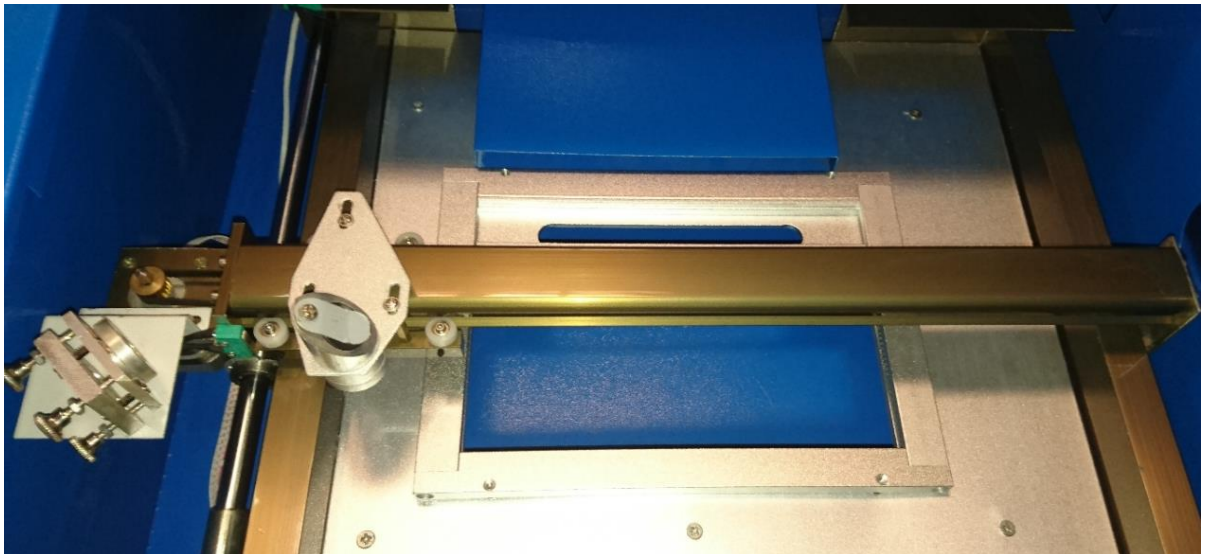
Paso 6:

Repetir los pasos 3,4 y 5 hasta que los dos puntos estén ubicados en la misma posición.

Paso 7:

Colocar cinta al espejo 3, mover la cabeza del láser cerca al espejo 2 y realizar una prueba para obtener un punto del láser en el centro de la cinta, es un procedimiento similar al anterior (figura 76).

Figura 76. Cabezal del lente de enfoque cerca al segundo espejo.



Paso 8:

Mover la cabeza del láser lentamente al lado más lejano del espejo 2, hacer una prueba para obtener un punto del láser (figura 77).

Figura 77. Cabezal del lente de enfoque en la posición más lejana del segundo espejo.



Paso 9:

Si estos dos últimos puntos no quedan exactamente en la misma posición, ajustar los tornillos del espejo 2 de la misma manera que se ajustaron los del espejo 1.

Paso 10:

Repetir los pasos 7,8, 9 hasta que los dos puntos queden ubicados en la misma posición.

Paso 11:

Colocar cinta en el hueco encima de la cabeza del láser, hacer una prueba para obtener un punto del láser, este punto debería estar cerca al centro del hueco.

Paso 12:

Si el punto no está en el centro del hueco, en este caso se debe de mover el tubo del láser hacia arriba o bajo y hacia adelante y atrás para ajustarlo.

## 5.3 PROTOCOLO DE FUNCIONAMIENTO

**5.3.1 Operación de la máquina láser.** La operación de la máquina cortadora láser se limita a ciertos materiales. Hay una amplia gama de materiales que la máquina cortadora láser puede cortar o grabar, pero algunos simplemente no funcionan (por ejemplo, metales) y algunos son extremadamente peligrosos para los seres humanos o para la propia máquina (por ejemplo, PVC y ABS). Por lo tanto, es imprescindible leer las siguientes tablas antes de intentar cortar materiales que no se hayan trabajado previamente. Por ejemplo el policarbonato produce llamas y gas de cloro letal, que corroen rápidamente la máquina y podrían volverla inútil y además es extremadamente peligroso para la salud de las personas cercanas. Sin embargo, el acrílico huele y se siente y como el policarbonato pero si se pueden producir cortes sin problemas y de forma limpia, además es uno de los mejores materiales a utilizar con el láser. En la selección de la velocidad de trabajo se recomienda 0-35 [mm/s] para corte y 0-350 [mm/s] para grabado.

5.3.1.1 Materiales no permitidos para cortar o grabar. A continuación se describen los materiales que bajo ninguna circunstancia se permite su corte o grabado (tabla 11).

Tabla 11. Materiales peligrosos para cortar o grabar.

Material	Peligro	Consecuencia
PVC ( Policloruro de Vinilo ) / vinilo / piel artificial / cuero artificial.	Emite gas de cloro puro cuando se corta.	No cortar este material, ya que a medida va a arruinar la óptica , causar que el metal de la máquina se oxide y arruinar el sistema de control de movimiento.
Gruesa ( > 1 mm ) de policarbonato / Lexan.	Malos cortes , decolora y puede entrar en combustión	La ventana de la cortadora de láser es de policarbonato porque este absorbe fuertemente la radiación infrarroja. Está en la frecuencia que la máquina usa para cortar los materiales , por lo que es muy ineficaz en el corte de policarbonato .
ABS.	Emite gas de cianuro y tiende a derretirse.	Tiende a fundirse y no permite que se grave bien.
HDPE	Se inflama y se derrite	Se derrite y se pone pegajoso.
Espuma de poliestireno.	Se inflama.	Se prende fuego. Este es el material que más causa incendios láser.
Espuma de polipropileno.	Se inflama.	Como el poliestireno , que se derrite y se prende fuego , las gotas fundidas continúan ardiendo y se convierten en gotas duras como piedras.
Fibra de vidrio.	Emite humo.	Es una mezcla de dos materiales que no pueden cortar. Vidrio ( se puede grabar pero no cortar) y la resina epoxi (emite humos).
Fibra de carbono recubierta.	Emite humos tóxicos.	Es una mezcla de dos materiales. La fibra de carbono fino se puede cortar pero cuando no se encuentra recubierta.

Fuente: Laser cutter materials. (Néstor Julián Mesa, trad) [En línea] disponible en:

[http://atxhackerspace.org/wiki/Laser\\_Cutter\\_Materials#NEVER\\_CUT\\_THESE\\_MATERIALS](http://atxhackerspace.org/wiki/Laser_Cutter_Materials#NEVER_CUT_THESE_MATERIALS)

5.3.1.2 Materiales permitidos para cortar. A continuación se describen los materiales permitidos para cortar por la máquina.

Tabla 12. Materiales permitidos para cortar.

Material	Espesor máximo	Notas	Advertencias
Maderas.	1/4"	Evitar maderas aceitosas y resinosas.	Tener mucho cuidado con el corte de madera con aceite, o maderas con mucha resina, ya que pueden inflamarse .
maderas contrachapadas y compuestas.	1/4"	Estas maderas contienen pegamento y es probable que no corte tan bien como la madera maciza.	
MDF.	1/4"	Se pueden cortar pero pueden experimentar una mayor cantidad de carbonización.	
Papel, cartulina.	Delgado	Buenos cortes rápidos.	
Cartulina, cartón.	Grosos	Se cortan bien pero pueden inflamarse	Estar pendiente si se presenta fuego.
Corcho.	1/4"	Buen corte , pero la calidad del corte depende del espesor y de la calidad del corcho.	Evitar corchos gruesos.
Acrílico / Lucite / plexiglas / PMMA.	1/2"	Cortes extremadamente buenos dejando un borde muy bien pulido .	
Láminas delgadas de policarbonato.	<1mm	Las láminas extremadamente delgadas (0.5 mm y menos ) se pueden cortar dejando bordes amarillentos y descoloridos.	Estar pendiente si se presenta fuego.
Delrin (POM).	Delgado	El Delrin viene en varios grados de dureza. El Delrin más duro tiende a funcionar mejor . Muy bueno para hacer engranajes.	
Cinta Kapton (Poliámid).	1/16"	Funciona bien , en finas láminas y tiras como una cinta .	
Mylar.	1/16"	Funciona bien si es delgada . mylar gruesa tiene una tendencia a deformarse.	No funciona con Mylar recubierta de oro.
Estireno sólido.	1/16"	Genera mucho humo cuando se corta, pero se puede realizar el corte.	Sólo para cortes delgados.
Espuma de Depron.	1/4"	Se utiliza mucho para la construcción de aviones RC , modelos arquitectónicos y juguetes . Cortes muy buenos con borde liso.	Deben ser monitoreados constantemente.
Paño / fieltro / cañamo / algodón.		Buen corte.	No cortar de plástico recubierto.
Cuero y Gamuza.	1/8"	El cuero es muy difícil de cortar , pero puede ser si es más delgado que un cinturón.	Sólo cuero real, no piel artificial u otras imitaciones.
Hoja magnética.		Buen corte.	
Caucho		Buen corte.	Tener precaución con cauchos que contengan cloro.
Teflón (PTFE)	Delgado	Buenos cortes en láminas finas.	
Esteras de fibra de Carbono.		Puede ser cortado, muy lentamente	No se debe cortar la fibra de carbono que ha sido recubierta.

Fuente: Laser Cutter Materials. (Néstor Julián Mesa, trad) [En línea] disponible en:

[http://atxhackerspace.org/wiki/Laser\\_Cutter\\_Materials#NEVER\\_CUT\\_THESE\\_MATERIALS](http://atxhackerspace.org/wiki/Laser_Cutter_Materials#NEVER_CUT_THESE_MATERIALS)

5.3.1.3 Materiales permitidos para Grabar. A continuación se describen los materiales permitidos para grabar por la máquina (tabla 13).

Tabla 13. Materiales permitidos para grabar.

Material	Notas	Advertencias
Vidrio.	El vidrio verde funciona mejor.	Sólo se pueden grabar vidrios planos.
Baldosas de cerámica.		
Aluminio anodizado	Vaporiza la anodización.	
metales pintados o revestidos	Vaporiza la pintura.	
Piedra, mármol, granito , piedra pomez , Onyx .	Obtiene un blanco "texturizado" al grabar.	100 % de potencia , velocidad 50 % o menos para el grabado .

Fuente: Laser cutter materials. (Néstor Julián Mesa, trad) [En línea] disponible en:

[http://atxhackerspace.org/wiki/Laser\\_Cutter\\_Materials#NEVER\\_CUT\\_THESE\\_MATERIALS](http://atxhackerspace.org/wiki/Laser_Cutter_Materials#NEVER_CUT_THESE_MATERIALS)

5.3.1.4 Descripción del panel de control. Para el manejo de la máquina se cuenta con un panel de control (figura 57). A continuación se describen instrucciones y funciones del panel de control.

- Interruptor de encendido:

Este interruptor enciende o apaga la fuente de poder de la máquina.

- Botón de prueba:

Cuando la máquina está encendida y el sistema de refrigeración está funcionando, al presionar este botón se emite un haz láser.

- Potenciómetro de porcentaje:

Este potenciómetro es usado para ajustar la potencia del láser.

- Porcentaje de potencia: Muestra el porcentaje actual de potencia. Se ajusta esta potencia según el tipo de material que se esté trabajando. Cuando se esté alineando el rayo láser, se debe ajustar la potencia a menos de 30% por motivos de seguridad.

### 5.3.1.5 Uso de la máquina.

Paso 1: Ajustar el material por medio de la abrazadera, la parte superior del material debería estar en el mismo nivel al marco de la abrazadera para mantener la distancia al foco correcta, esta distancia es de 5cm aproximadamente. Se puede observar esto a continuación (figura 78):

Figura 78. Material en la abrazadera.

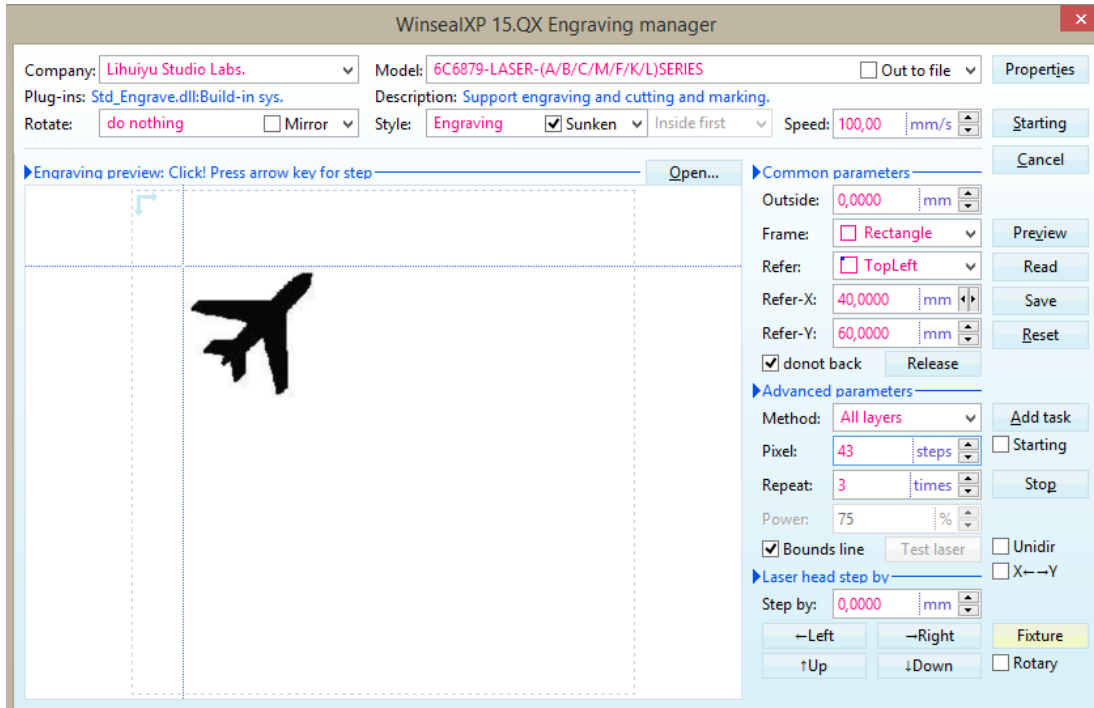


Nota: si el material está ubicado a una distancia incorrecta podría causar mal proceso de grabado.

Paso 2: Realizar el diseño en el software o importarlo.

Paso 3: Mover la cabeza del láser al origen en el software arrastrando el diseño a la interfaz de salida. Es posible ajustar la velocidad de movimiento del lente de enfoque, tamaño de pixeles, repeticiones y pruebas para ajustar el origen correctamente. El origen se mueve arrastrando el mouse a la posición deseada o escribiendo los valores numéricos de las coordenadas X y Y para una mayor precisión. Seleccionando “Starting” la máquina comenzará a realizar su trabajo (figura 79).

Figura 79. Interfaz previa a iniciar el proceso de corte o grabado.



Paso 4: Ajustar la velocidad del láser según el tipo de material que se esté procesando. La potencia se puede ajustar manualmente en el panel de control.

Consejos importantes para buenos resultados:

La profundidad del corte está determinada por el poder y la velocidad con la que el láser se ajusta. Por ejemplo: para un corte a través de un material grueso, el poder debe ser muy alto y la velocidad muy lenta, o para un grabado muy superficial, la potencia debe de ser muy baja y la velocidad alta.

#### 5.4 PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO.

Para que la máquina funcione establemente y sin causar errores, es necesario mantenimiento diario. A continuación se explica cómo realizar el mantenimiento y algunos errores comunes.

**5.4.1 Mantenimiento diario.** A continuación se explican los procesos de mantenimiento preventivo más importantes para que la máquina funcione adecuadamente.

- Cambio del agua para refrigeración del láser (Limpiar el tanque del agua y reemplazar el agua reciclada una vez a la semana):

La calidad y temperatura del agua usada para el proceso de enfriamiento puede afectar el tiempo de vida del tubo laser. Se sugiere el uso de agua purificada o destilada, la temperatura del agua debe ser menor de 35 °C.

Nota: asegurarse que la máquina tenga el sistema de enfriamiento de agua funcionando y con agua antes de encender la máquina.

- Limpieza del tanque de agua:

Asegurarse que la máquina este apagada, desconectar el tubo de ingreso de agua, dejando que el agua almacenada en el interior del tubo laser fluya hasta el tanque del agua automáticamente. Limpiar bomba de agua y tanque de agua. Después se vuelve a ingresar la bomba de agua al tanque, se conecta el tubo de agua con la máquina y con la bomba, se cambia el agua de enfriamiento. Se enciende la bomba de agua solamente, y se deja correr 3 minutos.

- Limpieza del extractor de aire:

Con el uso, el interior del extractor de aire acumula polvo y el extractor empieza a generar ruido. Cuando esto sucede el efecto del extractor es débil y es necesario limpiarlo junto al tubo de escape. Primeramente se apaga la fuente de poder, se retira el tubo del extractor, se limpia el polvo del interior del tubo y del interior del extractor.

- Limpieza del lente (se recomienda su limpieza siempre que se vaya a usar el láser, la máquina debe estar completamente apagada):

La máquina de grabado láser tiene 3 espejos reflectores y un lente de enfoque (el primer espejo está cerca a la salida de luz del tubo laser, el segundo está en la esquina superior izquierda, el tercero esta encima de la cabeza del láser, el lente de enfoque está ubicado en la parte inferior de la cabeza del láser). Estos espejos se ensucian muy fácilmente y esto lleva a perdida de potencia del láser y daños en los espejos. No es necesario remover los espejos para limpiarlos, se debe usar una bola de algodón con un poco de acetona o alcohol y se limpia desde el centro hasta el borde.

El lente de enfoque si se saca de la cabeza del láser y se limpia de la misma manera que los espejos, después se vuelve a ubicar en el mismo lugar donde estaba inicialmente

Nota: se debe de limpiar el lente con cuidado, para no dañar su superficie. Se debe mantener el lado cóncavo del lente apuntando hacia el lado inferior de la máquina al instalarlo.

- Limpieza del carril de guía (se sugiere su limpieza cada dos semanas, el equipo debe de estar apagado para esto):

Se debe de mover la cabeza del láser a un extremo, y a continuación, limpiar el carril con un paño seco hasta que brille. Limpiar y lubricar el riel guía para el eje Y con un poco de aceite (Se recomienda aceite para máquina de coser). Después se debe empujar la cabeza del rayo láser por el eje Y para que el lubricante quede bien distribuido.

Nota: tener un paño seco de algodón limpio para limpiar y aceite para lubricar.

- Inspección del camino óptico:

El sistema para el camino óptico de la máquina de corte y grabado laser está compuesto por los espejos reflectores y el lente de enfoque. Con esto se genera un camino óptico al tener los 3 espejos alineados correctamente, igual es posible que el camino óptico se corra un poco, por eso se recomienda revisar bien que este correcto.

**5.4.2 Análisis de fallas comunes.** A continuación se dan soluciones a las fallas más comunes que puede presentar la máquina cortadora láser (tabla 14).

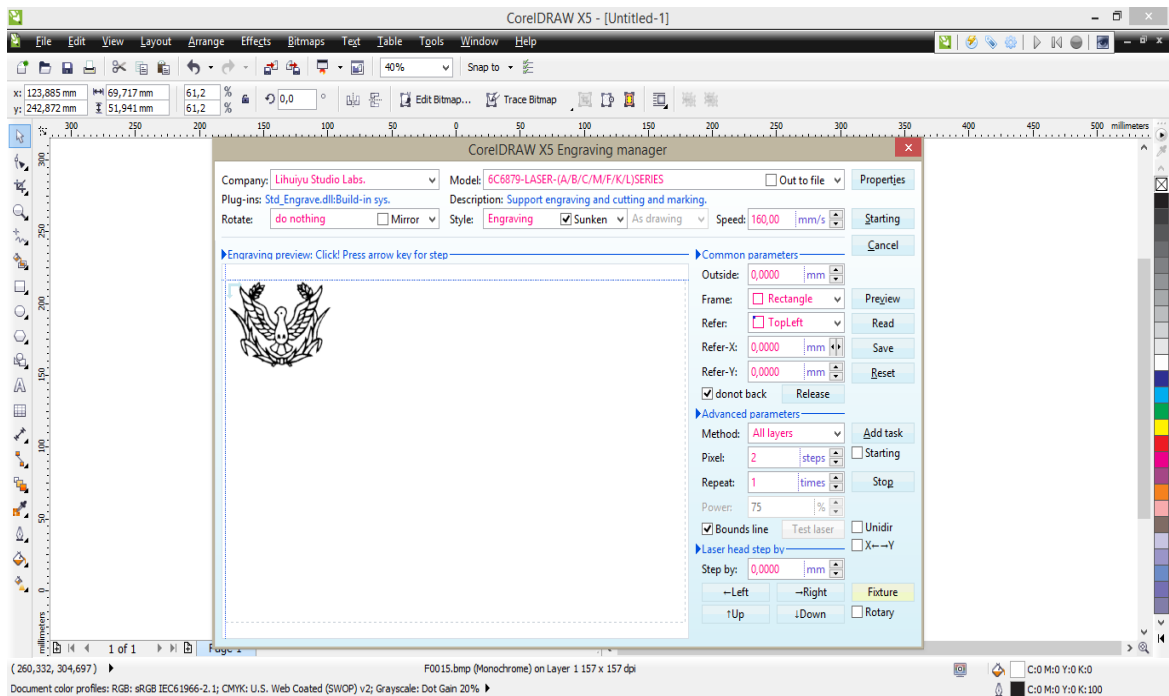
Tabla 14. Análisis de fallas comunes.

No.	Falla	Método de análisis	Solución
1	Encender la máquina y que no realice nada.	Revisar si la máquina está bien conectada.	Darle electricidad a la fuente de poder.
2	El láser no se detiene.	Conectar la máquina con polo a tierra.	Colocar la máquina conectada a una toma con polo a tierra.
3	Rayo inestable.	Revisar si la circulación del agua es estable.	Limpiar el tanque de agua, el tubo y la bomba de agua.
		El voltaje esta inestable	Agregar un regulador a la máquina láser.
4	No funciona correctamente al iniciar la máquina	Revisar si el metal toca el limite correcto o no	Ajustar la posición de la lámina de metal para que llegue al límite del switch.
5	La máquina no funciona después de darle instrucciones por el software.	Revisar si el cable de datos está conectado.	Conectar el cable de datos.
		Revisar si la máquina está encendida.	Encender la máquina.
		Revisar si la máquina está conectada a polo a tierra	conectar la máquina a polo a tierra
		Revisar si está instalado el driver para la conexión por USB.	Instalar el driver de USB.
6	No hay láser con la máquina encendida.	Revisar si el camino óptico esta desviado.	Ajustar el camino óptico.
		Revisar si el sistema de enfriamiento de agua está funcionando.	Asegurarse que el sistema de enfriamiento de agua funcione.
7	Cuando se realiza un grabado, la cabeza del láser no se mueve correctamente.	Revisar si la velocidad es demasiada.	Reducir la velocidad de grabado.
		Revisar si hay conexión a tierra.	Conectar a tierra.

## 5.5 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO

La prueba de funcionamiento constó de un grabado sobre madera por medio del software CorelDRAW X5, en el cual previamente debe estar instalado la extensión CorelLASER. La prueba inicia importando una imagen en formato .BMP y ubicándola a gusto en la hoja de trabajo, posteriormente se debe seleccionar la imagen para grabado o corte en la esquina superior derecha según apetezca. Se configuran los parámetros como se explicó anteriormente en el manual de la máquina, y se inicia con el trabajo (figura 80).

Figura 80. Prueba de funcionamiento en Corel DRAW X5.



Dependiendo del tipo de trabajo que se vaya a realizar, la máquina tarda diferentes tiempos (figura 81), el proceso de grabado sobre madera deja muy buenos resultados (figura 82).

Figura 81. Máquina cortadora láser grabando.



Para realizar un trabajo de corte, se deben configurar los parámetros con las velocidades recomendadas en el manual de la máquina (Capítulo 5).

Figura 82. Trabajo de grabado sobre madera terminado.



Se puede observar que el grabado quedó mejor a derecha que a izquierda, esto es debido a un pequeño desajuste en la línea óptica del rayo láser.

## 6. CONCLUSIONES

- Gracias a la información bibliográfica recopilada en el estado del arte y anexos, el proyecto cumple con el objetivo de grabar y cortar varios materiales. La máquina está diseñada para cortar y grabar diferentes archivos de formatos de imágenes que se encuentren permitidos en el software CorelDRAW y WinsealXP, para ello hay que tener en cuenta la calidad de los archivos y el área de trabajo que es permitido por la máquina.
- Para el diseño de la máquina se inició con un análisis teórico de los requisitos y parámetros con los cuales debía contar esta, posteriormente se especificó el diseño de cada subsistema que conforma la máquina, con la idea de que se llegara a la sinergia por la acción en conjunto de cada parte.
- La calibración precisa del sistema óptico permite aprovechar por completo la potencia del rayo láser y realizar buenos cortes y grabados sobre el material. El no calibrar el sistema conlleva a malos cortes y grabados debido a que el rayo láser no llega adecuadamente al lente de enfoque.
- El uso e instalación de la máquina cortadora láser es sencillo, esto facilita al usuario poder realizar los trabajos que requiera fácilmente. El manual de funcionamiento está diseñado para que cualquier usuario pueda hacer uso de la máquina en poco tiempo. Es muy importante que todos los usuarios lean el manual y es imprescindible tener en cuenta los parámetros de operación para evitar accidentes.

## 7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- Este proyecto deja abierta la posibilidad de más estudios e investigaciones en nuevos métodos de manufactura, de tal forma que se empiecen a reemplazar los métodos de manufactura tradicionales en el departamento de Santander.
- Siempre cumplir con los protocolos de seguridad y mantenimiento de la máquina cortadora láser.
- Verificar siempre que haya circulación del refrigerante por el rayo láser.
- Mantener el sistema óptico limpio y libre de impurezas, esto evita que el rayo láser se concentre en suciedades y pueda dañar los espejos.
- El proyecto deja abierta la posibilidad de implementar diferente software para el control de la máquina.
- Cuando sea necesario cambiar el rayo láser, espejos o demás repuestos, consultar con un distribuidor autorizado para su venta en Colombia.
- Ubicar la máquina donde la extracción de los gases por corte o grabado, no genere molestias a otras personas.

## BIBLIOGRAFÍA

ABOITES, Vicente. El Láser [en línea]. México. [fecha de consulta: 28 de julio del 2014]. Disponible en: <http://bilbiotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2>

Autor desconocido. Concepto de fuente de alimentación [en línea]. [fecha de consulta: 23 de marzo del 2016]. Disponible en: <http://concepto.de/fuente-de-alimentacion/#ixzz43kv0WrnD>

AFANADOR, Diana Marcela. Y PEREZ, Cristian Jhair. Diseño y construcción de un mini-router CNC para cortar láminas de aluminio. Trabajo de grado de la escuela de ingeniería mecánica. Bucaramanga: Universidad Industrial De Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. 2013. P.37

BEER, F. P.; JOHNSTON, E. R. Mecánica Vectorial para Ingenieros: Dinámica. McGraw-Hill. 9ªed, 2010. Cap. 12.

CHIANG, Luciano. 3-D CNC Trajectory interpolation Using Bresenham's Algorithm.. Santiago, Chile: Universidad Católica de Chile. Department of Mechanical Engineering. Pág.1

COREL CORPORATION.2016. [Fecha de consulta: 25 de marzo de 2016] Disponible en [www.corel.com](http://www.corel.com).

DASSAULT SYSTEMES. Help Solidworks. [en línea] disponible en: <<http://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/Fundamentals/Meshing.htm>> [Citado 27/04/2016]

FAIRES, Virgil. Diseño de elementos de máquinas. Limusa. 1997. Pág. 24

F. K. Kneubühl, M. W. Sigrist: *Laser*. 3. Auflage. Teubner, 1991, Pág. 4.

CENGEL, Yunus, CIMBALA, JOHN. *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones*. México: McGraw-HILL, 2006. Cap.8.

NORTON, Robert. *Diseño de máquinas*. McGraw-Hill Interamericana. 2009. Pág 179.

SERWAY, Raymond. *Physics for Scientists and Engineers*. 8va edición. 2010. Pág. 124

TROTEC. *Comparación de tipos de láser* [en línea]. Barranquilla. Colombia. fecha de consulta: [23 de marzo del 2016]. Disponible en: <http://concepto.de/fuente-de-alimentacion/#ixzz43kv0WrnD>

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALENCIA [en línea] Disponible en: [http://www.sprl.upv.es/IOP\\_RF\\_01%28a%29.htm](http://www.sprl.upv.es/IOP_RF_01%28a%29.htm)

WHITEHOUSE, David. *UNDERSTANDING CO<sub>2</sub> LASERS* [en línea] Manager, Laser Advanced Development Center. [fecha de consulta: 04 de Marzo del 2015]. Disponible en: <http://www.laserk.com/newsletters/whiteCO.html>

## ANEXOS

### Anexo A. Cotización de máquina comercial.

	<b>LASER-MAC</b> SAS www.laser-mac.com	Cra 37 No. 42-35 Tel. (7) 6343746 Cel. 310-569 4355		
<b>COTIZACION - LM1 061714</b>				
Empresa:	NESTOR MESA	Teléfono:		
Contacto:	NESTOR MESA	Fax:		
Dirección:		Fecha:	Jun 17/2014	
E-mail:	<a href="mailto:nestor-mesa@hotmail.com">nestor-mesa@hotmail.com</a>	Ciudad:	BUCARAMANGA	
Item	Descripción	Cant.	Valor Unit.	Valor Total
1	<b>EQUIPO DE GRABADO Y CORTE CON RAYO LÁSER X-252 RX MARCA GCC LASERPRO, CON 40 WATT DE POTENCIA, ÁREA DE TRABAJO DE 63x46 cm., CHILLER DE ENFRIAMIENTO PARA EL TUBO LÁSER, COMPRESOR DE DOBLE CABEZA INCLUIDO. EXTRACTOR CENTRÍFUGO INCLUIDO. MESA DE CORTE HONEYCOMB INCLUIDA. INSTALACION Y CAPACITACIÓN INCLUIDA.</b>	1	\$ 25.440.000	\$ 25.440.000
				

CONDICIONES COMERCIALES
<b>TIEMPO DE ENTREGA:</b>
20 días aprox.
<b>FORMA DE PAGO:</b>
100% ANTICIPADO A CONVENIR
<b>GARANTÍA:</b>
1 AÑO EN EL EQUIPO INCLUYENDO TUBO LASER
<b>VALIDEZ DE LA OFERTA:</b>
30 DIAS

SubTotal	\$ 25.440.000
I.V.A.	\$ 4.070.400
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 29.510.400</b>



**MANUEL COBOS N**  
Gerente

## Anexo B. Planos de la máquina.

Figura 83. Ensamble total.

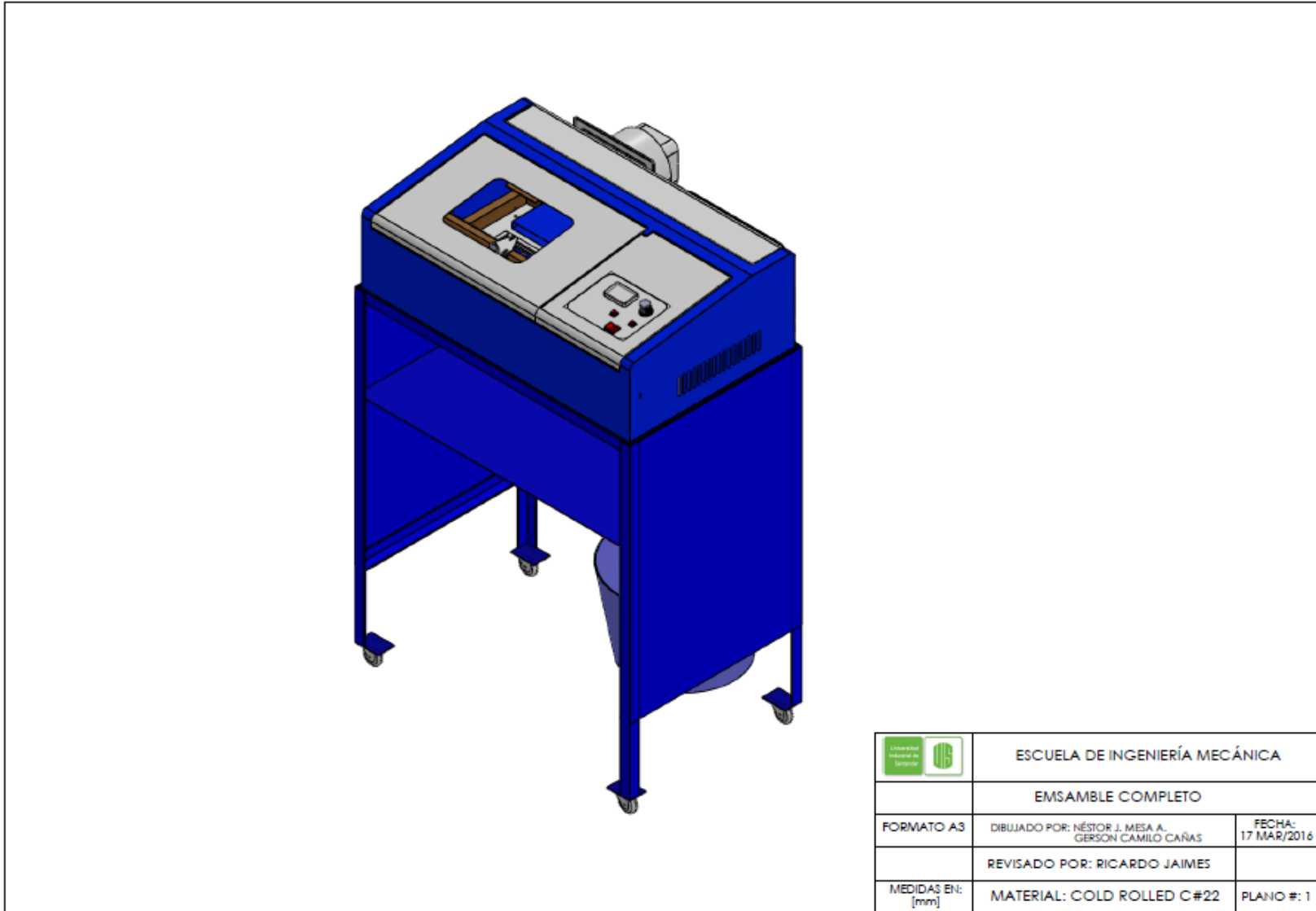


Figura 84. Plano máxima extensión.

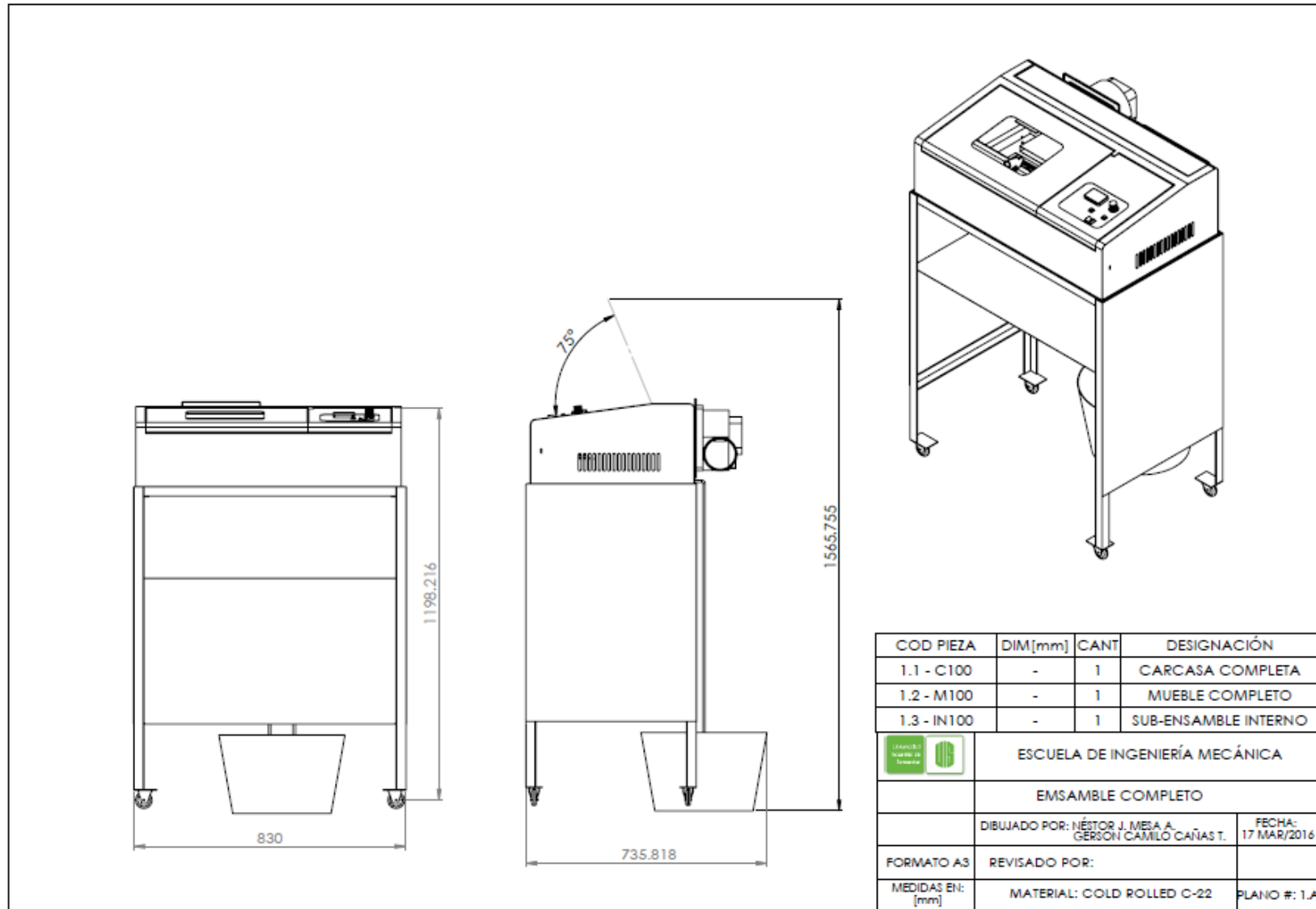


Figura 85. Plano sub ensamble carcasa completa.

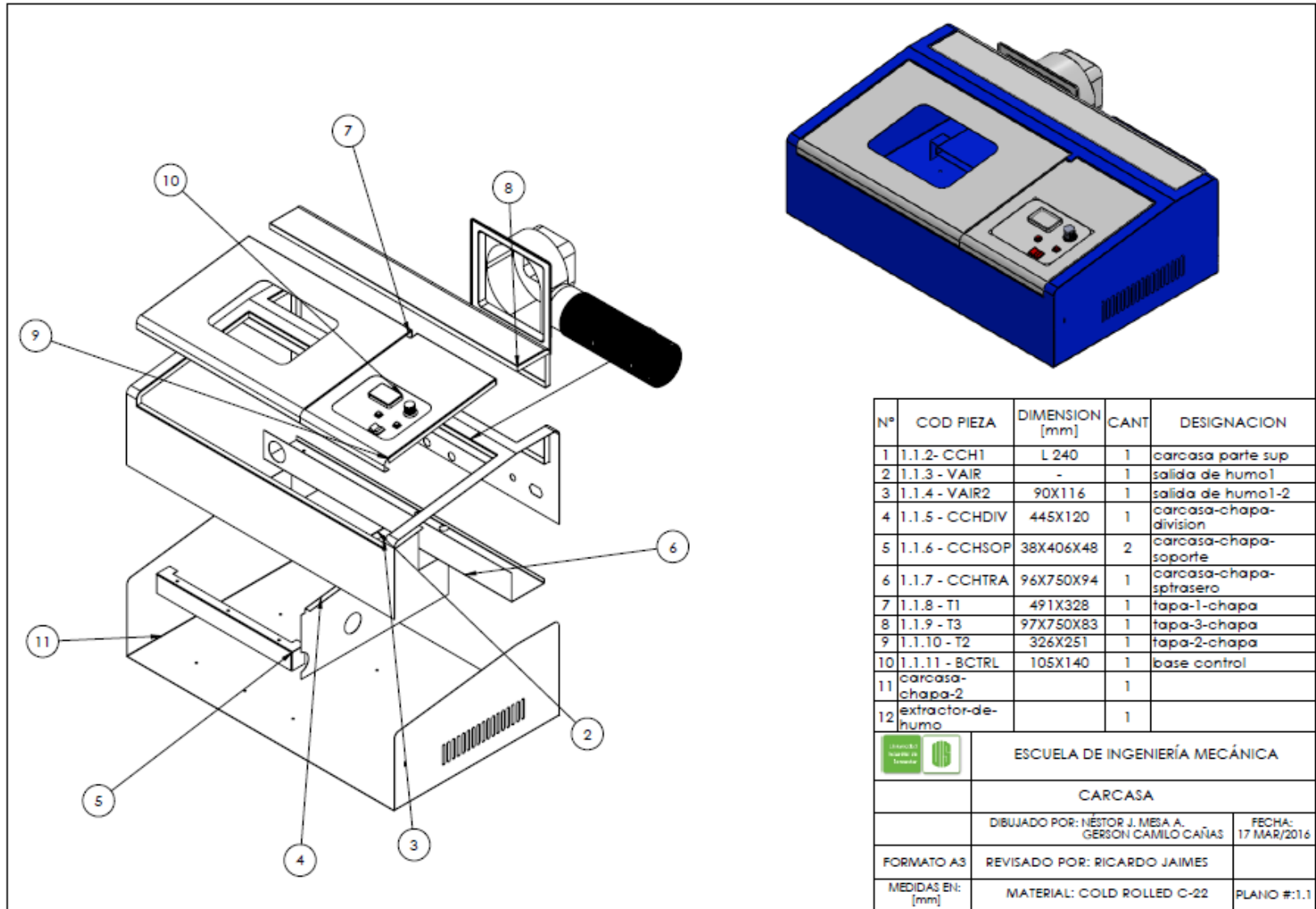


Figura 86. Plano particular carcasa parte superior.

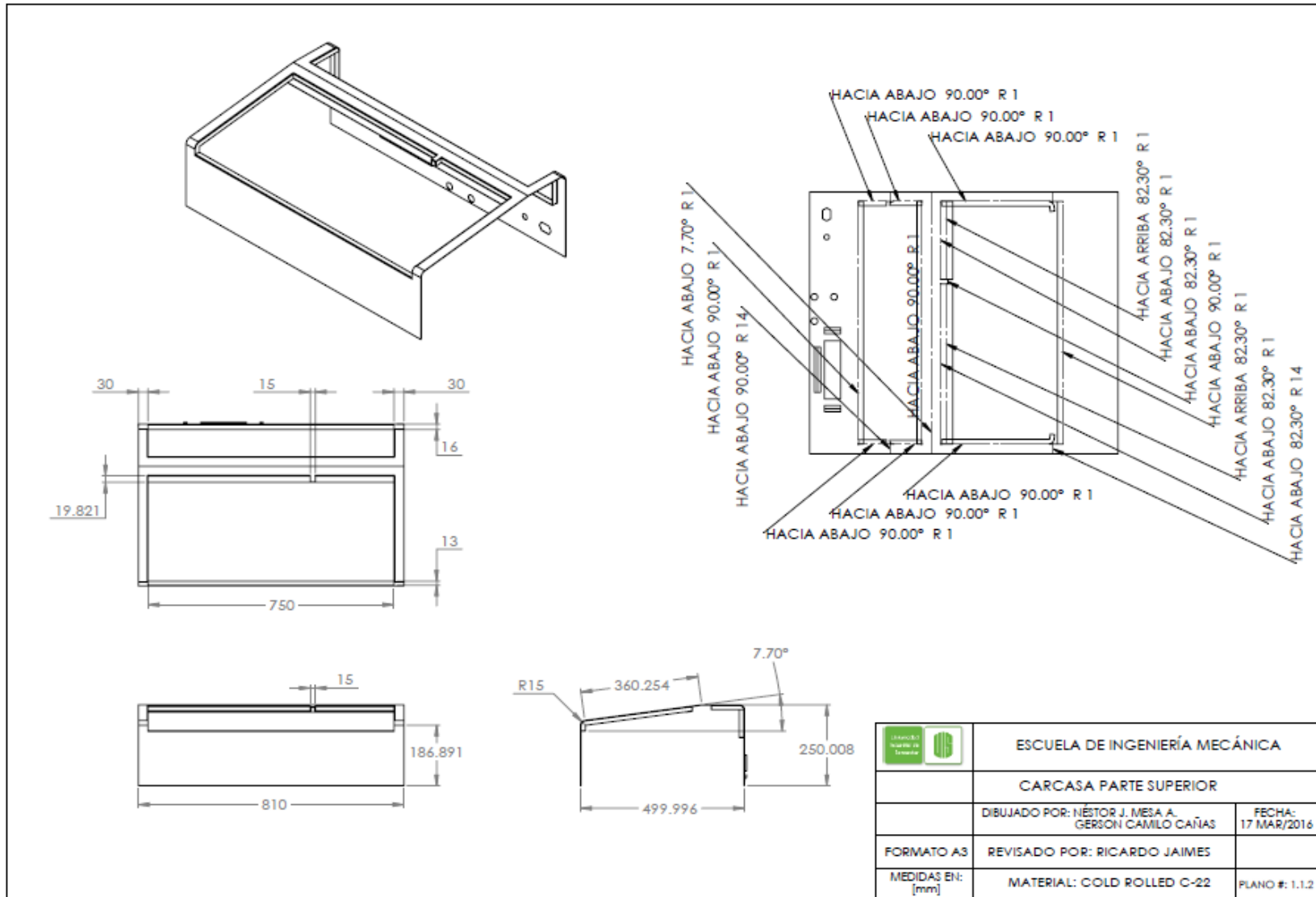


Figura 87. Plano particular salida de humo 1.

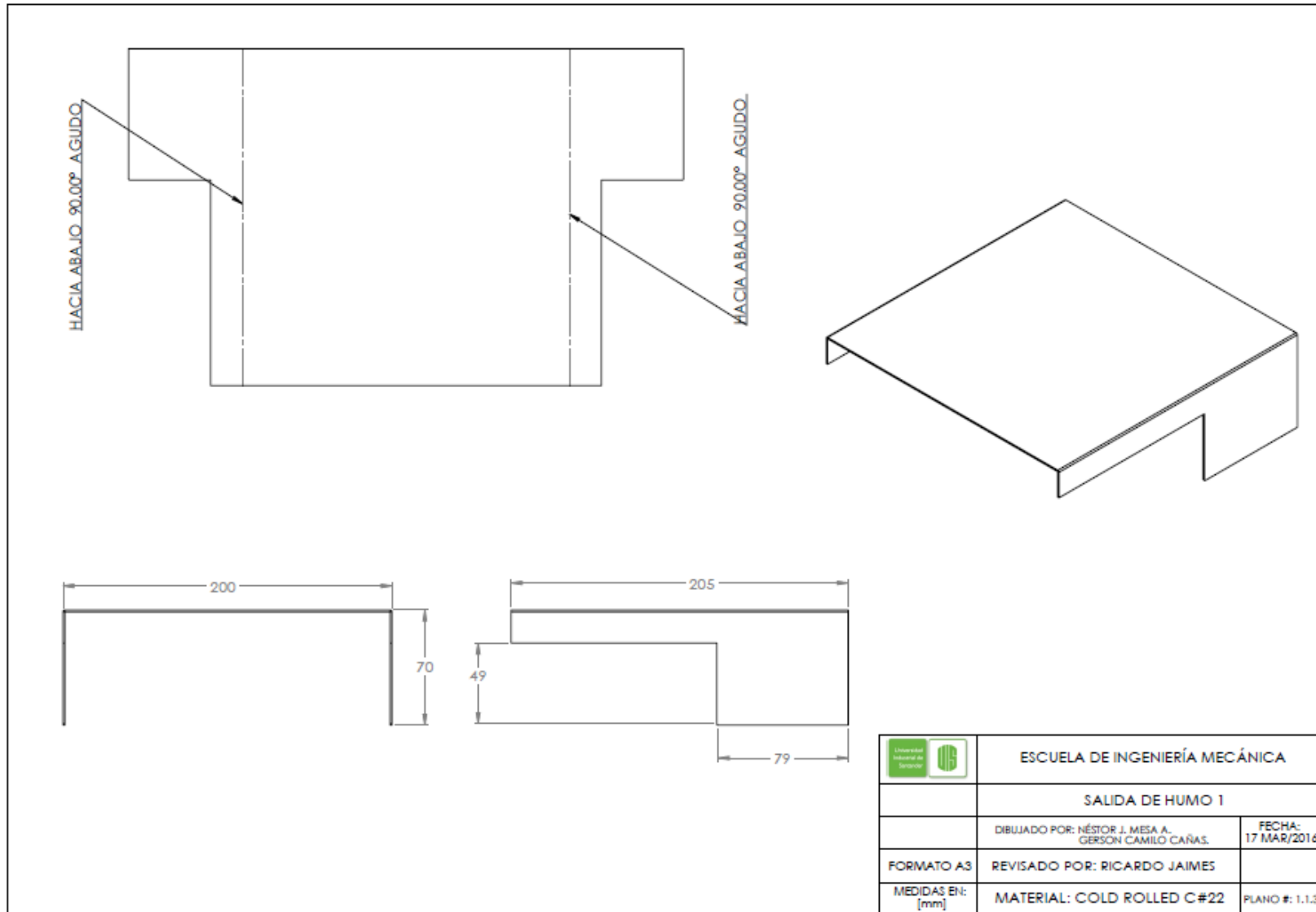


Figura 88. Plano particular salida de humo 1-2.

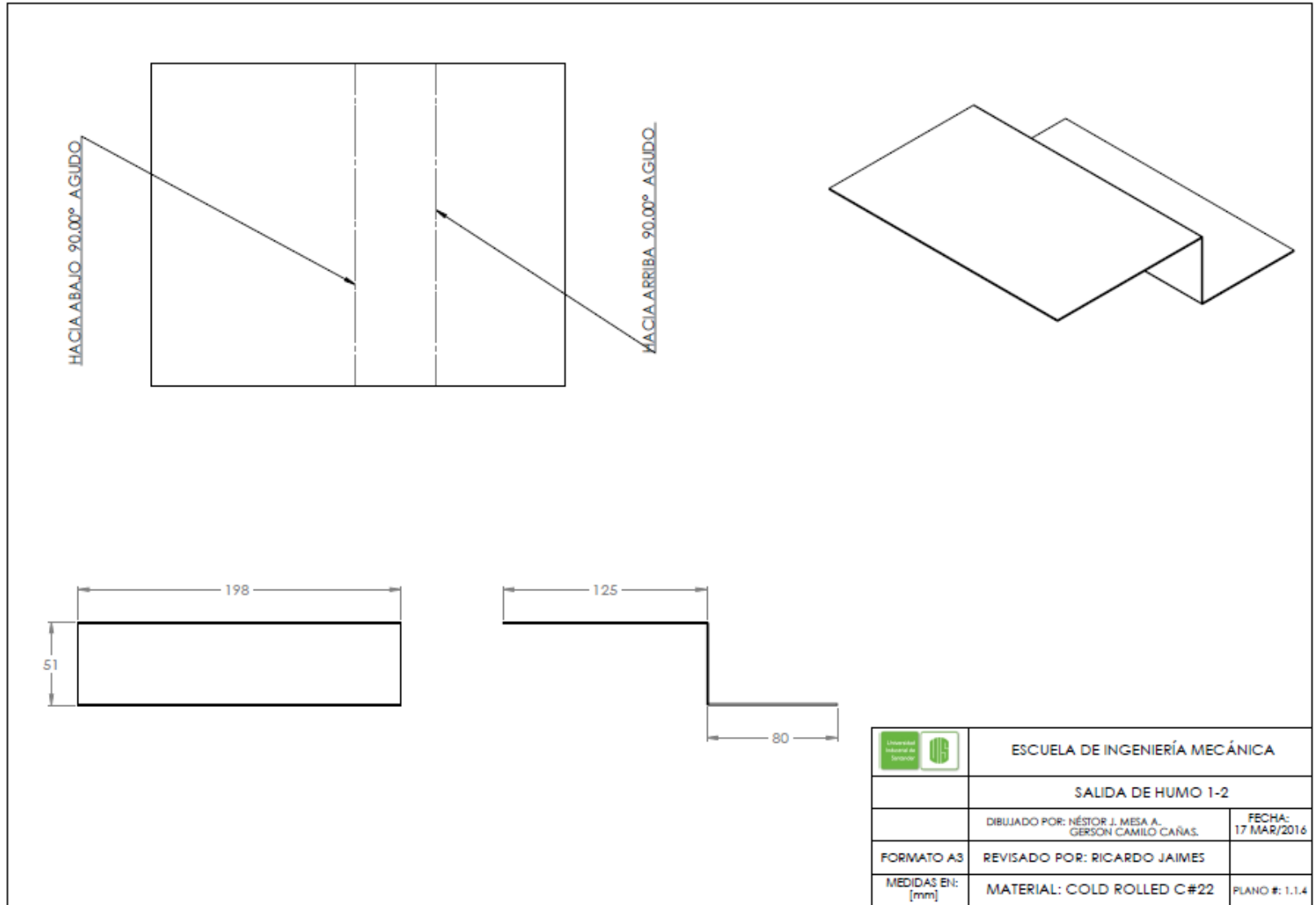


Figura 89. Plano particular carcasa chapa división.

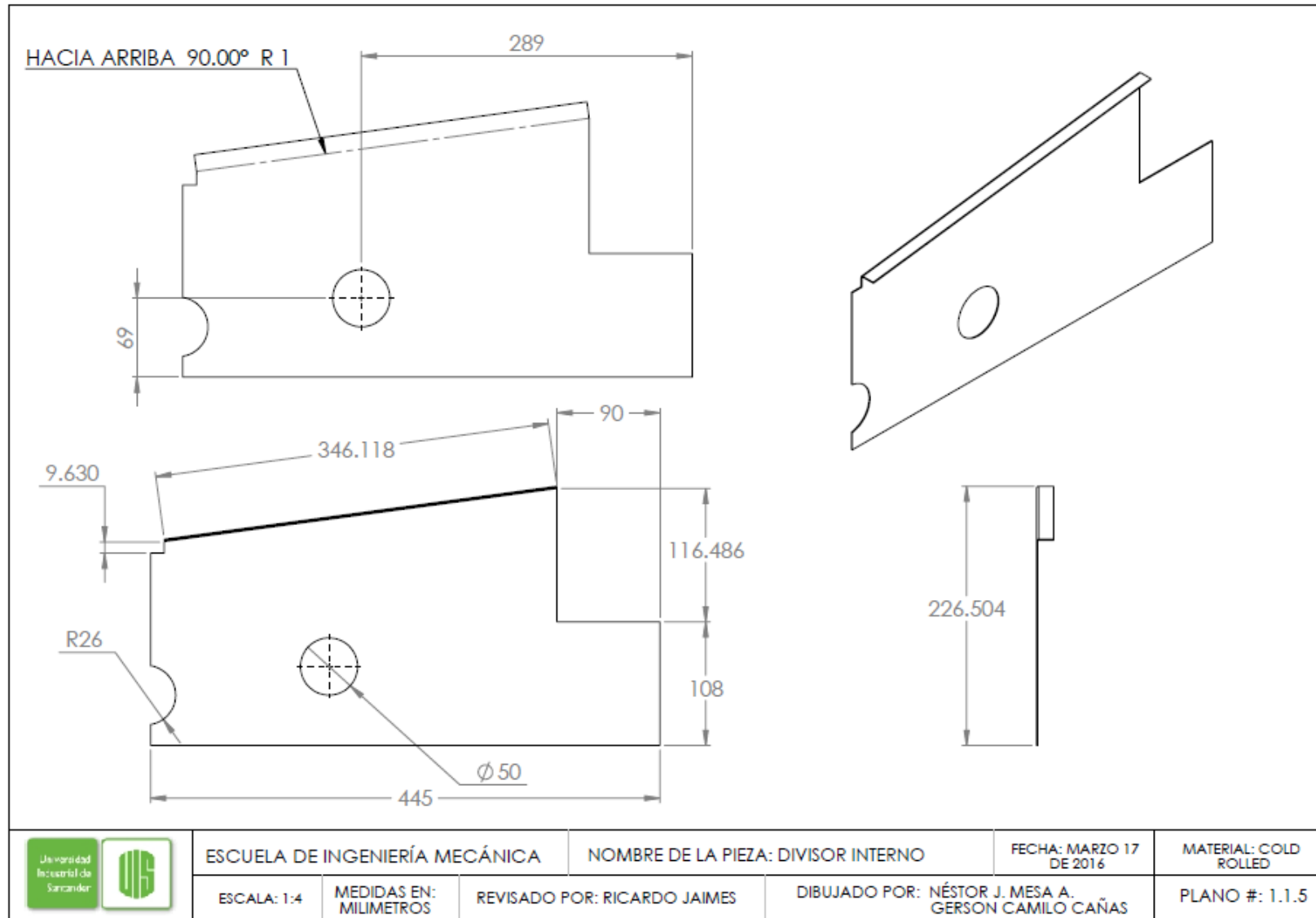


Figura 90. Plano particular carcasa – chapa – soporte.

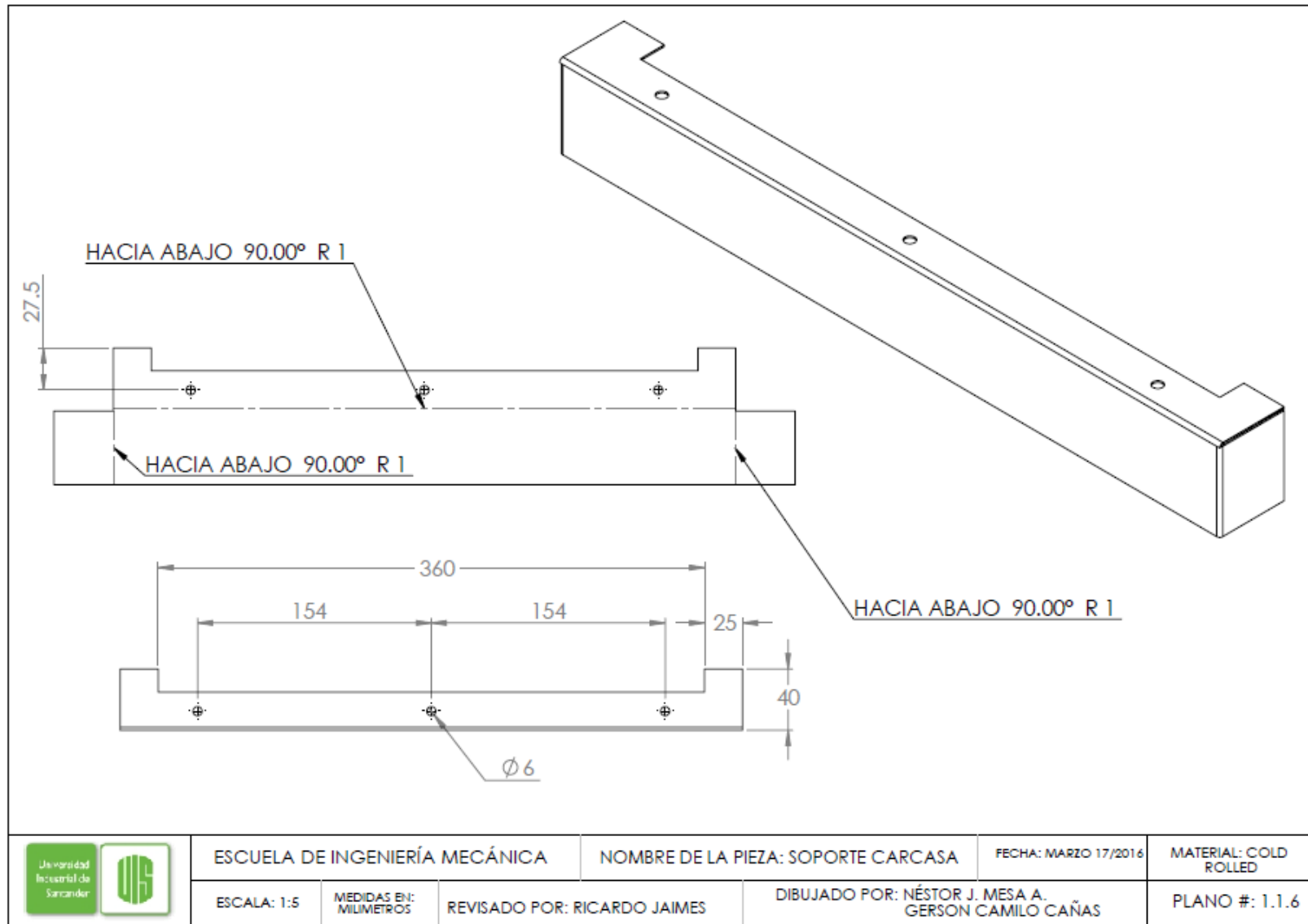


Figura 91. Plano particular soporte carcasa 2.

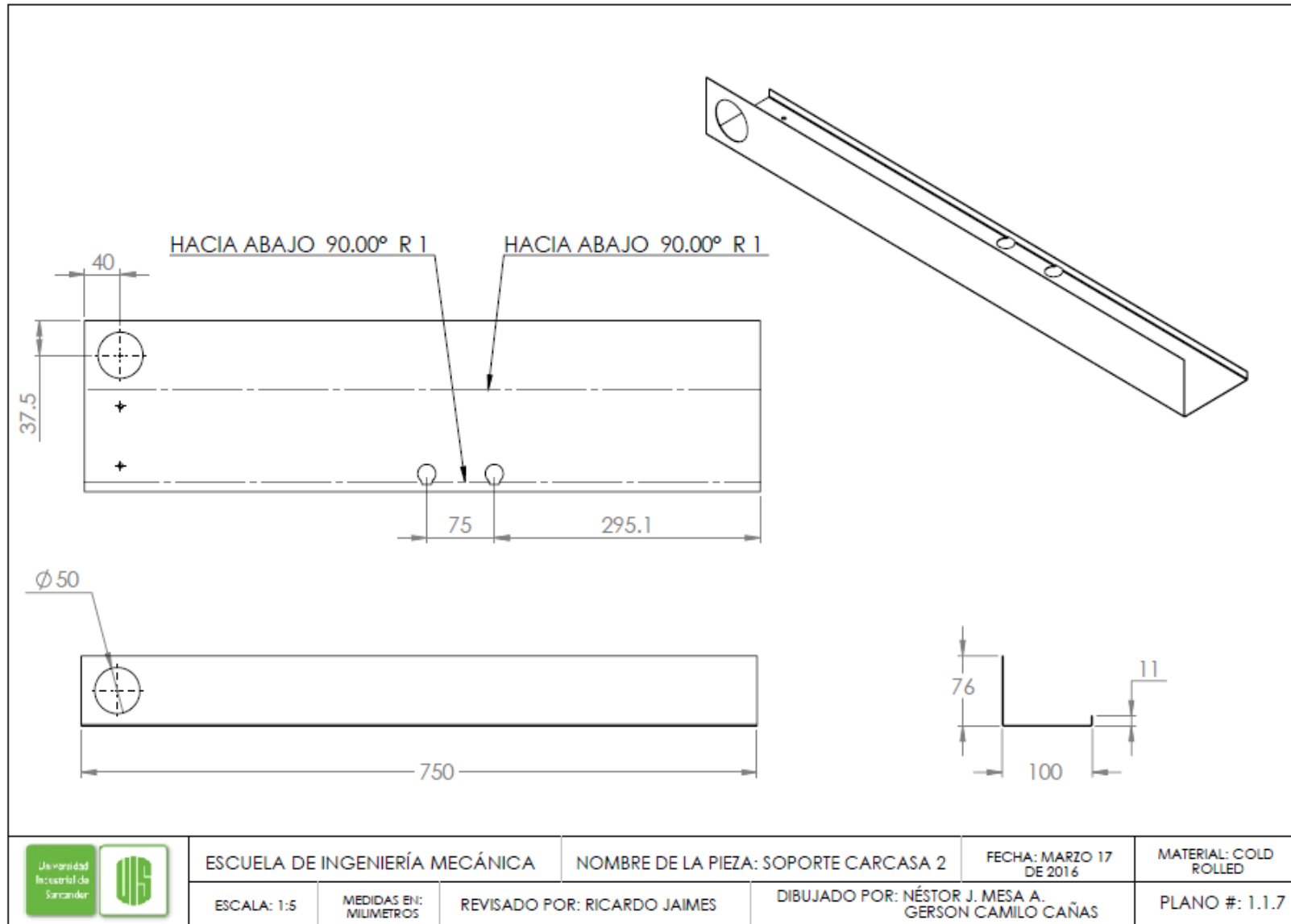


Figura 92. Plano particular tapa 1.

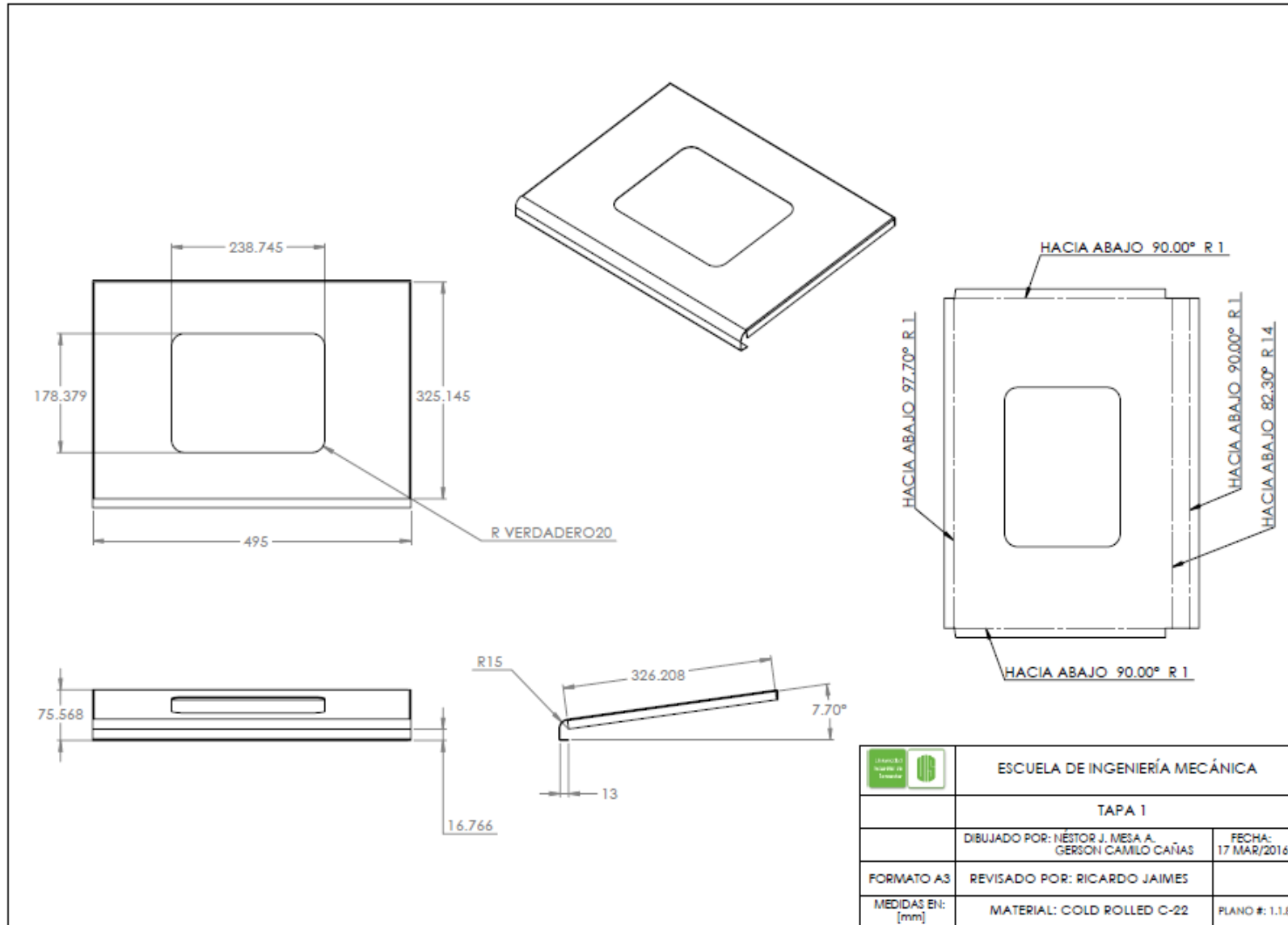


Figura 93. Plano particular tapa 3.

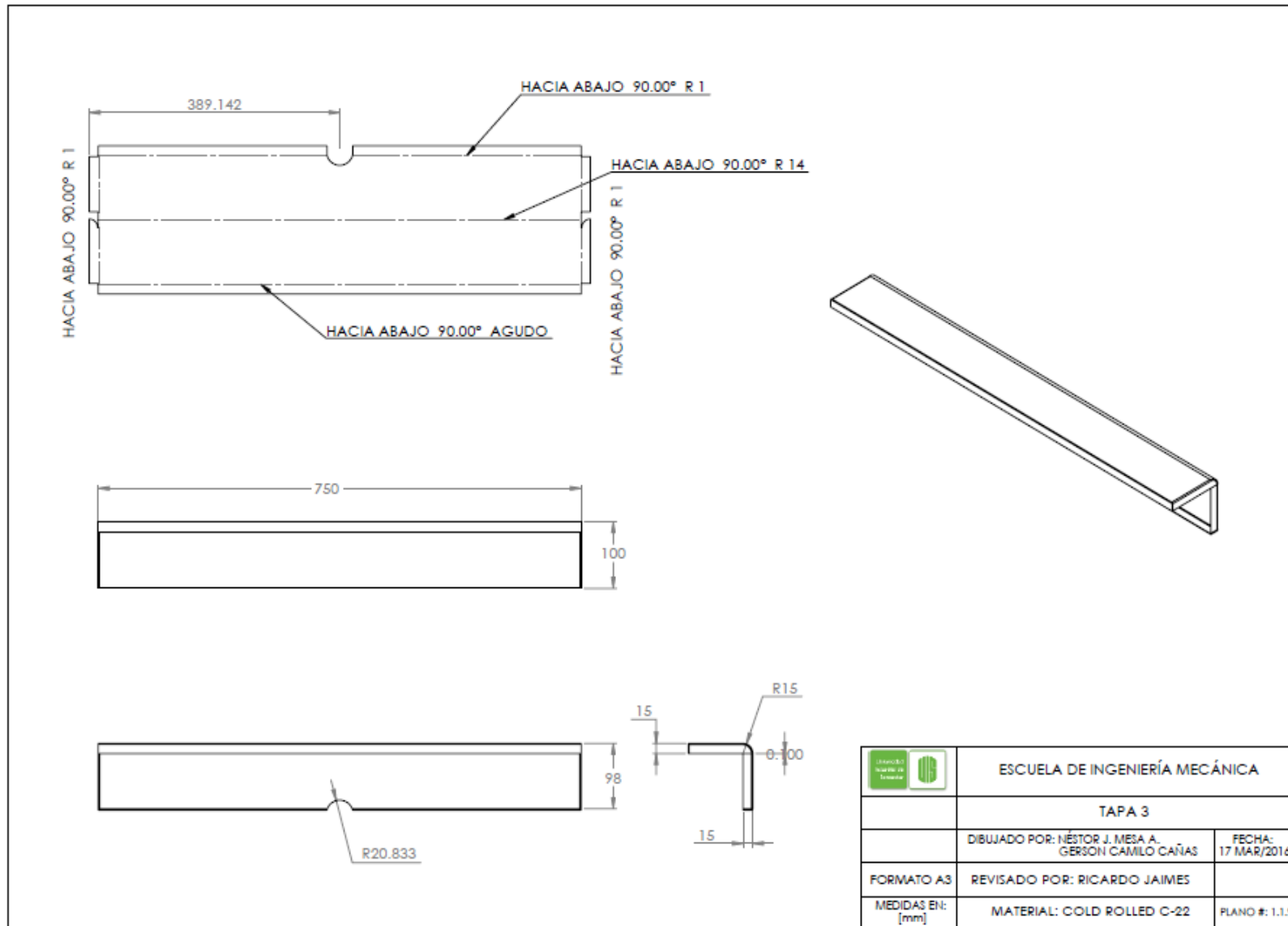
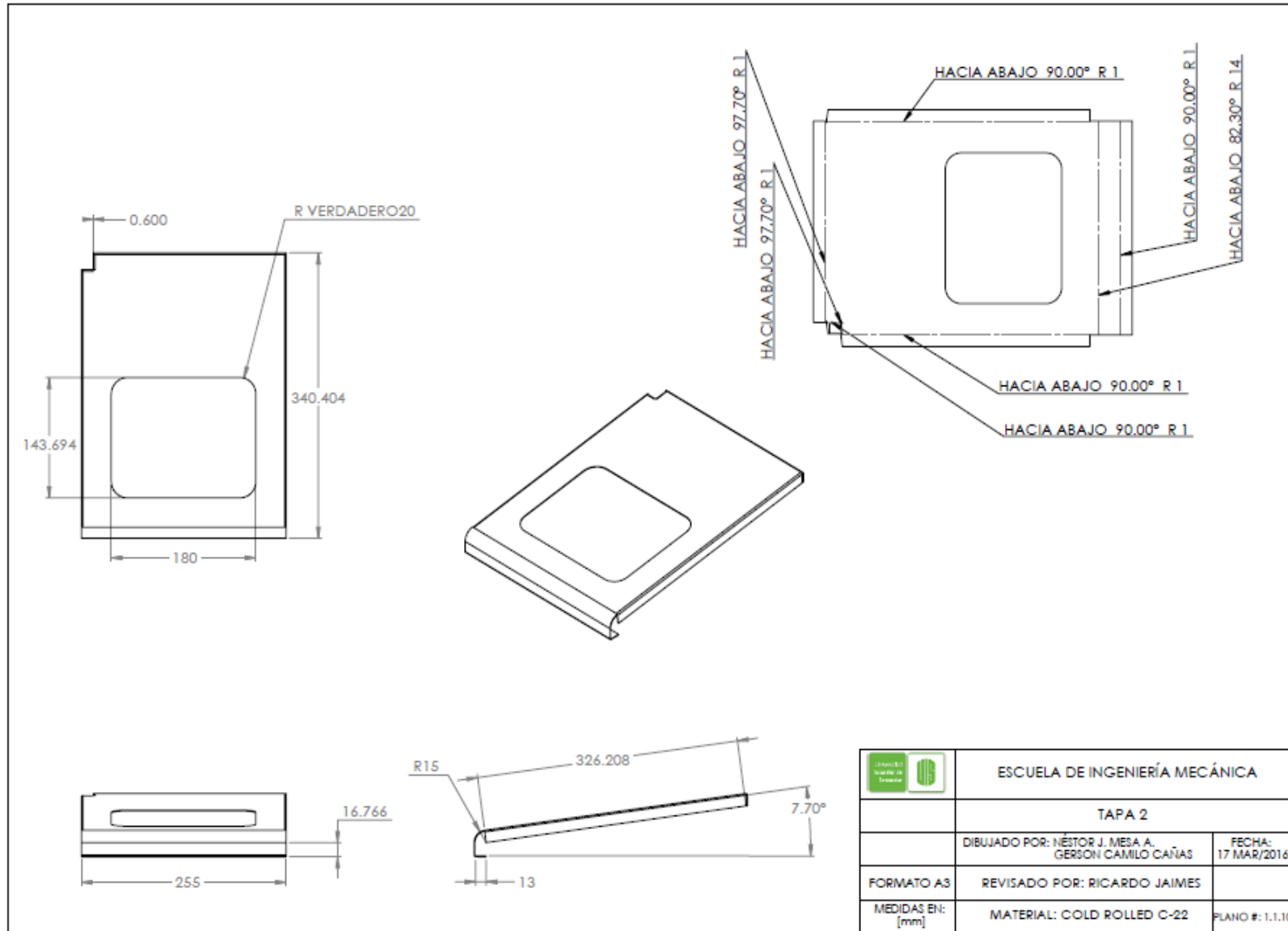


Figura 94. Plano particular tapa 2.




	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
	TAPA 2	
	DIBUJADO POR: NÉSTOR J. MESA A. GERSON CAMILO CAÑAS	FECHA: 17 MAR/2016
FORMATO A3	REVISADO POR: RICARDO JAIMES	
MEDIDAS EN: [mm]	MATERIAL: COLD ROLLED C-22	PLANO #: 1.1.10

Figura 95. Plano particular carcasa inferior.

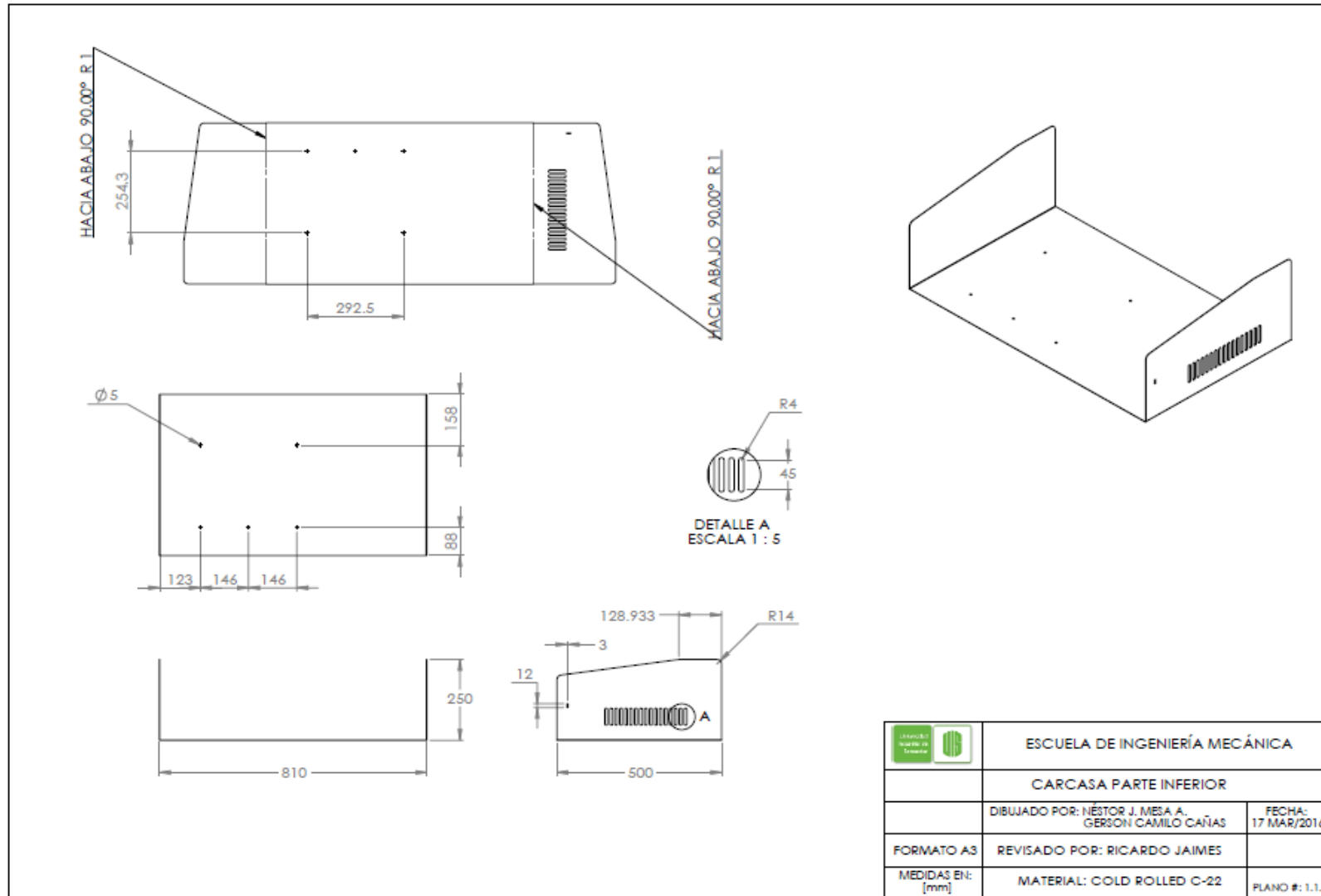


Figura 96. Plano sub ensamble mueble.

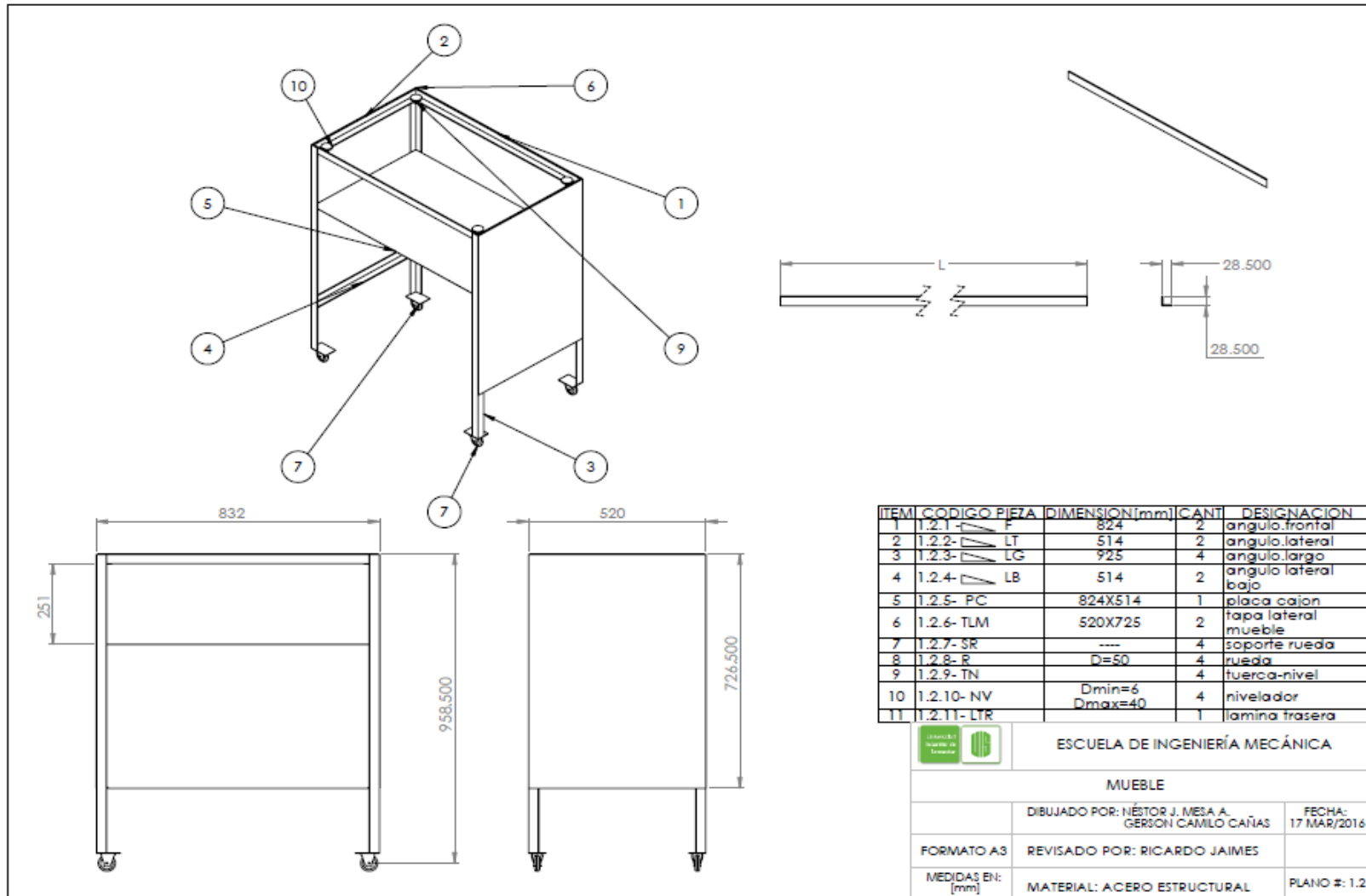


Figura 97. Plano mueble explosión.

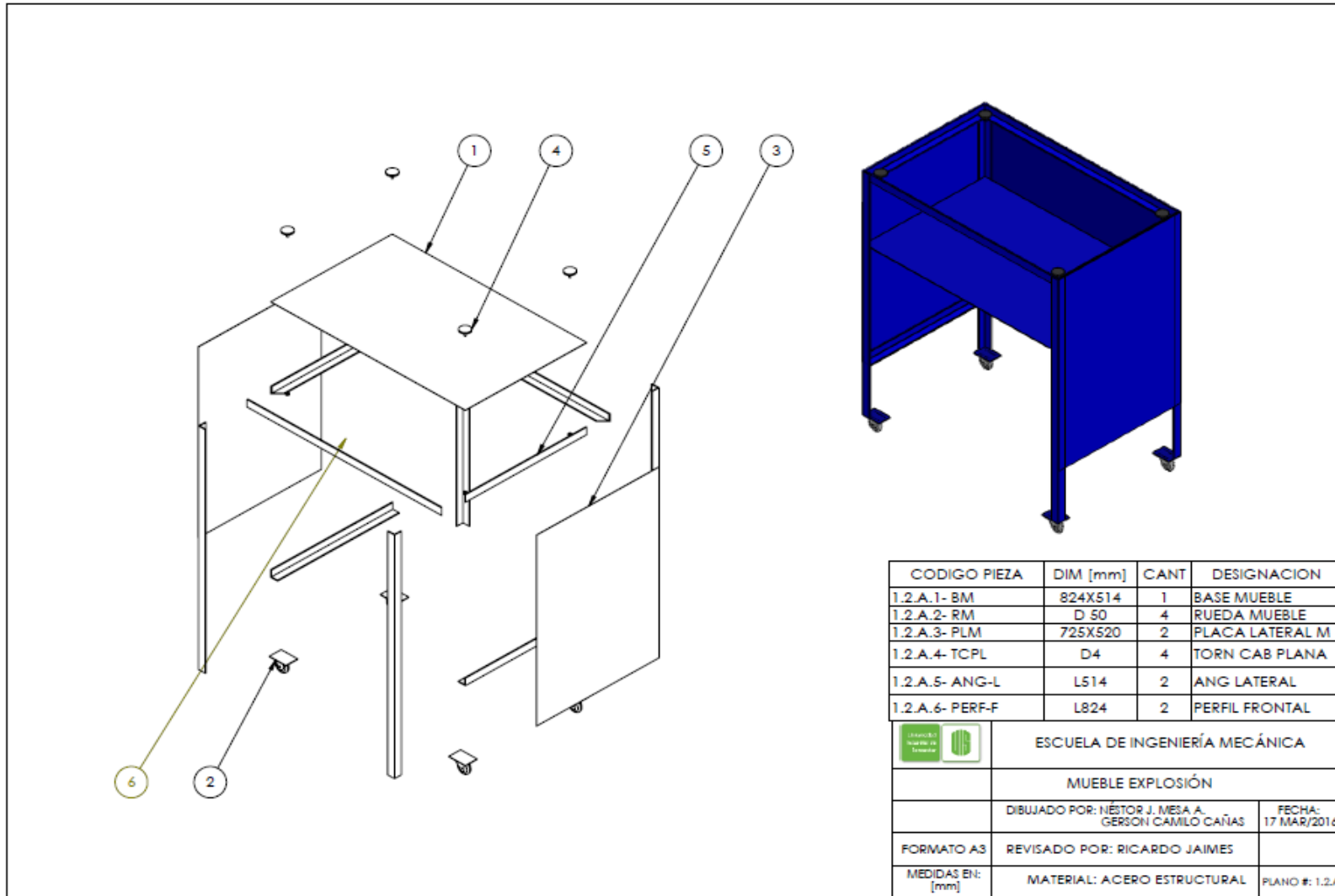


Figura 98. Plano sub ensamble vista isométrica.

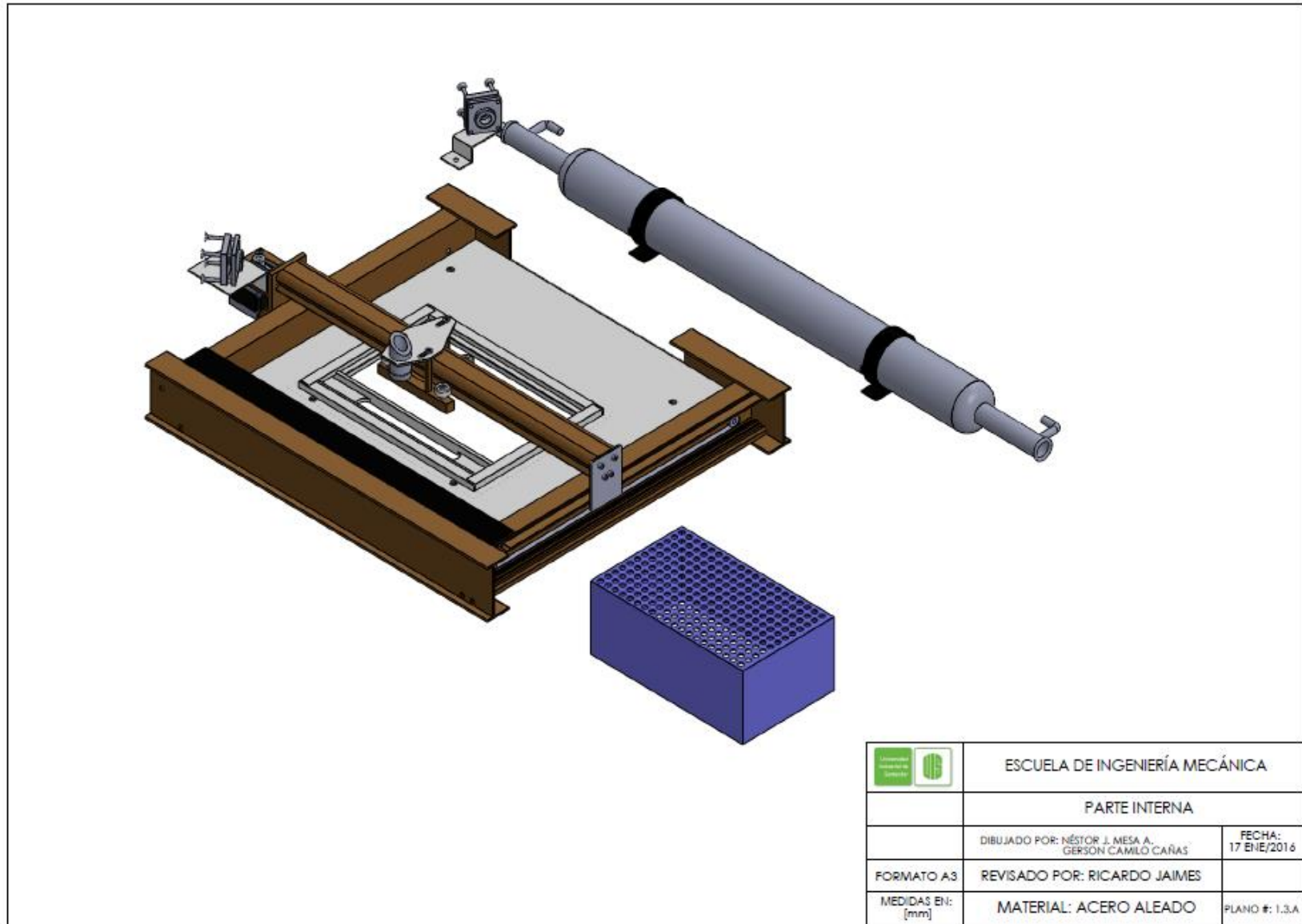


Figura 99. Plano sub ensamble interno.

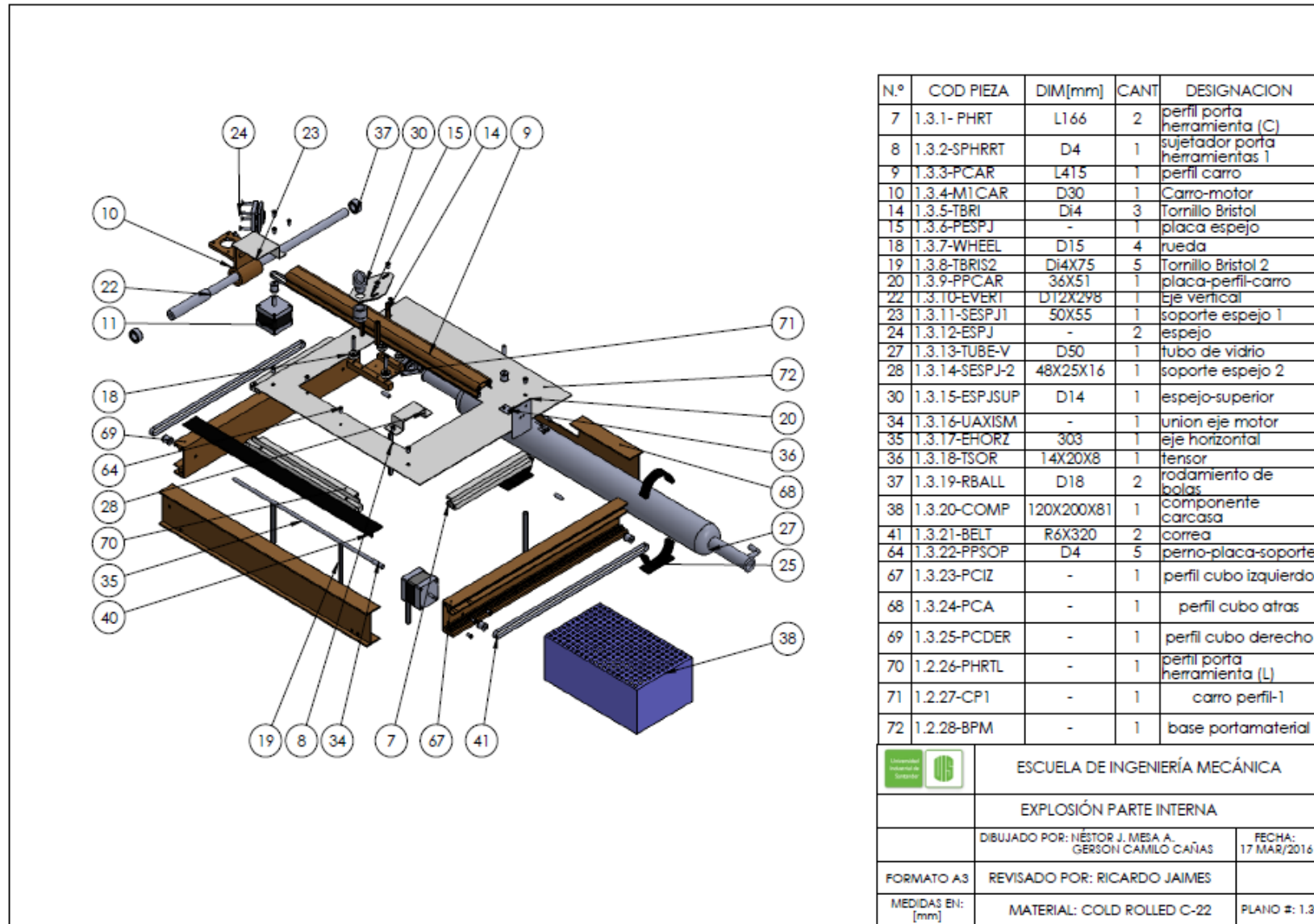


Figura 100. Plano particular perfil porta herramienta.

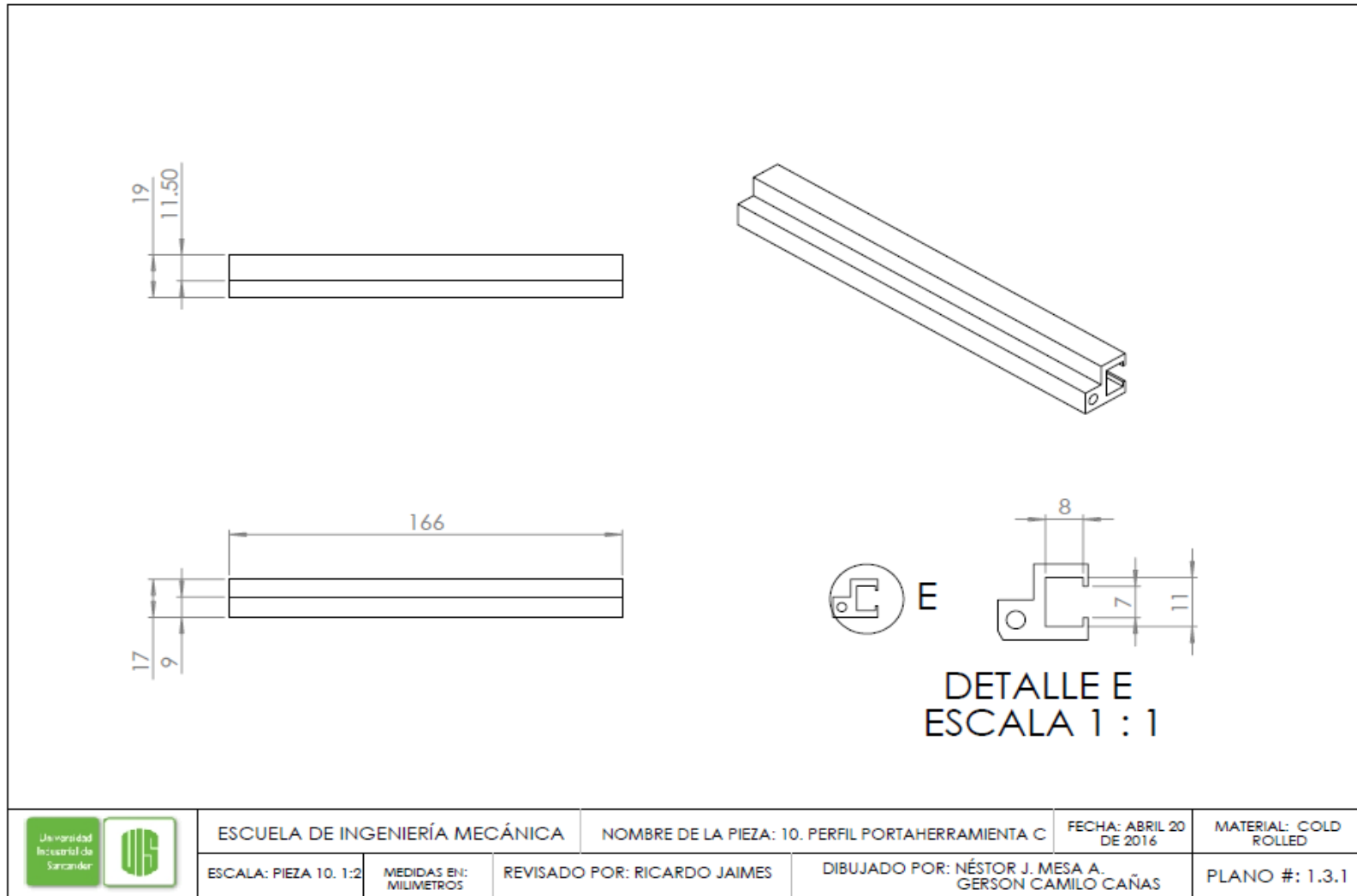


Figura 101. Plano particular sujetador porta herramienta.

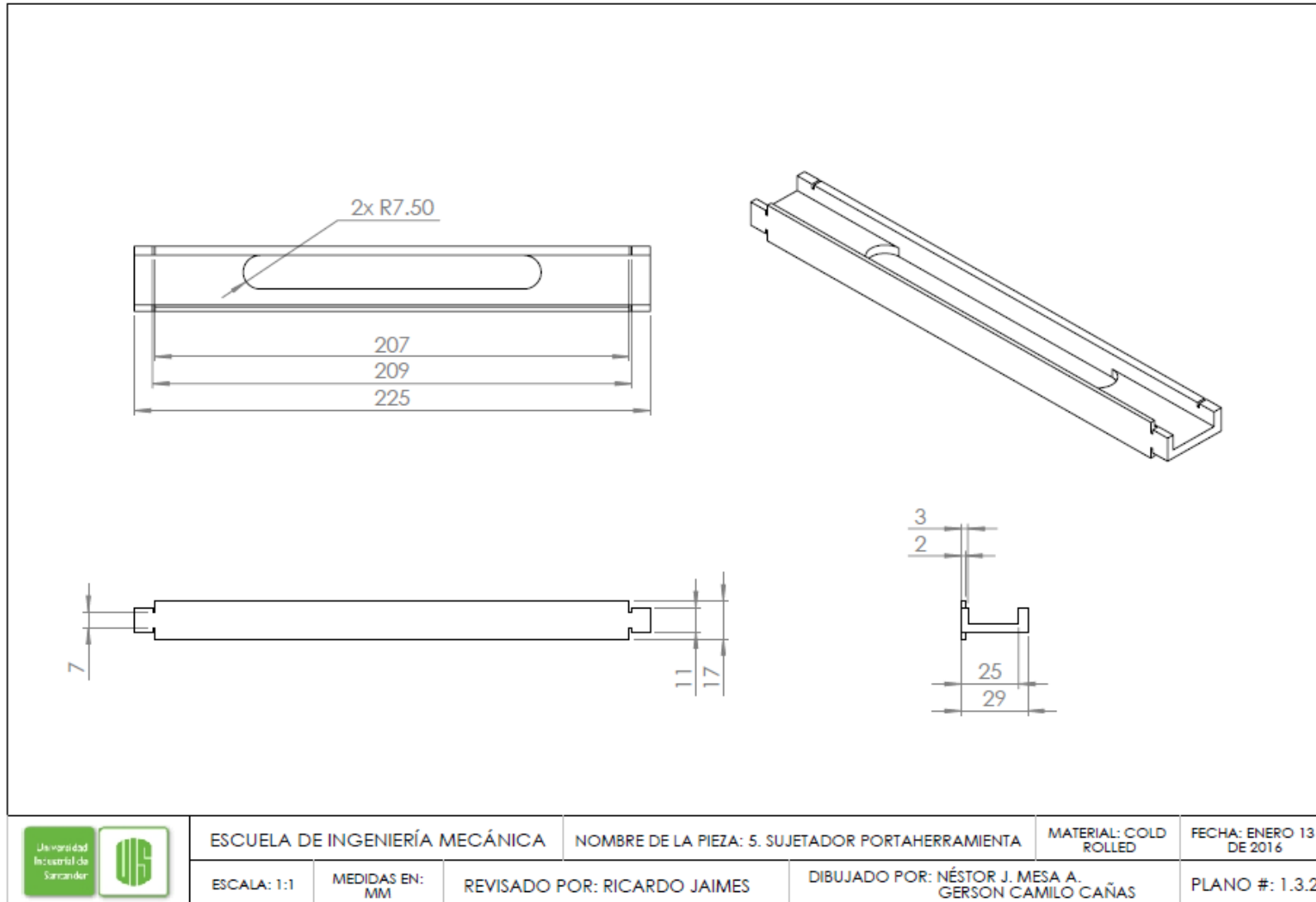


Figura 102. Plano particular perfil del carro.

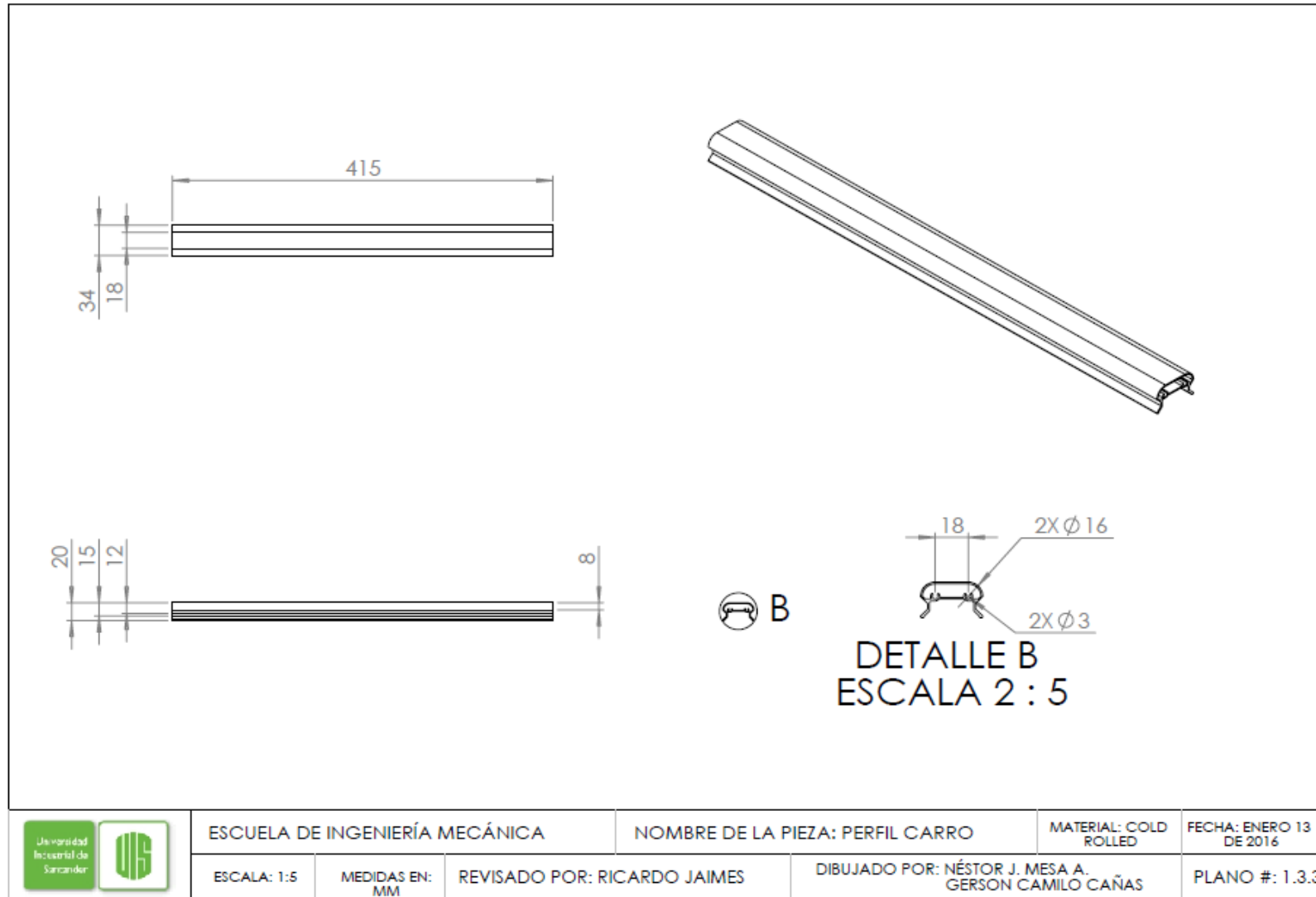


Figura 103. Plano particular carro motor.

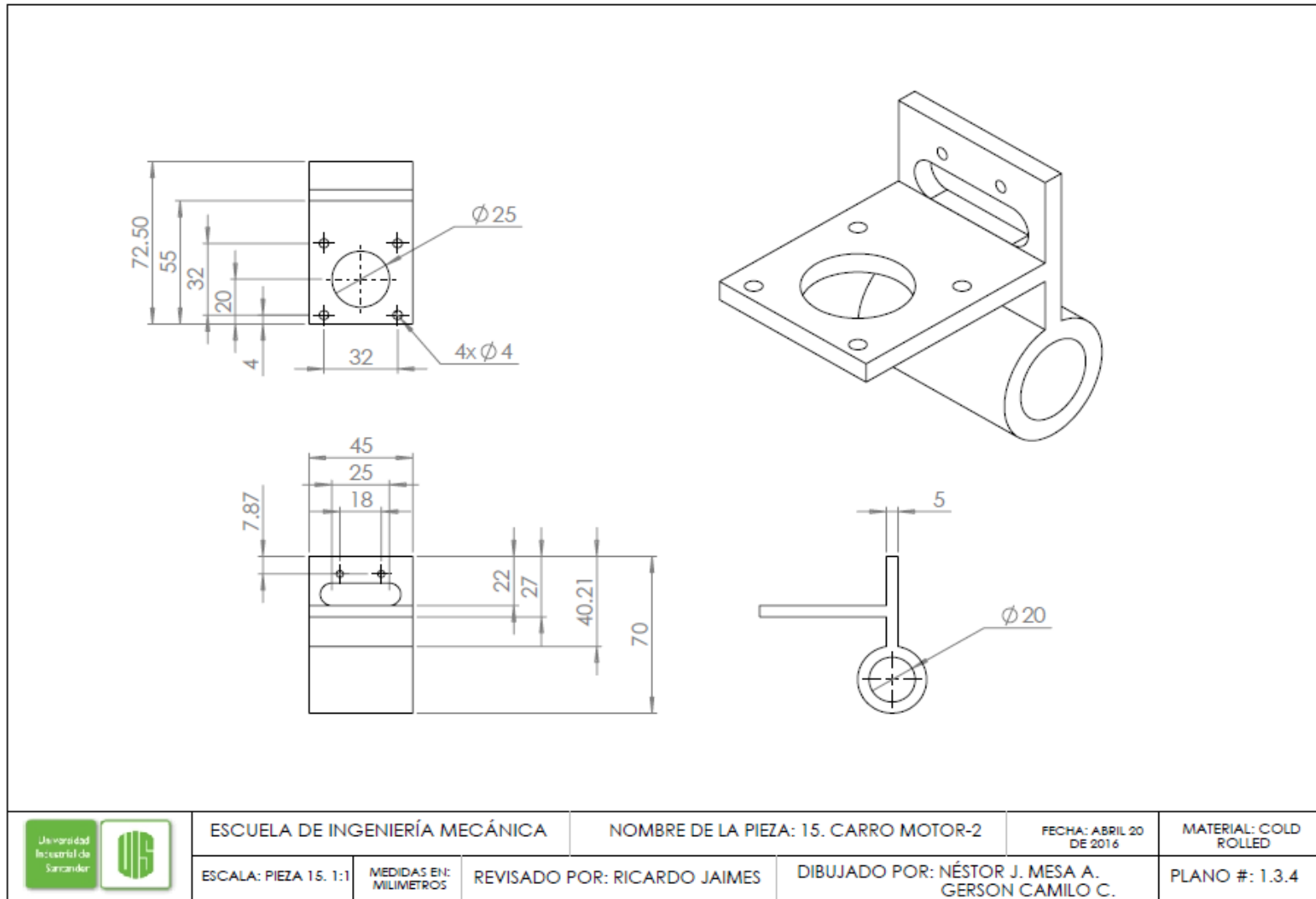


Figura 104. Plano particular soporte espejo.

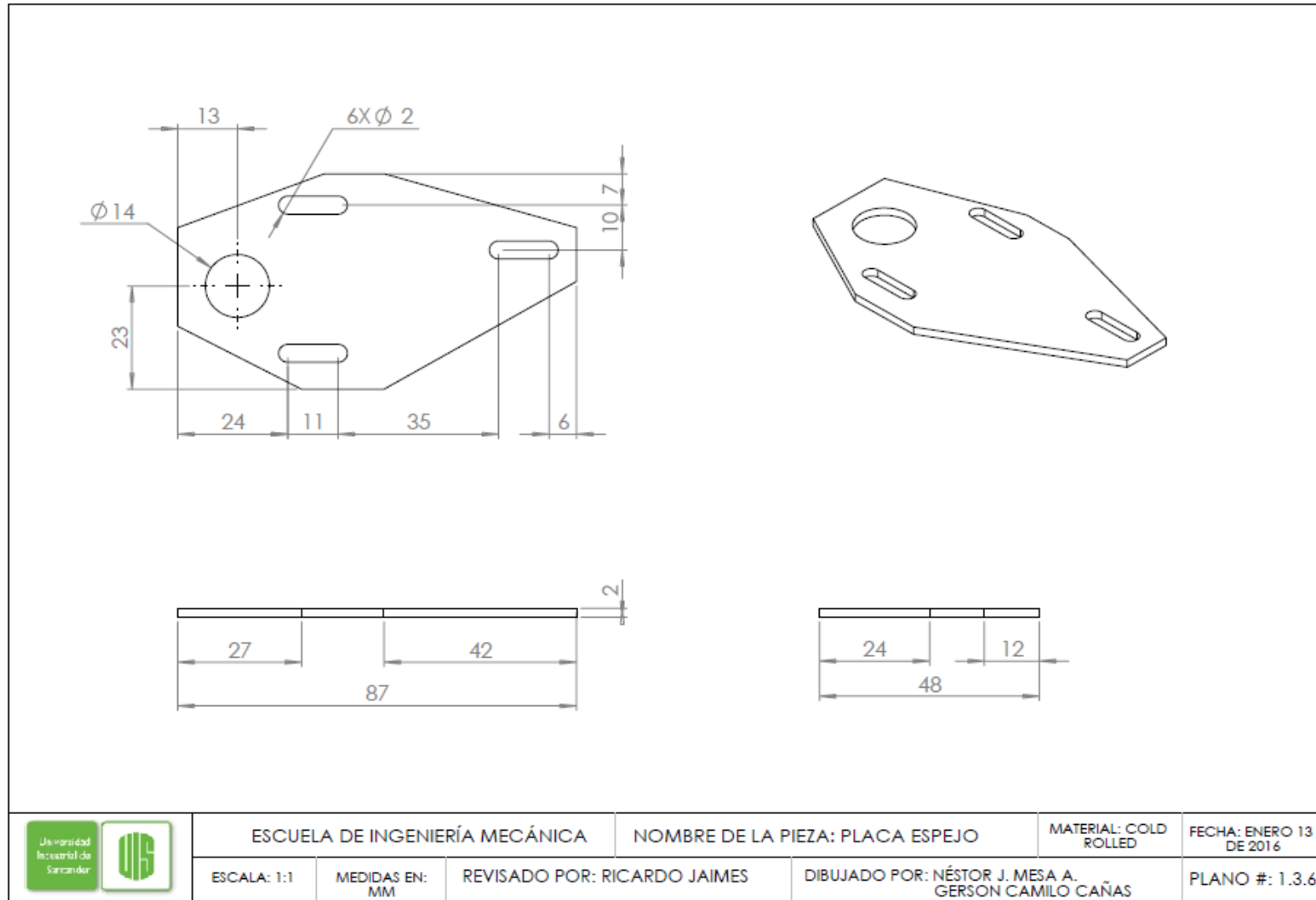


Figura 105. Plano particular placa perfil carro.

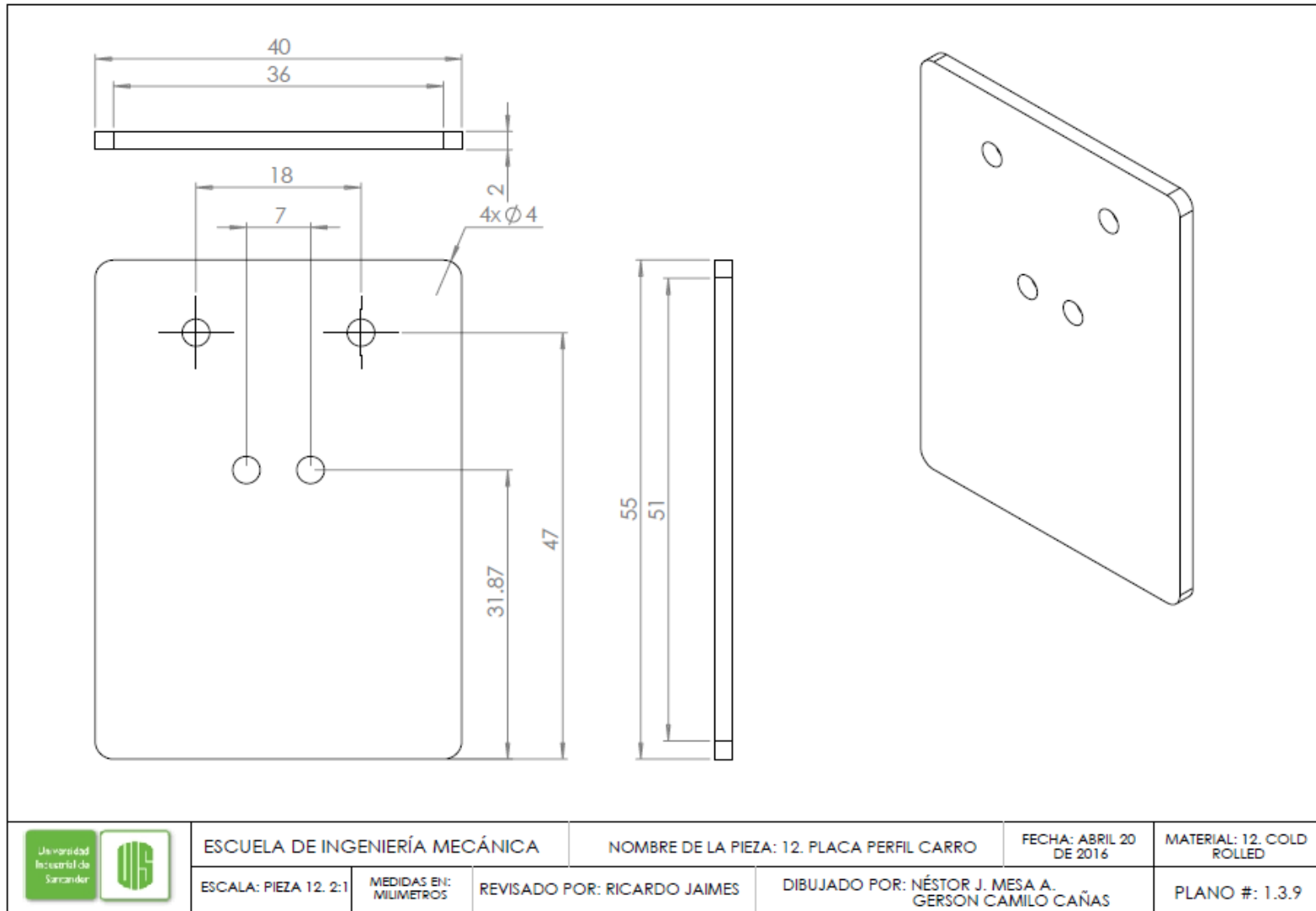


Figura 106. Plano particular eje vertical.

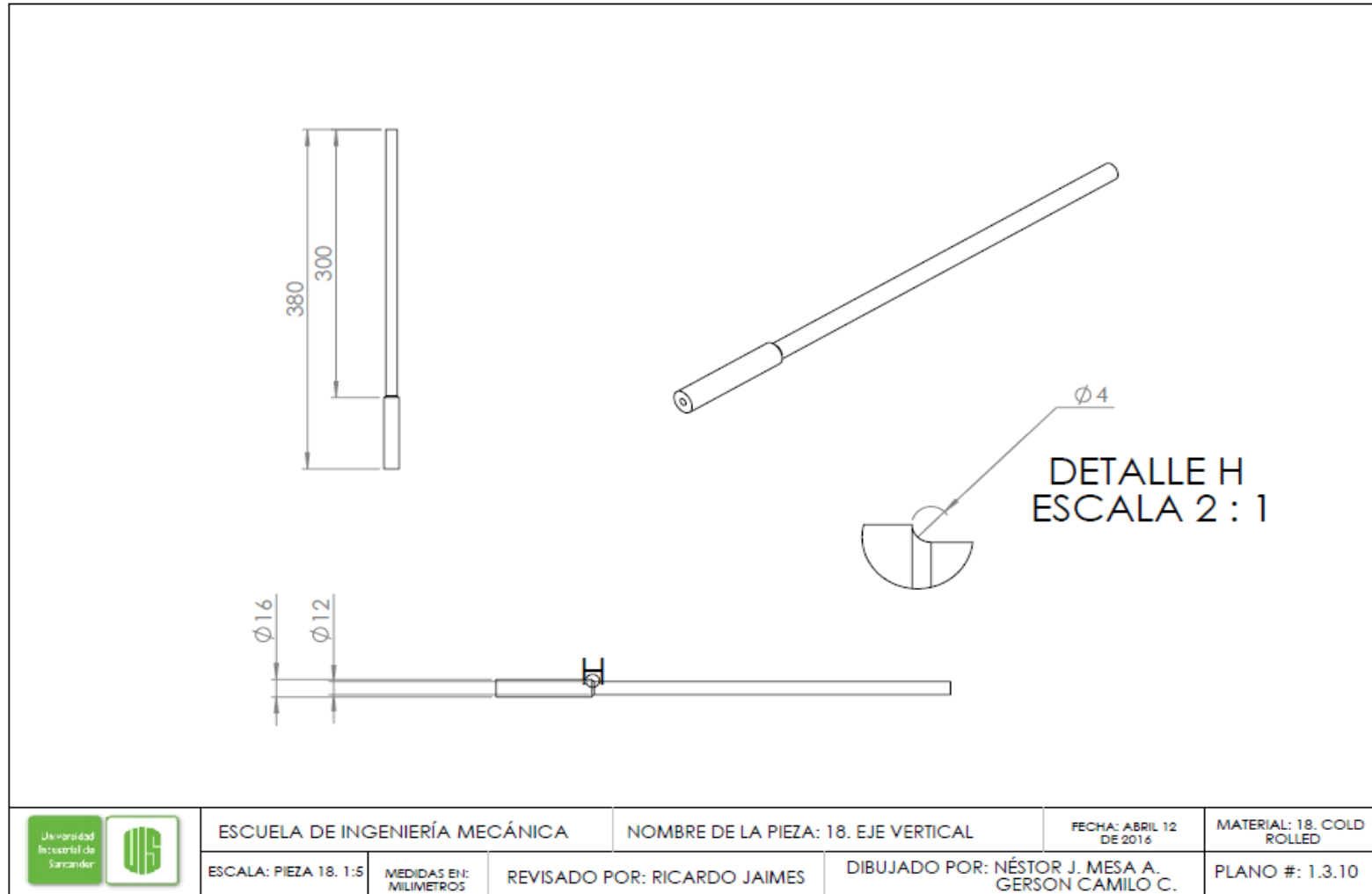


Figura 107. Plano particular soporte espejo 1.

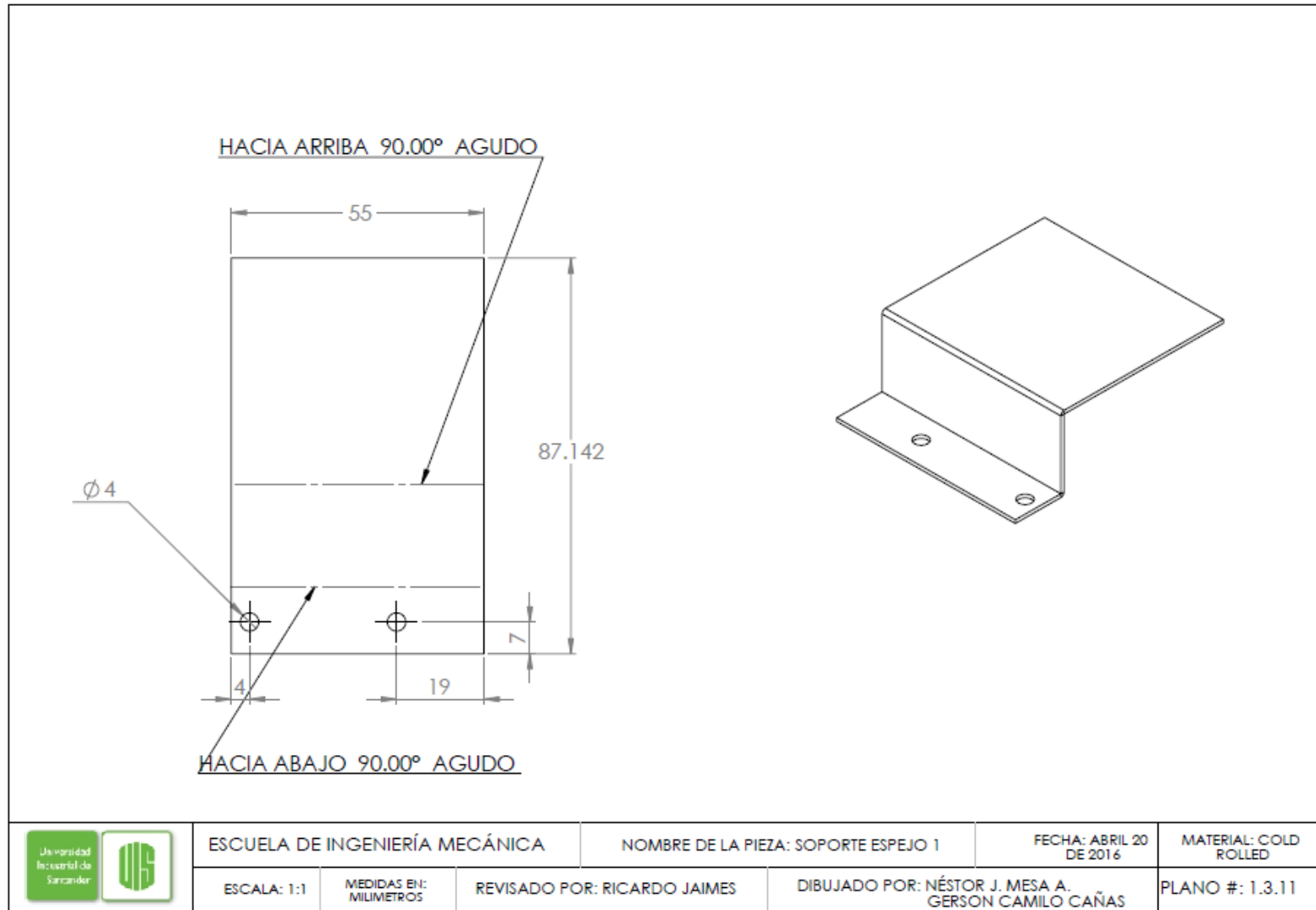


Figura 108. Plano particular soporte espejo 2.

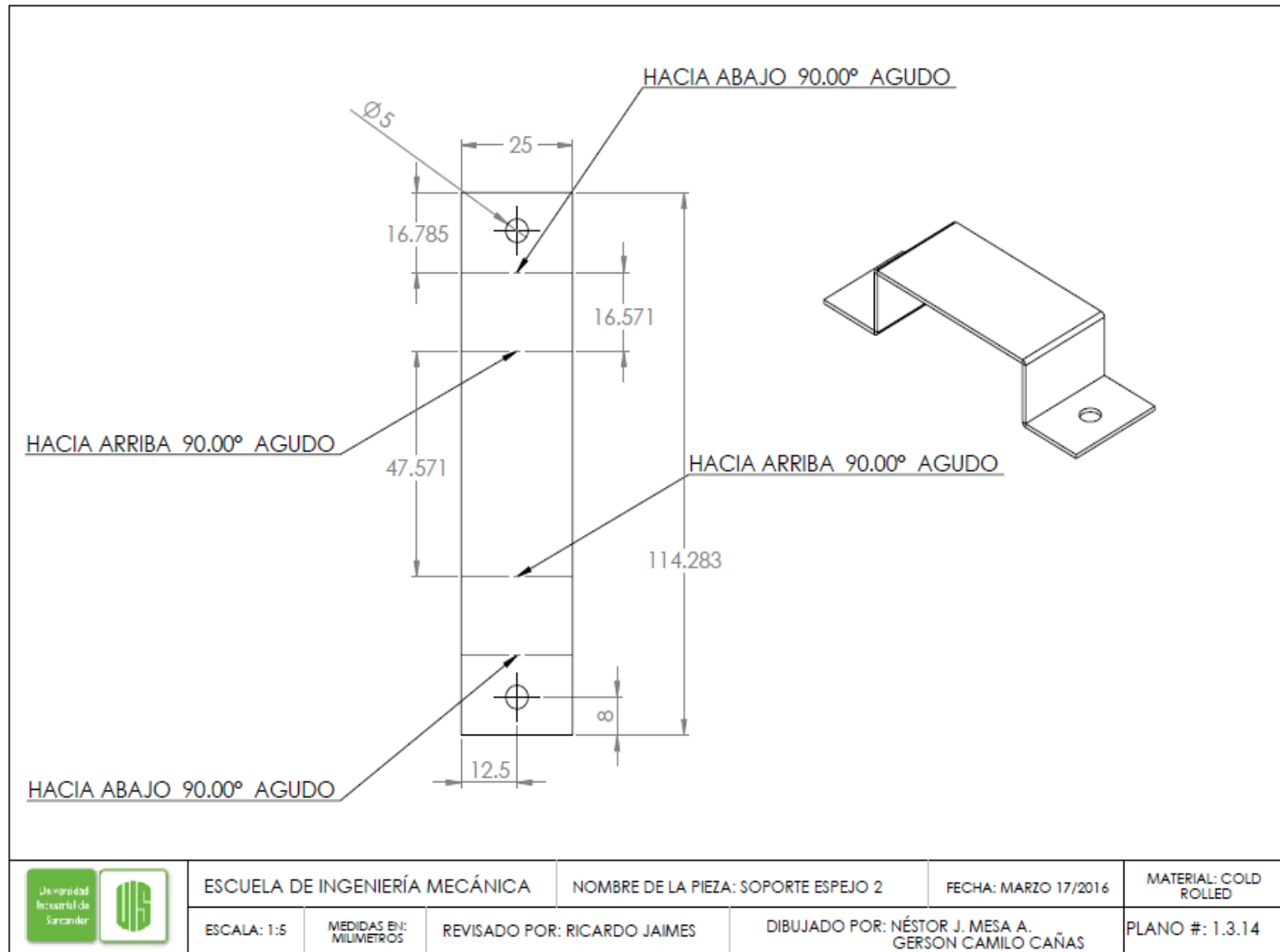


Figura 109. Plano particular unión eje motor.

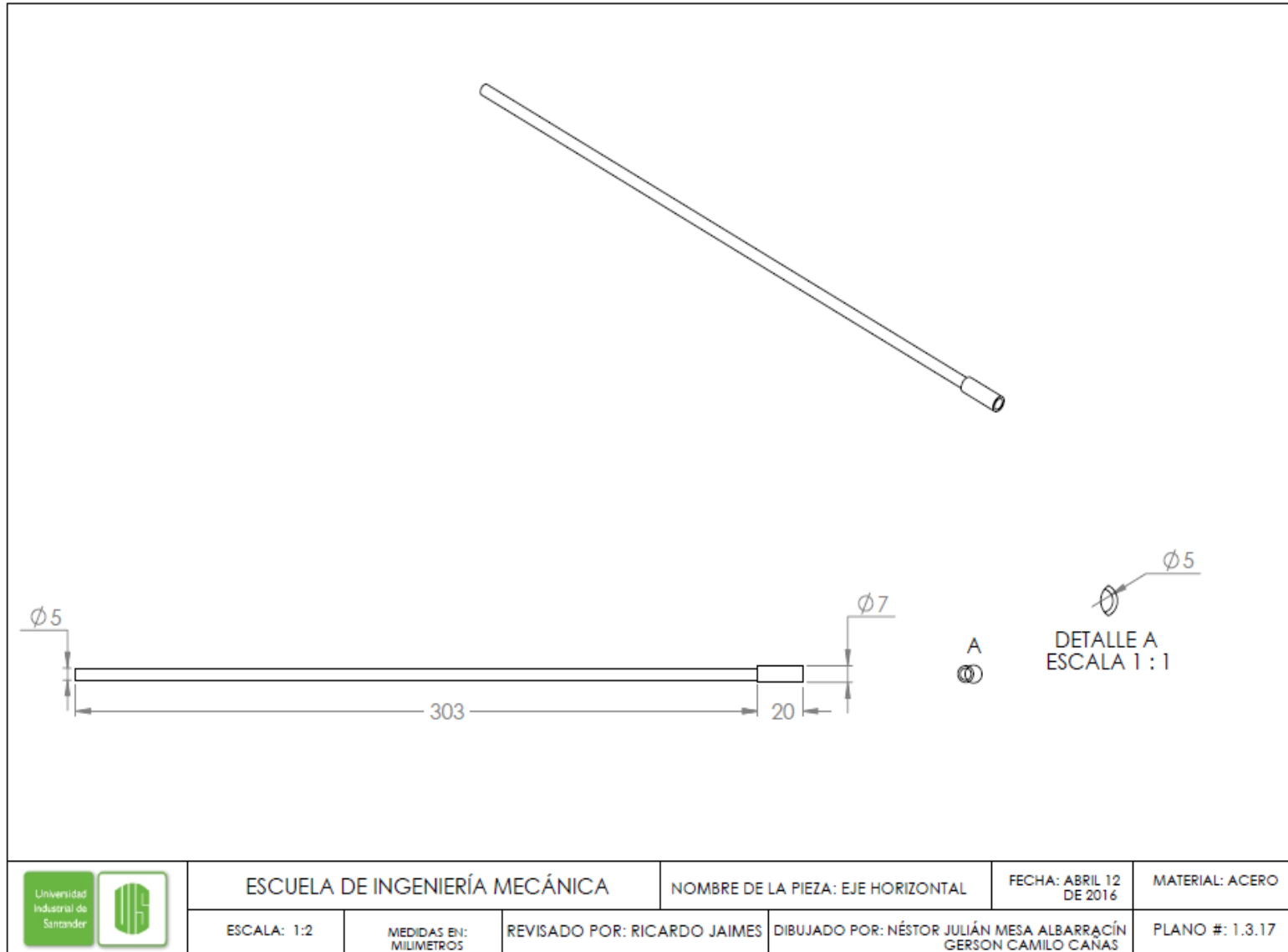


Figura 110. Plano particular perfil cubo izquierdo.

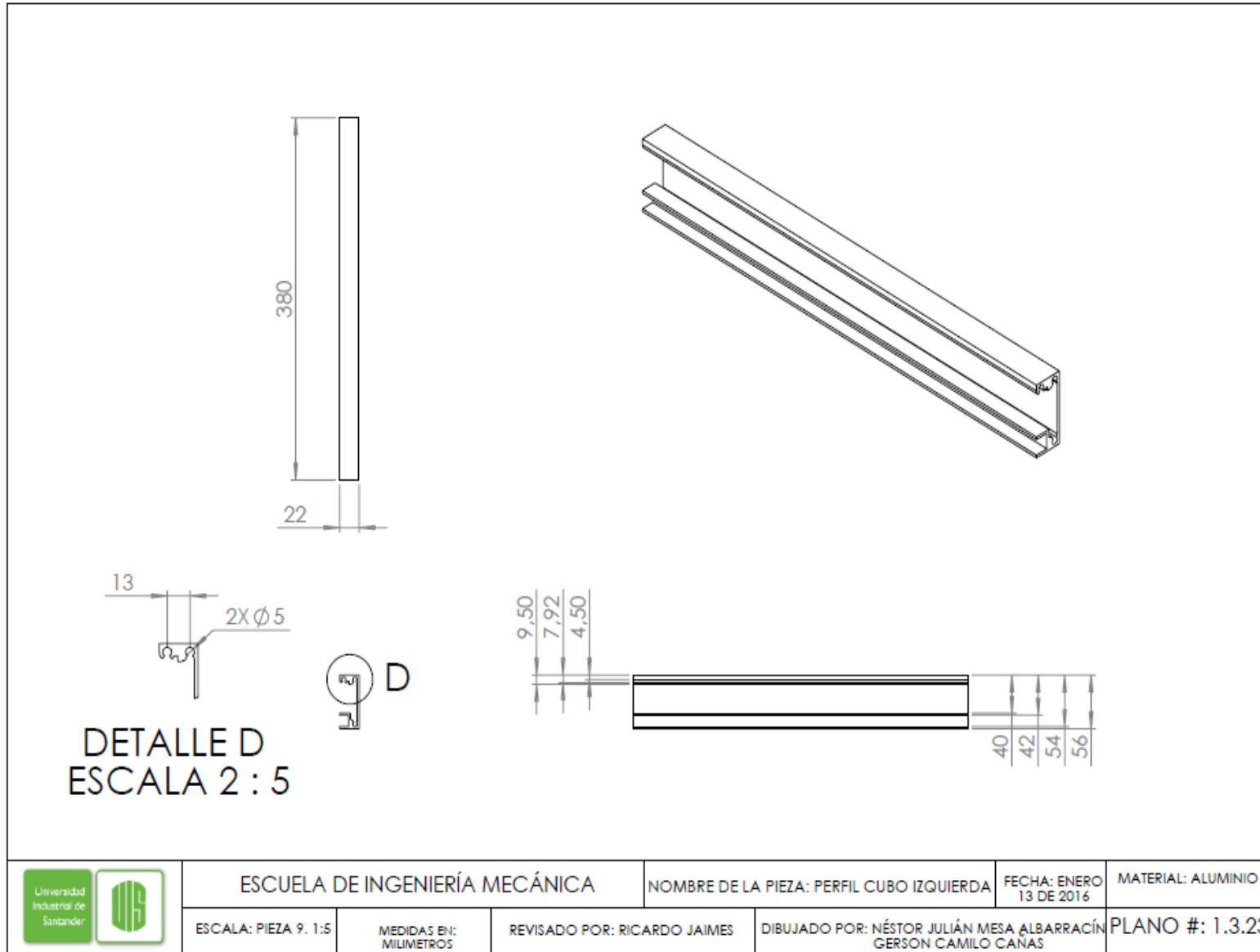


Figura 111. Plano particular perfil cubo atrás.

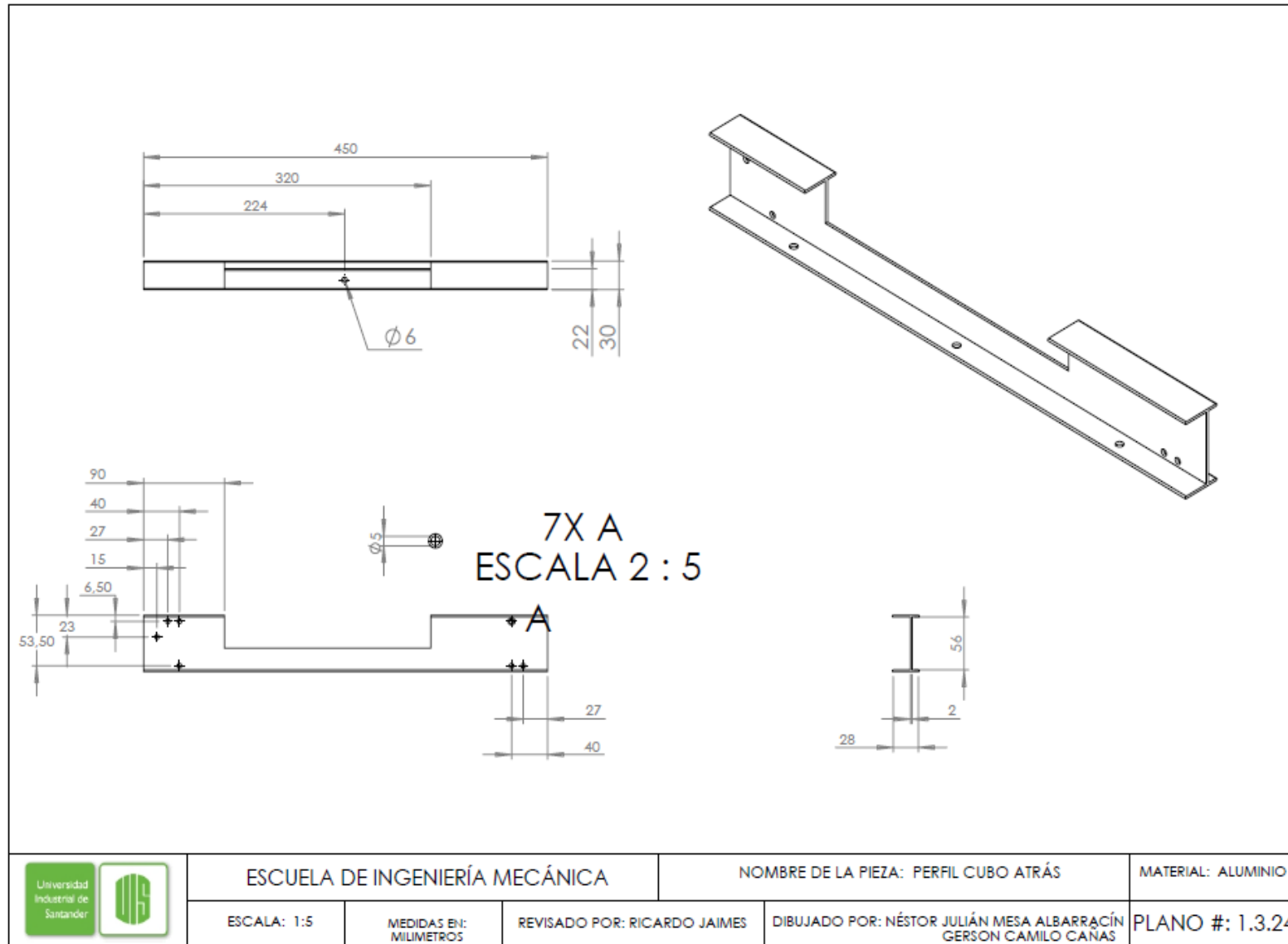


Figura 112. Plano particular perfil cubo derecho.

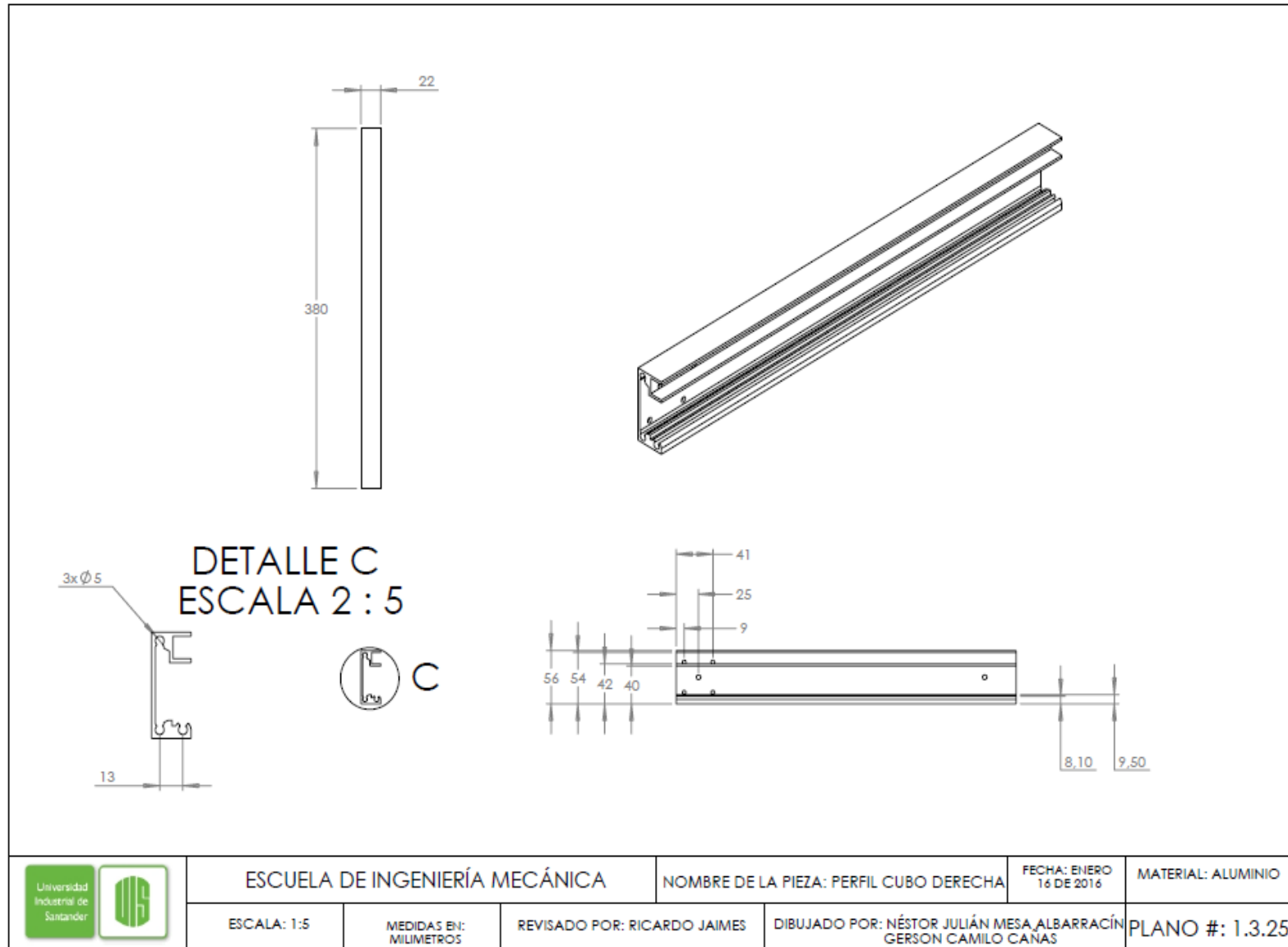


Figura 113. Plano particular perfil porta herramienta (L).

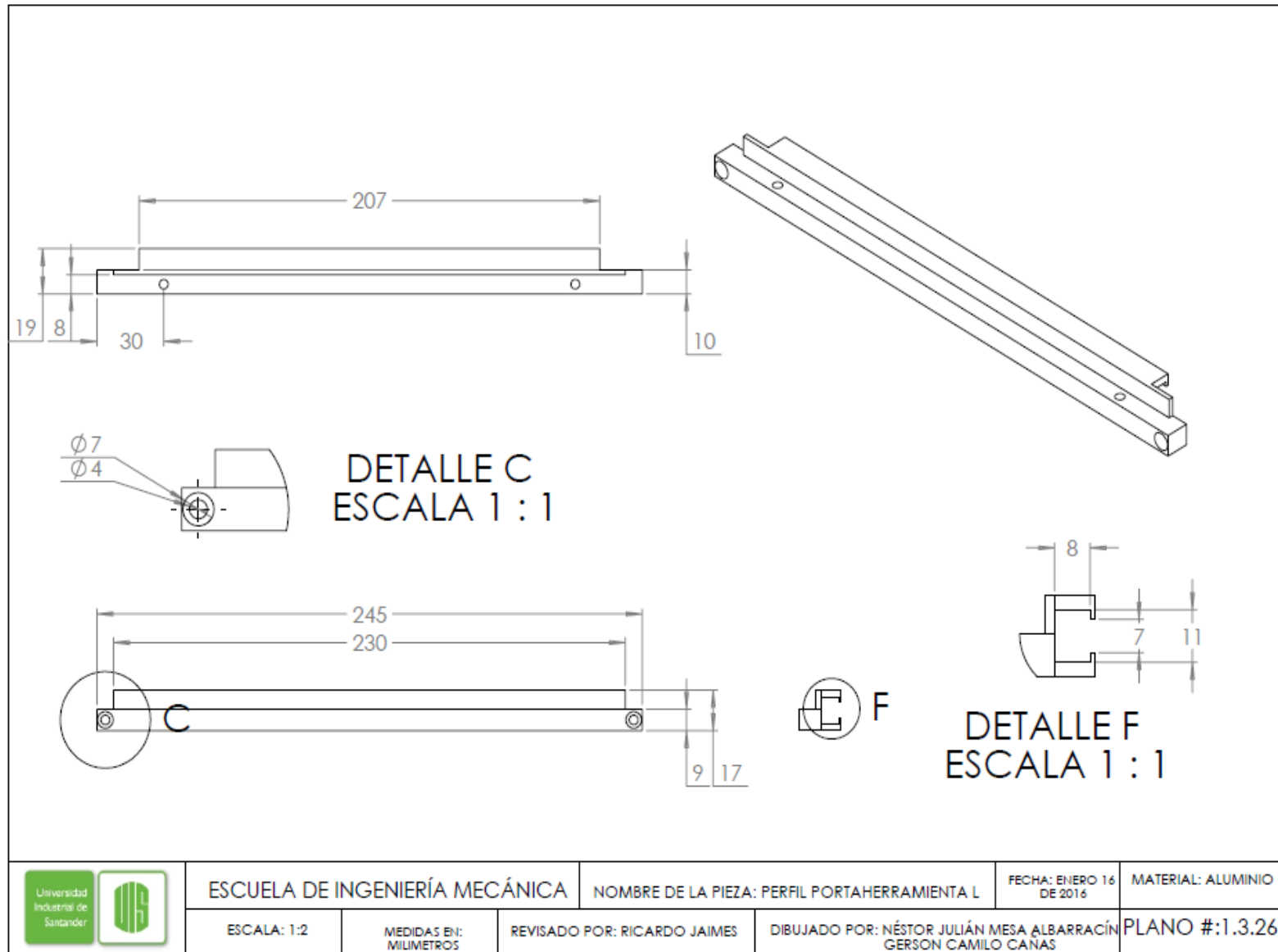


Figura 114. Plano particular carro perfil 1.

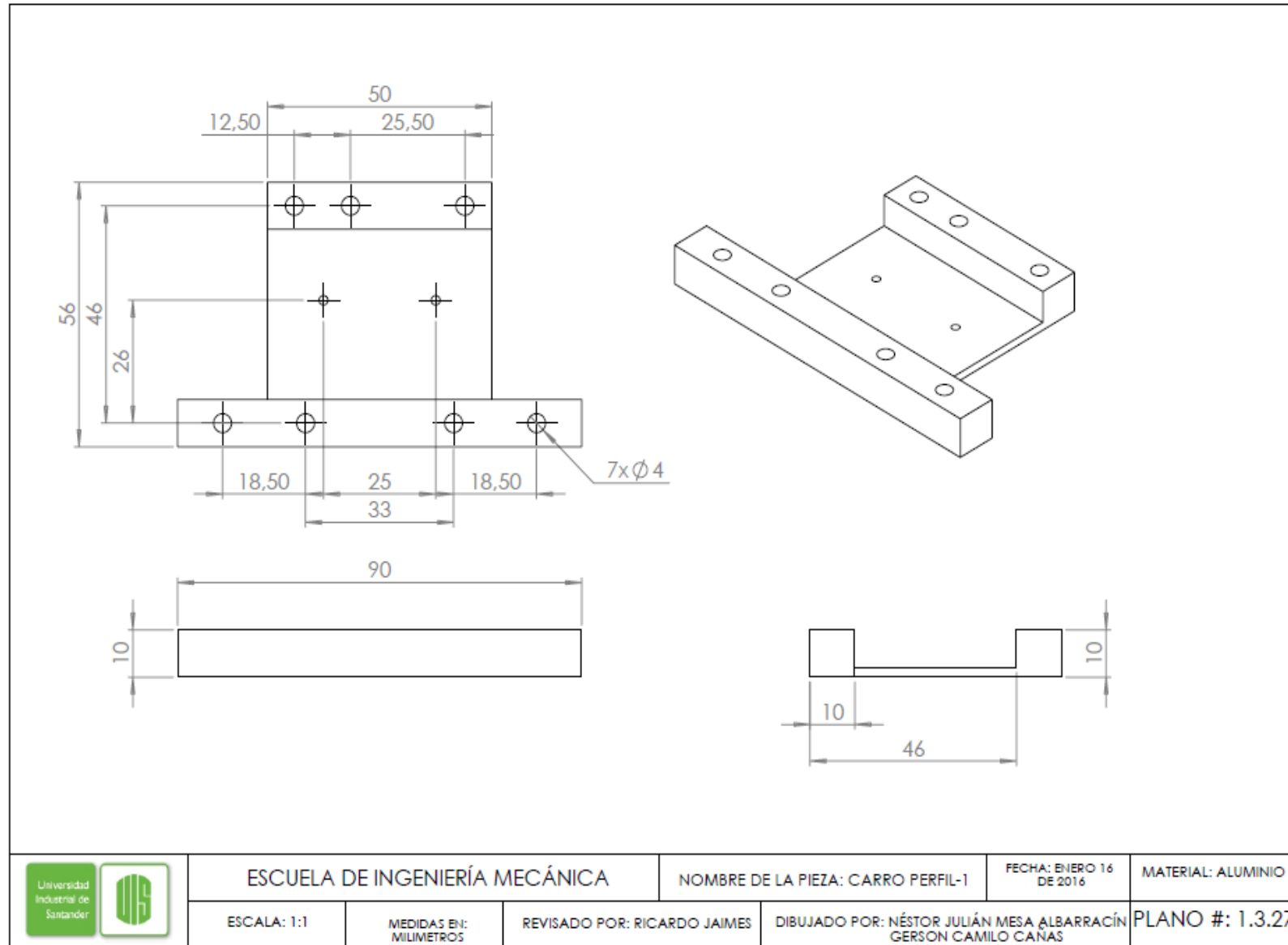
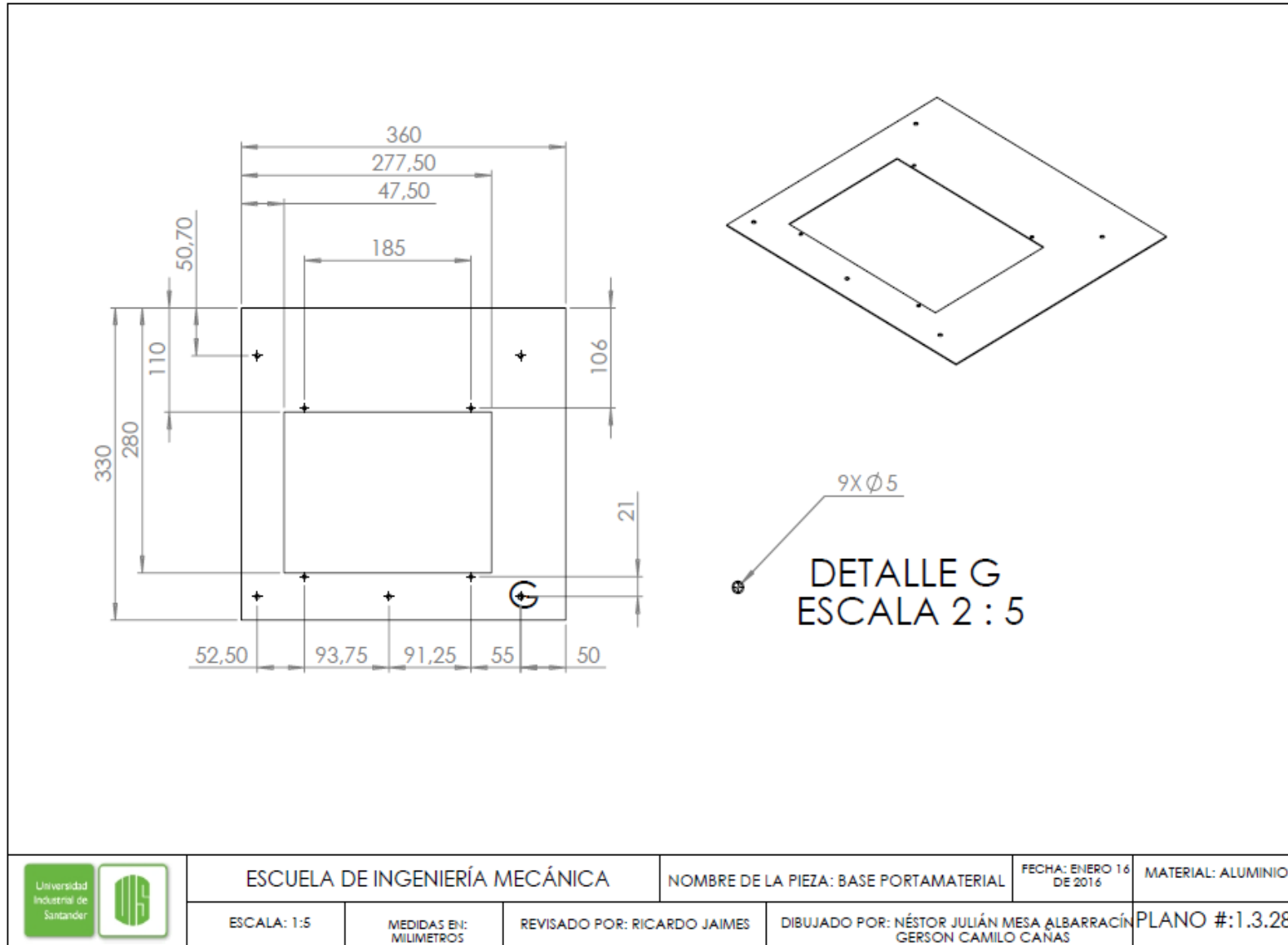


Figura 115. Plano particular base porta material.



## Anexo C. Cálculos de la bomba en software EES.

Figura. Ecuaciones para cálculo de la bomba.

DATOS

$$\dot{V} = 0,000222222 \text{ [m}^3\text{/s]} \quad \text{Caudal recomendado para refrigerar el Láser}$$

$$L_{12} = 1,6 \text{ [m]} \quad \text{Longitud de la Tubería}$$

$$g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]} \quad \text{Gravedad}$$

$$\varepsilon = 0,0000015 \text{ [m]} \quad \text{Rugosidad de la Tubería de Polietileno}$$

$$D_{in} = 0,015 \text{ [m]} \quad \text{Diámetro Interno de la Tubería}$$

$$\Delta Z_{12} = 1,1 \text{ [m]} \quad \text{Altura en referencia al nivel del Suelo}$$

$$A = \pi \cdot \frac{D_{in}^2}{4} \quad \text{Área de la Tubería}$$

PROPIEDADES DEL AGUA A 20°C

$$\nu = 0,00000102 \text{ [m}^2\text{/s]} \quad \text{Viscosidad Cinemática}$$

NÚMERO DE REYNOLDS

$$Re = 4 \cdot \frac{\dot{V}}{\pi \cdot D_{in} \cdot \nu}$$

CONSERVACIÓN DE ENERGIA DE LA BOMBA AL LÁSER

$$H_{bmax} - P_{\text{TOTALES}} = \Delta Z_{12} + \frac{\dot{V}^2}{\frac{2 \cdot g}{A^2}}$$

ECUACIÓN DE DARCY - WEISHBACH

$$P_{\text{TOTALES}} = P_{\text{fricción}} + P_{\text{menores}} \quad \text{Pérdidas Totales}$$

$$P_{\text{fricción}} = 8 \cdot f \cdot L_{12} \cdot \frac{\frac{\dot{V}^2}{\pi^2}}{D_{in}^5 \cdot g} \quad \text{Pérdidas por Fricción}$$

$$P_{\text{menores}} = K_{\text{acc12}} \cdot 8 \cdot \frac{\frac{\dot{V}^2}{\pi^2}}{D_{in}^4 \cdot g} \quad \text{Pérdidas Menores}$$

PÉRDIDAS DE ENTRADA Y SALIDA DE TUBERIA DEL CATÁLOGO CRANI

$$K_{\text{acc12}} = 0,5 + 1$$

ECUACIÓN DE COLEBROOK PARA FLUJO TURBULENTO

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0,86 \cdot \ln \left[ \frac{\varepsilon}{D_{in} \cdot 3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right]$$

Figura. Resultados en el software EES.

Unit Settings: [kJ]/[C]/[kPa]/[kg]/[degrees]

$A = 0,0001767 \text{ [m}^2\text{]}$

$\Delta Z_{12} = 1,1 \text{ [m]}$

$D_{in} = 0,015 \text{ [m]}$

$\varepsilon = 0,0000015 \text{ [m]}$

$f = 0,02707$

$g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$

$H_{bmax} = 1,534 \text{ [m]}$

$K_{acc12} = 1,5$

$L_{12} = 1,6 \text{ [m]}$

$v = 0,00000102 \text{ [m}^2\text{/s]}$

$P_{friccion} = 0,2327$

$P_{menores} = 0,1209$

$P_{TOTALES} = 0,3536$

$Re = 18493$

$\dot{V} = 0,0002222 \text{ [m}^3\text{/s]}$

Calculation time = ,0 sec

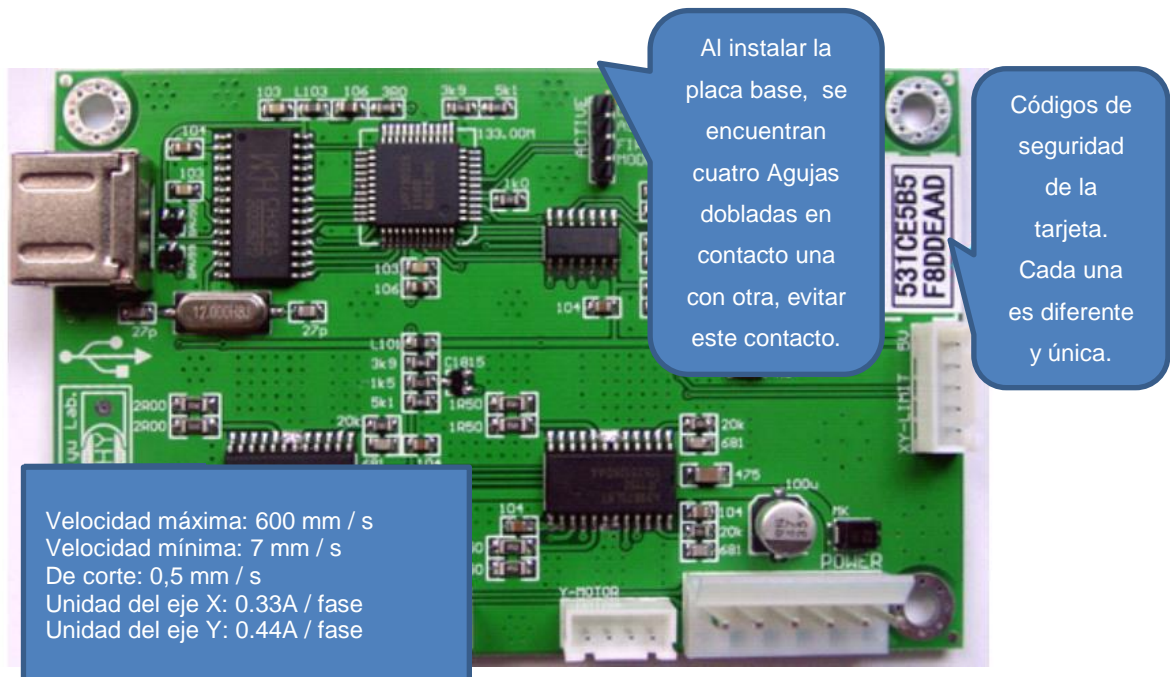
#### Anexo D. Ficha técnica de la tarjeta controladora seleccionada.

**6C6879 - LASER - M 6C6879 - LASER - M 6C6879 - LASER - M 6C6879 - LASER - M2 (abreviado placa base M2) manual de hardware**

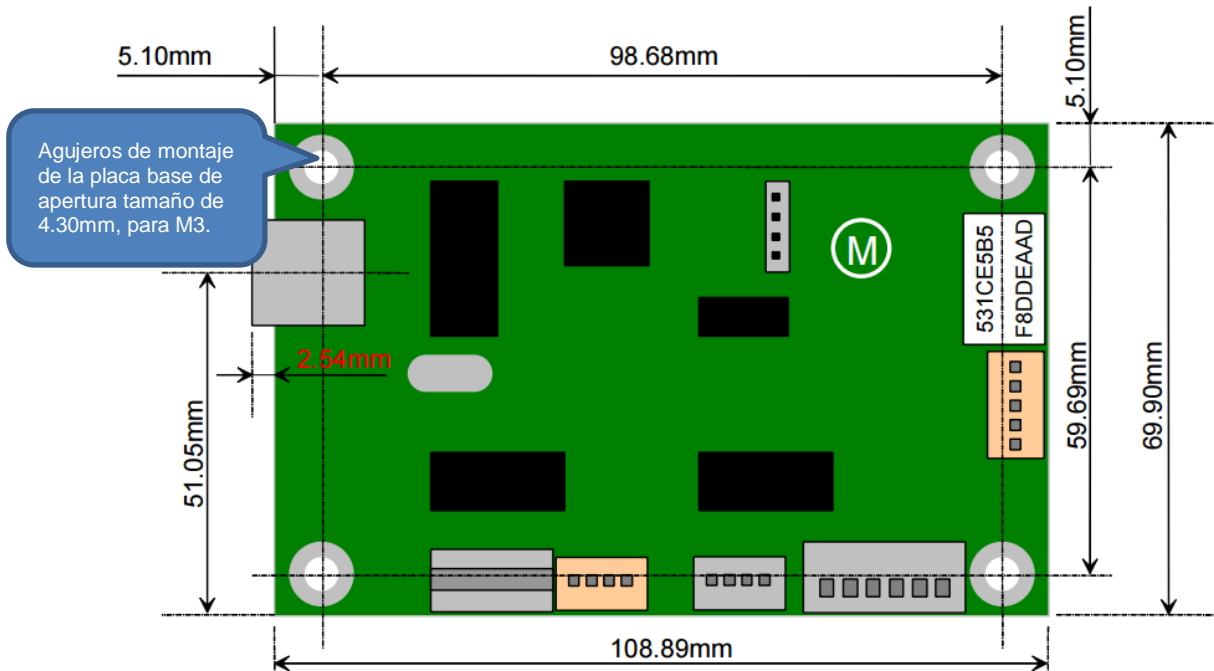
Disponible en:

[www.cnc-club.ru/forum/download/file.php?id=22973](http://www.cnc-club.ru/forum/download/file.php?id=22973) 6C6879 - LASER - M 6C6879

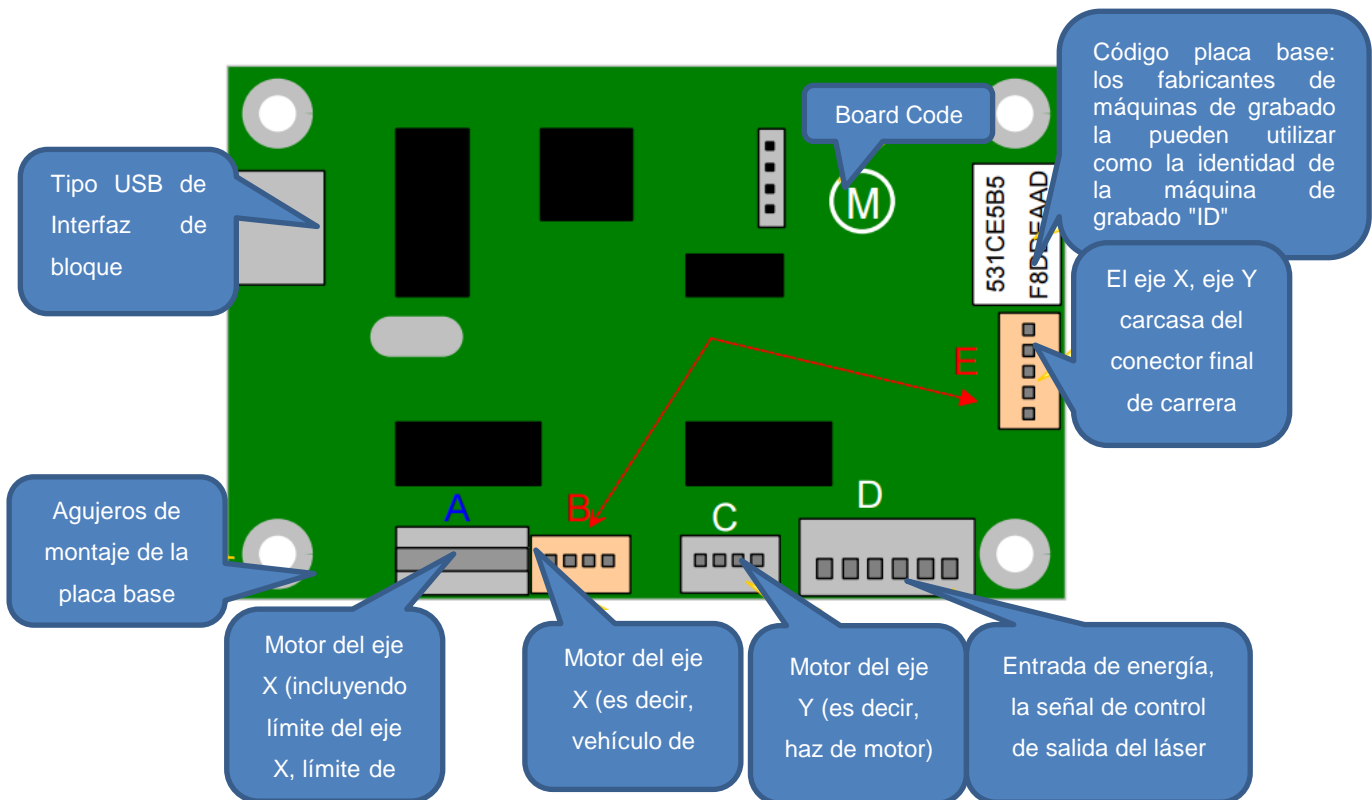
Fotos Reales de la placa.

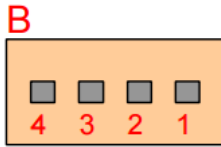


## Dimensiones de la tarjeta.



## Cableado de referencia de la tarjeta controladora.





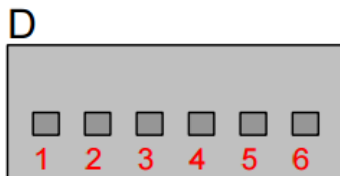
B Definición de bloque:

- 1: Fase X motor B (lado B2)
- 2: Fase X Motor B (B1 del lado)
- 3: Fase X Motor A (lado A2)
- 4: Fase X Motor A (lado A1)



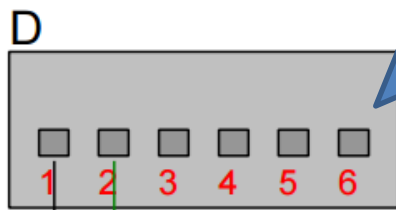
C definición de bloque:

- 1: Fase Y motor B (lado B2)
- 2: Fase Y motor B (B1 del lado)
- 3: Fase Y motor A (lado A2)
- 4: Fase Y motor A (lado A1)

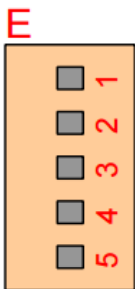


Bloque D se define:

- 1,6: GND (es decir, tierra de la fuente)
- 2: La señal de control de salida del láser  
Láser de baja abierta  
Láser de alta Off
- Drive (optoacoplador) capacidad: 20 mA
- 3,4: Entrada de 5V
- 5: 24V -28V de entrada (potencia del motor)



Métodos de conexión de fuente de alimentación de láser: el pin número 1 está conectado a la señal de alimentación del láser, el pin número 2 se conecta con el control de luz láser de baja potencia.



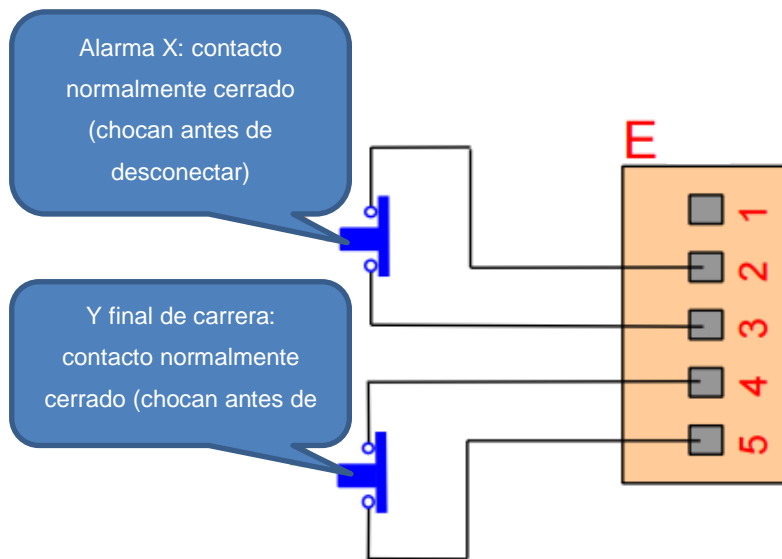
E definición de bloque:

1: + 5V fuente de alimentación

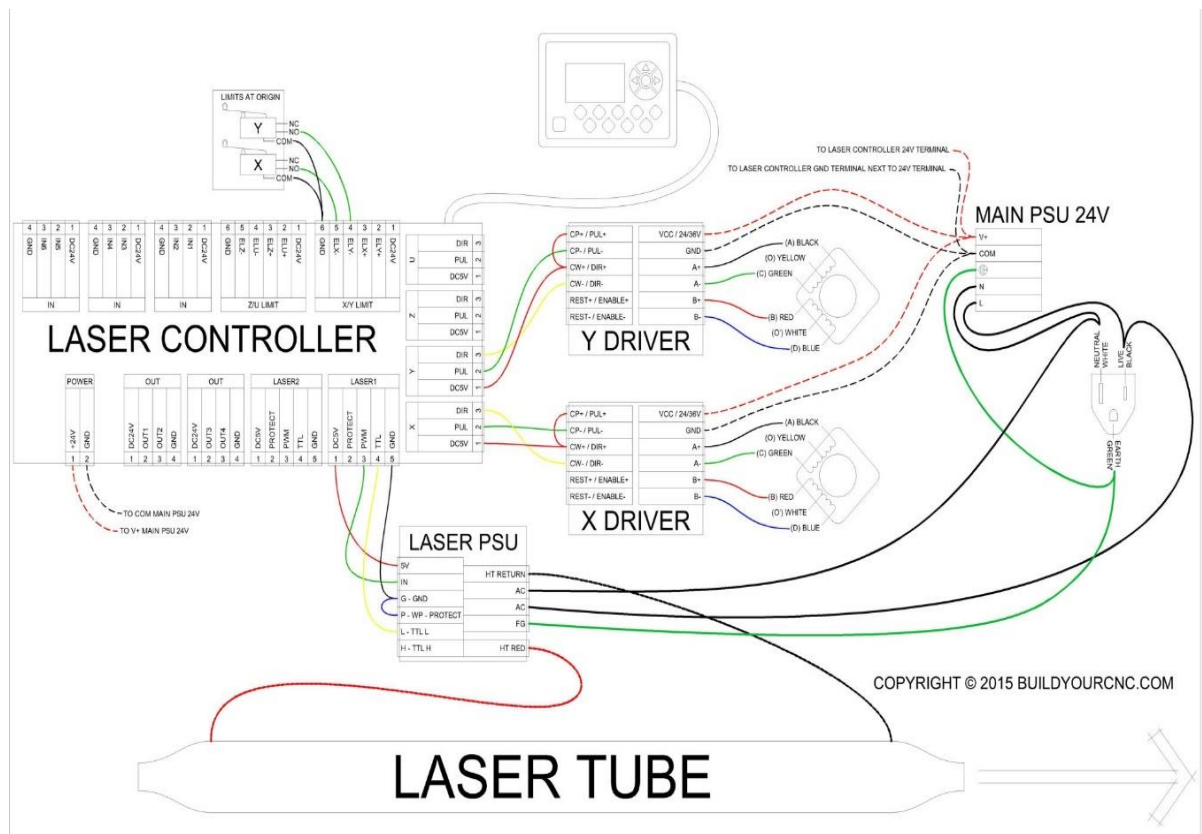
2,5: GND (tierra de la fuente)

3: X entrada de límite - Activo alto

4: Y de entrada de límite - Activo alto



**Anexo E. Esquemas eléctricos de la tarjeta controladora seleccionada.**



Fuente: BuildyourCNC.com

## Anexo F. Ficha técnica y conexiones de la fuente de alimentación.



### Jinan Ruby Laser Technology Co.,Ltd

Address: No61-7 Huayang Road, Lixia District, Jinan City,  
Shandong Province, China, 250100  
Tel: 0086-0531-58181378 E-mail: sales@rubylasertech.com

#### CO2 Laser Power Supply Operation Manual

Please read this operation manual carefully before operating this CO2 laser power supply.

##### 1. Main feature:

1. This power supply has good compatibility. It is easy to match with 60W CO2 laser tube made by various factories.
2. This model CO2 laser power supply can also be applied on both engraving machine and cutting machine. When it is applied on cutting machine, it has stable output power supply and good adaptability, while when it is applied on engraving machine, it has quick response and excellent engraving effect.
3. This power supply can markedly prolong CO2 laser tube's service life time.
4. This power supply
5. This power supply can be easily controlled. The output laser power can be controlled by 0-5V analog signal or PWM signal.
6. This power supply has open circuit protect function. The function can let power supply in open circuit status for short time when protective earthing is good. It can protect power supply from CO2 laser tube blast and prolong power supply's service time.
7. This power supply has feedback interface which not only is used for closed loop control but also is used for testing operating current in laser tube.
8. This power supply has manual test switch which can be used to judge if power supply is in good station. It is big help for field maintenance.

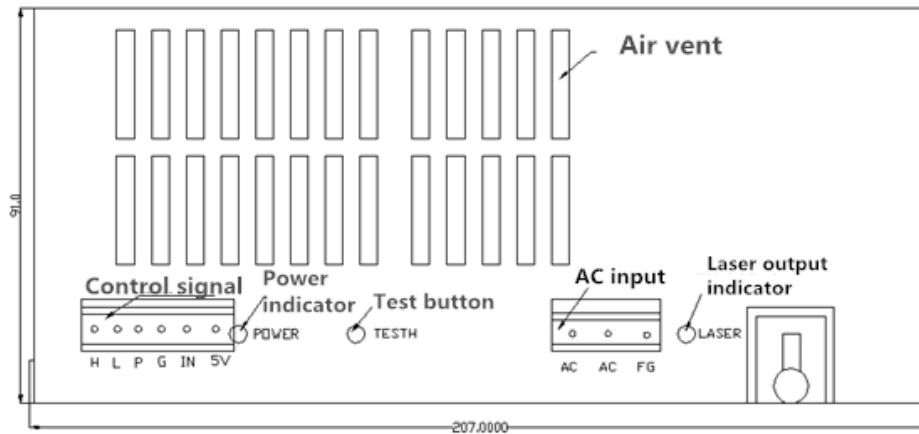
9. Application: acrylic engrave and cut, cloth engrave and cut, double color sheet engrave and cut, rubber sheet engrave and cut, etc.

**2. Specification:**

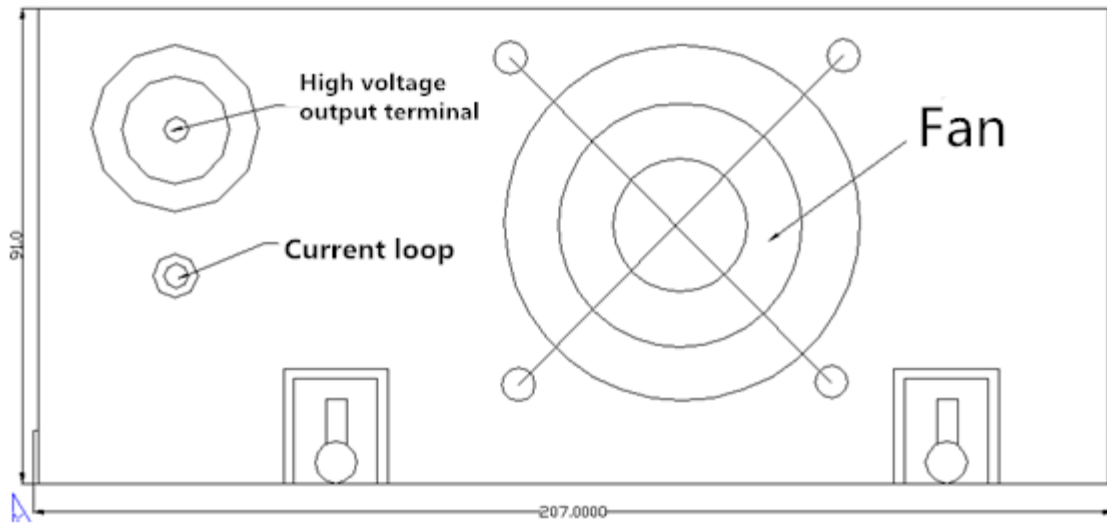
Input AC Voltage		AC220V or AC110V
Input DC Voltage		DC 300V or DC150V
Input AC Frequency		47-440Hz
Max. Output Voltage		55V
Max. Output Current		23A(Depends on Laser tube)
Efficiency		91%
Over Current Protection		130% of Max.Current
Open circuit Protection		Yes (For short time)
Cooling		Fan Cooling
Voltage Range of High Level Control		Not Less Than3V
Voltage Range of Low Level Control		Not More Than0.8V
Working Temperature		-30 - +65 Degree Centigrade
Humidity		20-85%RH(No Dew)
Withstand Voltage	Input-Output	AC1500V/MinNot More Than10mA
	Input-Shell	AC1500V/MinNot More Than10mA
	Output-Shell	Connected
Insulation		Not Less Than 50MOHM (DC500V)
Leakage Current		Not Less Than 1mA (AC220V) Not More Than 0.5 mA (AC110V)
Shock Resistance		Amplitude: 0.5mm, Frequency:10-55Hz, 3D Dretion:2 Hours
MTBF		Not Less Than30,000hours
Full Load 60 Degree Centigrade test		12Hours
7 Seconds Start/Stop Test		500 Times
Dimension (LXWXH)		208mmx150mmx90mm

**3. Operational instruction of front/back panel**

**3.1. Front panel**

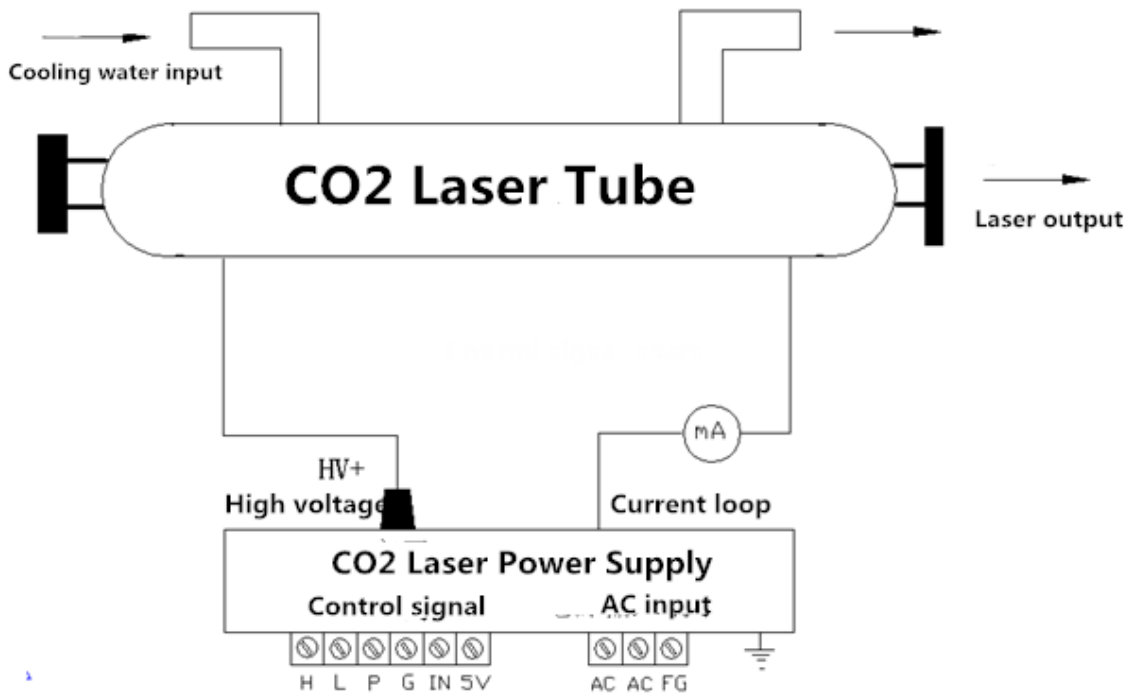


### 3.2. Back panel



### 4. Operation instruction:

4.1. Connection diagram of power supply and laser tube/control signal port explanation.



Control signal port explanation :

Symbol	Definition	Explanation
<b>H</b>	Input signal	Switch laser output: when high level( $\geq 3V$ ), laser output start while when low level( $\leq 0.3V$ ), laser output stop.
<b>L<sup>*1</sup></b>	Input signal	Switch laser output: when high level( $\geq 3V$ ), laser output stop while when low level( $\leq 0.3V$ ), laser output start.
<b>P</b>	Input signal	Switch laser output: when high level( $\geq 3V$ ), laser output stop while when low level( $\leq 0.3V$ ), laser output start.
<b>G</b>	Signal ground	This pin must be connected with shell of laser machine and earth ground of control board very well.
<b>IN<sup>*2</sup></b>	Input signal	Control laser output power: It can be controlled by 0-5V analog signal or 5V PWM signal.
<b>5V</b>	Electric power output	5V output, the Max current is 20Ma.

Note: 1.The **P** input terminal can be used as detecting element for water through or fan switch. The **P** input terminal and earth ground can be connected by idle contact (See. Diagram 1) or optocoupler(See. Diagram 2 ).

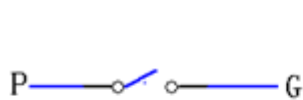


Diagram 1

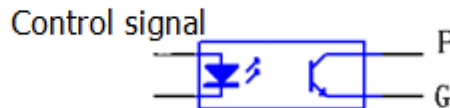


Diagram 2

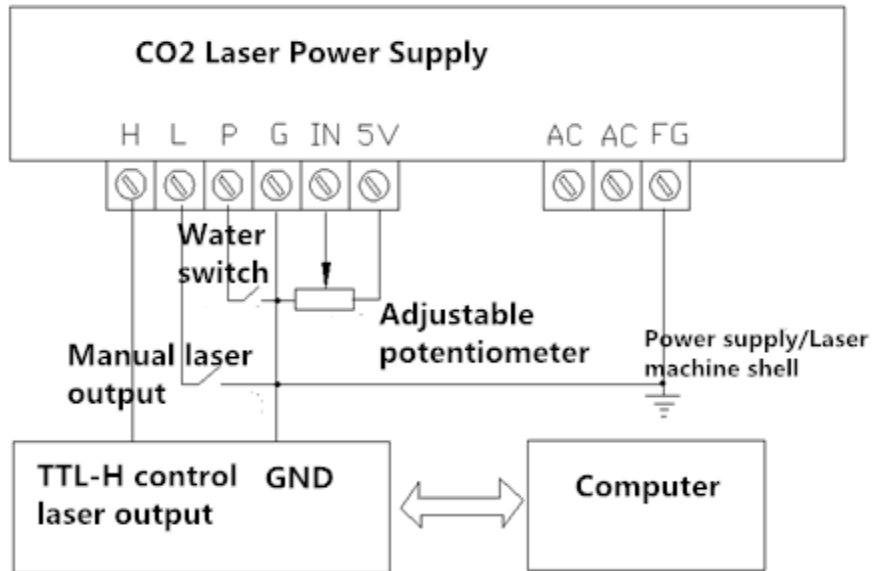
2. When **PWM** signal is used to control laser power, the frequency must be more than 20KHz and amplitude be less than 5V (Peak –Peak value).

Terminal function:

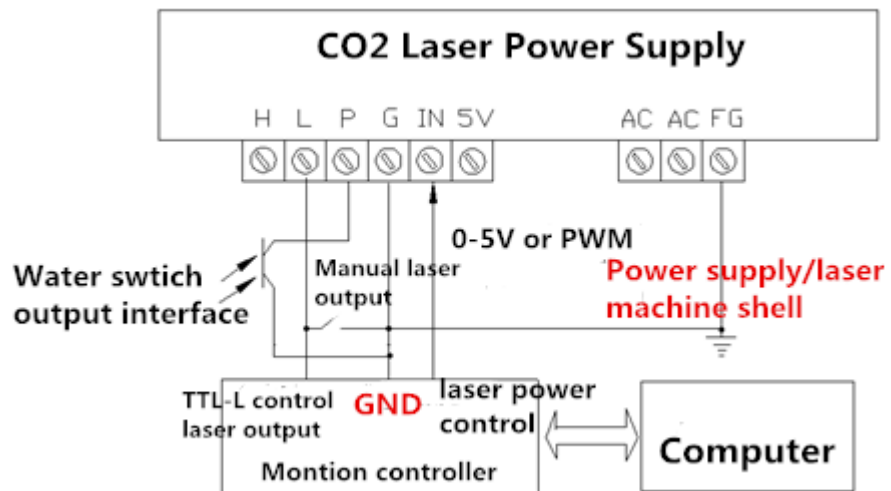
<b>H</b>	<b>L</b>	<b>P</b>	<b>IN</b>	<b>Laser output</b>
Hang	Low ( $\leq 0.3V$ )	Low ( $\leq 0.3V$ )	0-5V or PWM	Laser output, power is from $P_{min}$ to $P_{max}$
	Low ( $\leq 0.3V$ )		Hang	Laser output, 40% of laser output power
	High ( $\geq 3V$ )		-----	Laser output stopped
High ( $\geq 3V$ )	Hang		0-5V or PWM	Laser output, power is from $P_{min}$ to $P_{max}$
Low ( $\leq 0.3V$ )			Hang	Laser output, 40% of laser output power
Low ( $\leq 0.3V$ )			-----	Laser output stopped
-----	-----	高 ( $\geq 3V$ )	-----	Laser output stopped

4.2. Connection diagram of power supply and control board

4.2.1. Recommend connection diagram 1 : High level control laser output



4.2.2. Recommend connection diagram 2 : Low level laser output control



4.3. Connection diagram of CO2 laser tube(Please refer to *Connection diagram of power supply and laser tube*)

The high voltage terminal(**HV+**) of CO2 laser power supply must be connected with positive pole of CO2 laser tube(Total reflection end), the electric current return circuit(Black rubber wire) of CO2 laser power supply should be connected with negative pole of CO2 laser tube(Laser output end) through a ammeter or the negative pole directly is connected with that rubber wire.

4.4. Connection diagram of control board (Please see *Connection diagram of power supply and control board*):

Correctly connect control signal wire of control board with control terminals of CO2 laser power supply. And ensure earth ground wire, laser power supply shell, laser machine shell and computer shell are firmly connected together. If power supply start up and no output laser, operator should inspect control signal (Voltage value and logic, etc). When laser power is controlled by **PWM** signal, the frequency of **PWM** should be more than 20KHz and amplitude should be less than 5V. At the same time the **P** terminal of protection switch should be connected correctly.

4.5. Input voltage of CO2 laser power supply.

Input voltage is 220VAC/50Hz. If 110VAC is required, please specify before place purchase order.

4.6.1. When CO2 laser tube works, it must be cooled by through water.

4.6.2. The high voltage output terminal must not open circuit.(Positive/Negative terminal of high voltage output port must be correctly connected with Positive/Negative terminal of CO2 laser tube).

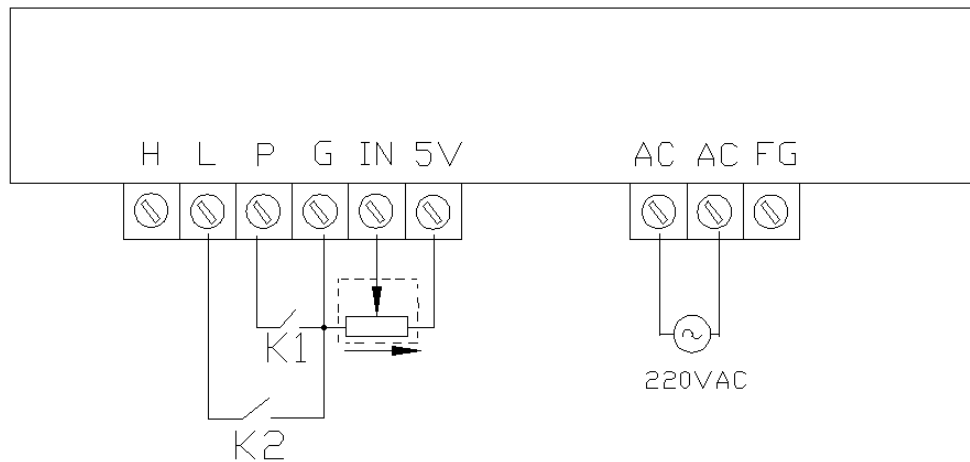
4.6.3. If CO2 laser power supply is power off, there still is some residual voltage at power supply and laser tube. If operator wants to touch electrode of laser tube, he should use electric wire to make positive pole and negative pole short circuit and

release the residual voltage. (The insulating security must be ensured on 40KV high voltage between high voltage output port and earth ground )

4.6.4. The dreifachsteckdose which contains earth ground terminal must be adopted. The shell must be connected with earth ground strictly.

## 5. Test CO2 laser power supply wether or not works normally with out connect with control board.

The connection diagram of control terminals are in below. Please correctly connect CO2 laser tube with CO2 laser power supply.



5.1. Disconnect **K1** and **K2**, there is no output laser.

5.2. Disconnect **K1** while connect **K2**, there is no output laser.

5.3. Connect **K1** while disconnect **K2**, there is no output laser.

5.4. Connect **K1** and **K2**, adjust potentiometer according to the Arrow in above diagram, the laser power increase gradually from little to big.

## 6. Problems and solutions

Problem	Fault cause	Detect	Solution
Electric power on while trip.	Reversal of <b>AC</b> and <b>FG</b> terminals when connected with outside wire.	Inspect whether or not connect <b>AC</b> terminal with <b>FG</b> terminal.	Correctly connect according to diagram.
	Short circuit on 220VAC input electric wire.	Use multimeter to detect whether or not short circuit on input electric wire.	Connect over again.

	Short circuit on <b>AC/AC/FG</b> terminal at inside of power supply.		Send back to factory for repairment.
	Other causes.		
Electric power on while fan doesn't work.	Loosen of fan socket.	Electric power lamp shining and laser output when manual test.	Open shell and tighten fan socket.
	Fan damaged	Electric power lamp shining and laser output when manual test.	Repacse fan or send back to factory for repairment.
	Fuse burn out,	Electric power lamp not shining.	Send back to factory for repairment.
Electric power on while no laser output	Control wire connected incorrectly.	Inspect connecttd wire according to diagram.	Connect over again.
	Loosen of connector inside of power supply.	Open laser machine shell and inspect connector.	Tighten connector.
	Protection switch start up while no water through or water through switch damage.	Use multimeter to test voltage between <b>F</b> terminal and <b>G</b> terminal.	Make water through or replace water through switch.
	Output laser signal is incorrect in logic.	High level can control laser output and voltage between <b>G</b> terminal and <b>L</b> terminal is less than 0.3V. Low level can control laser output and voltage between <b>G</b> terminal and <b>L</b> terminal is more than 0.3V.	Replace control board or change earth ground point.
	Power control signal <b>IN</b> terminal is 0V.	Inspect voltage between <b>IN</b> terminal and <b>G</b> terminal.	Replace control board.
	Fuse is burned out.	Fan doesn't rotate:.	Send back to factory for repairment.
	Other causes.		Send back to factory for repairment.
Laser output at all times.	When low level control laser output, <b>L</b> terminal and <b>G</b> terminal is short circuit.	Inspect voltage between <b>L</b> terminal and <b>G</b> terminal.	Detect connected wire and eliminate short circuit.
	Logic circuit is broken.		Send back to factory for repairment.
	Manual test switch is broken		Replace manual test switch.
	Other causes.		Send back to factory for repairment.
Laser current is not modulated up.	<b>AC</b> input voltage is low.	Output current is at 5mA around.	Add AC voltage stabilizer.
	Laser power supply doesn't matched with laser tube normally.		Send back to factory for repairment.
	Control power signal of control board is badly contated with <b>IN</b> control terminal.	Output current is at 10mA around.	Inspect and contact firmly.
	Laser power potentiometer is broken.	Increase and decrease on output current.	Replace laser power potentionmeter.

	PWM frequency or amplitude is not suitable.		Change PWM frequency or amplitude.
	Transformer is broken	Output current is at 5mA around.	Send back to factory for repairment.
	One circuit is broken		
	Other causes.		
Laser head is not stable when power supply works.	Earth ground connection is bad.		Firmly connect control board's earth ground, power supply shell and power supply 's 5V earth ground of control board with laser machine's shell.
Sporadically laser output when power supply works.			
Two laser heads works abnormality			

Anexo G. Catálogo Motores paso a paso.

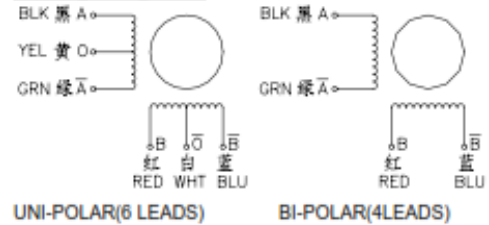


MotionKing (China) Motor Industry Co., Ltd.

**2 Phase Hybrid Stepper Motor  
8HY series-Size 20mm(1.8 degree)**



**Wiring Diagram:**

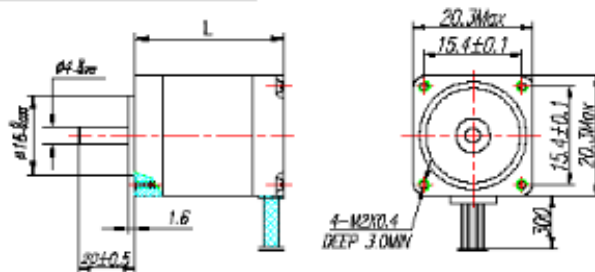


**Electrical Specifications:**

Model	Phase Voltage (V)	Phase Current (A)	Phase Resistance (ohm)	Phase Inductance (mH)	Holding Torque (N.cm)	Lead Wires (No.)	Weight (g)	Length (mm)
8HY26-0204A	4.0	0.2	23	8.2	1.6	4	40	26
8HY28-0204A	12.0	0.2	23	8.2	1.6	4	50	28
8HY28-0604A	1.9	0.6	3.2	0.9	1.6	4	50	28
8HY33-0204A	5.0	0.2	25	8.4	2.0	4	70	33
8HY33-0604A	2.7	0.6	4.5	1.2	2.0	4	70	33
8HY40-0204A	6.4	0.2	32	8.8	2.8	4	80	40
8HY40-0604A	3.5	0.6	5.8	1.6	2.8	4	80	40

\*Note: We can manufacture products according to customer's requirements.

**Dimensions: unit=mm**



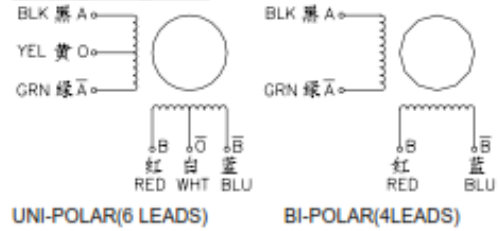
**Motor Length:**

Model	Length
8HY23XX	28 mm
8HY33XX	33 mm

## 2 Phase Hybrid Stepper Motor 17HS series-Size 42mm(1.8 degree)



**Wiring Diagram:**

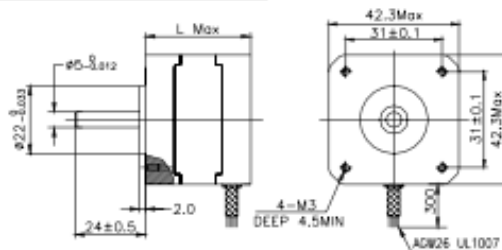


**Electrical Specifications:**

Series Model	Step Angle (deg)	Motor Length (mm)	Rated Current (A)	Phase Resistance (ohm)	Phase Inductance (mH)	Holding Torque (N.cm Min)	Detent Torque (N.cm Max)	Rotor Inertia (g.cm <sup>2</sup> )	Lead Wire (No.)	Motor Weight (g)
17HS2408	1.8	28	0.6	8	10	12	1.6	34	4	150
17HS3401	1.8	34	1.3	2.4	2.8	28	1.6	34	4	220
17HS3410	1.8	34	1.7	1.2	1.8	28	1.6	34	4	220
17HS3430	1.8	34	0.4	30	35	28	1.6	34	4	220
17HS3630	1.8	34	0.4	30	18	21	1.6	34	6	220
17HS3616	1.8	34	0.16	75	40	14	1.6	34	6	220
17HS4401	1.8	40	1.7	1.5	2.8	40	2.2	54	4	280
17HS4402	1.8	40	1.3	2.5	5.0	40	2.2	54	4	280
17HS4602	1.8	40	1.2	3.2	2.8	28	2.2	54	6	280
17HS4630	1.8	40	0.4	30	28	28	2.2	54	6	280
17HS8401	1.8	48	1.7	1.8	3.2	52	2.6	68	4	350
17HS8402	1.8	48	1.3	3.2	5.5	52	2.6	68	4	350
17HS8403	1.8	48	2.3	1.2	1.6	46	2.6	68	4	350
17HS8630	1.8	48	0.4	30	38	34	2.6	68	6	350

\*Note: We can manufacture products according to customer's requirements.

**Dimensions: unit=mm**

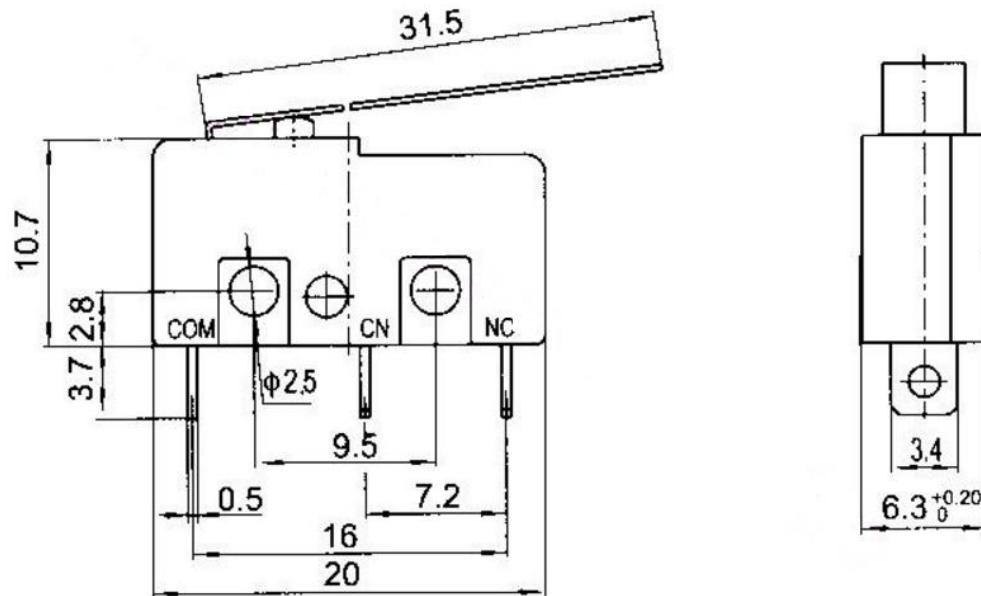


**Motor Length:**

Model	Length
17HS2XXX	28 mm
17HS3XXX	34 mm
16HS4XXX	40 mm
16HS8XXX	48 mm

## Anexo H. Ficha técnica de los finales de carrera.

### 5A250V AC T85 LIMIT SWITCH



### Specifications:

Rating	1A,3A,5A/250VAC,125VAC	
Initial contact resistance	$\leq 25\text{m}\Omega$	
Initial insulation resistance ( At 500V DC)	$\geq 100\text{m}\Omega$	
Dielectric strength	Between non-consecutive terminal	1000Vrms,50/60Hz,1min
	Between current carrying and non-carry	1500Vrms,50/60Hz,1min

	mental parts	
	Between ground and each terminal	1500Vrms,50/60Hz,1min
Max.shock resistance	Mechanical durable	1000m/s2
	Malfunction	300m/s2
Vibration resistance		10-55Hz , 1.5mm double amplitude
Expected life	Mechanical	20000000
	Electrical	100000
Ambient temperature		-25 to +85 °C
Ambient humidity		85%RH max
Operating frequency	Mechanical	60 times/min
	Electrical	25 times/min
Operation speed		0.01mm-1m/s

**Features:**

- (1) Various levers and terminal types are available for choice.
- (2) Compact design, assemble easily.
- (3) Fast action, long life,which could decline cost.
- (4) Various colors are available for choice.
- (5) Quality is reliable,has got CE,UL,CCC certificates.
- (6) Widely used in home appliances,electronic devices,automobile industry automation machines.

**Disponible en:**

<http://www.datasheets360.com/>