



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL
ECUADOR**

**ESCUELA DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍAS
APLICADAS**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE CONTROL
NUMÉRICO POR CORTE CO₂ LÁSER DE 40 WATTS PARA
ACRÍLICO DE HASTA 4 mm.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
MECATRÓNICA**

Francisco Javier Hurtado Ramón

Director:

Ing. Juan Carlos Parra Mena Msc.

Septiembre 2014

QUITO - ECUADOR

DECLARACIÓN

Yo FRANCISCO JAVIER HURTADO RAMÓN, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Internacional del Ecuador, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

FRANCISCO JAVIER HURTADO RAMÓN

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por FRANCISCO JAVIER HURTADO RAMÓN, bajo mi supervisión.

**ING. JUAN CARLOS PARRA
MENA MSC.**

DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiarme, cuidarme, bendecirme cada día y acompañarme en todo momento.

A mis padres, Francisco y Patricia, por su apoyo durante todos los años de camino en mi vida.

Un agradecimiento a mi director de tesis Ingeniero Juan Carlos Parra Mena por su apoyo incondicional, ayuda prestada y experiencia con la cual supo orientarme para la culminación de este proyecto.

A mis amigos y novia, por su apoyo siempre y su comprensión en todo momento sin desfallecer.

DEDICATORIA

A mis Padres, Francisco y Patricia, ya que por el esfuerzo que ellos hacen día a día pude realizar mis estudios, y por ellos soy la persona que soy, por sus enseñanzas y formación me que han inculcado toda mi vida.

A mi hermana Valeria, ya que siempre ha sido mi fuerza, mi soporte y ayuda en todo y cada momento sin importar cual sea, siempre dándome ánimos para seguir adelante.

RESUMEN

En el presente proyecto de titulación se desarrolla el diseño y construcción de una máquina de Control Numérico por Corte CO₂ Láser de 40 Watts para acrílico, con lo cual se pretende aportar una solución de eficiencia para quien la pueda usar. Esta máquina ayuda a recortar tiempos en la producción, reducir márgenes de errores y realizar piezas de mayor complejidad lista para su uso, logrando así una reducción de costos.

Se realiza un análisis de las necesidades del usuario con el fin de encontrar los requerimientos para el desarrollo de la máquina, buscando alternativas y analizando las mismas para realizar un diseño que satisfaga dichos requerimientos, encontrando la mejor opción para el óptimo funcionamiento de la misma.

Una vez seleccionada la alternativa adecuada, se procede a realizar los respectivos análisis y cálculos para un correcto funcionamiento de los componentes y partes de la máquina, obteniendo como resultado todos los datos necesarios para la construcción de la misma y así poder realizar todas las pruebas respectivas para comprobar que el funcionamiento de la misma sea el deseado y planificado; concluyendo así este proyecto de titulación.

INDICE GENERAL

DECLARACIÓN.....	II
CERTIFICACIÓN.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
DEDICATORIA.....	V
RESUMEN.....	VI
INDICE GENERAL.....	VII
INDICE DE FIGURAS.....	X
INDICE DE TABLAS.....	XII
CAPÍTULO 1.....	1
MÁQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO POR CORTE LÁSER.....	1
1.1 TEMA O TÍTULO DEL PROYECTO.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.3 FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	2
1.5.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	2
1.5.2 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.....	3
1.5.3 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....	3
1.6 MARCO DE REFERENCIA.....	3
1.6.1 MÁQUINAS CNC POR CORTE CO2 LÁSER.....	3
1.6.1.1 Sistema CNC.....	4
1.6.1.2 Láser.....	5
1.6.1.3 Tipos de láser:.....	6
1.6.1.4 Láser de CO2.....	7
1.6.1.5 Corte láser.....	11
1.6.1.6 Óptica del Láser.....	12

1.6.1.7 Seguridad con los rayos láser.....	14
1.6.1.8 Acrílico	14
1.6.2 MARCO CONCEPTUAL	15
1.7 HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	16
CAPÍTULO 2.....	17
ANÁLISIS ESTUDIO Y SELECCIÓN DE PARTES DE LA MÁQUINA CNC POR CORTE CO2 LÁSER.....	17
2.1 CASA DE LA CALIDAD.....	17
2.2 ANÁLISIS FUNCIONAL:	21
2.2.1 MÓDULO 1	22
2.2.2 MÓDULO 2:	23
2.2.3 MÓDULO 3:	23
2.2.4 SOLUCIÓN MÓDULO 1.....	23
2.2.5 SOLUCIÓN MÓDULO 2.....	24
2.2.6 SOLUCIÓN MÓDULO 3.....	25
2.3 MATRIZ MORFOLÓGICA:	27
2.4 MÉTODO ORDINAL CORREGIDO DE CRITERIOS PONDERADOS.....	29
CAPÍTULO 3.....	33
CÁLCULO Y SELECCIÓN DE PARTES DE LA MÁQUINA CNC POR CORTE CO2 LÁSER.....	33
3.1 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LOS MOTORES PARA LOS EJES X, Y.....	33
3.1.1 CÁLCULOS DE LOS MOTORES PARA LOS EJES X, Y.	33
3.1.2 SELECCIÓN MOTORES PASO A PASO	44
3.2 SELECCIÓN FUENTE LÁSER:.....	46
3.3 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LA BOMBA DE AGUA PARA ENFRIAMIENTO TUBO LÁSER	47
3.3.1 CÁLCULO DE LA BOMBA DE AGUA PARA ENFRIAMIENTO TUBO LÁSER	48
3.3.2 SELECCIÓN DE LA BOMBA DE AGUA PARA ENFRIAMIENTO TUBO LÁSER	53
3.4 CORREAS DENTADAS	54
3.5 CÁLCULO POR RIGIDEZ DE LOS PERFILES.....	59

3.5 CÁLCULO DE LA BANCADA.....	65
3.6 SELECCIÓN PLACA ELECTRÓNICA	67
3.6.1 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLACA MOSHI MS10105:.....	68
3.6.2 DIAGRAMA ELÉCTRICO DE CONEXIONES.....	69
3.6.2 DISEÑO DE PLACA ELECTRONICA DE SENSORES:	69
3.7 SOFTWARE MOSHIDRAW	70
3.7.1. MANEJO DE SOFTWARE MOSHIDRAW	71
3.8 DIAGRAMA DE FLUJO DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA	75
3.9 PROCESO CONSTRUCTIVO.....	76
3.10 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	82
3.10.1 PRIMERA FASE	83
3.10.2 SEGUNDA FASE	88
3.10.3 TERCERA FASE.....	89
CONCLUSIONES.....	90
RECOMENDACIONES	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
ANEXOS.....	95
ANEXO 1. Máquina VLS 3.50.....	95
ANEXO 2. Máquina 40W CO2 Deluxe Hobby Láser	96
ANEXO 3. Especificaciones técnicas motor Nema 17.....	97
ANEXO 4. Polea dentada	98
ANEXO 5. Correa dentada.	99
ANEXO 6. Pasos de instalación del software Moshi Draw.	100

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Pasos generales del sistema CNC.	5
Fig. 2. Espectro Electromagnético.	8
Fig. 3. Esquema del proceso de corte por láser de CO ₂	9
Fig. 4. Tipos de láser CO ₂	10
Fig. 5. Fases del proceso de corte láser.	12
Fig. 6. Enfoque del haz láser.	13
Fig. 7. Leyendas casa de la calidad.	18
Fig. 8. Casa de la calidad	19
Fig. 9. Perfil Trapezoidal.	35
Fig. 10. Motor paso a paso Nema 17	45
Fig. 11. Fuente láser.	46
Fig. 12. Grafico del sistema de agua	48
Fig. 13. Bomba de agua sumergible SunSun JP-055.	53
Fig. 14. Polea (ver Anexo 4) y correa dentada.	54
Fig. 15. Perfil ancla posición.	60
Fig. 16. Perfil ancla.	60
Fig. 17. Perfil ancla.	61
Fig. 18. Viga hiperestática empotrada en sus extremos.	63
Fig. 19. Perfil Ancla deflexión.	64
Fig. 20. Tapa Bancada.	65
Fig. 21. Factor de seguridad en tapa de bancada.	66
Fig. 22. Placa electrónica MS 10105 V4.5 MOSHI	67
Fig. 23. Diagrama de funcionamiento de la placa Moshi.	68
Fig. 24. Diagrama eléctrico de conexiones.	69
Fig. 25. Placa electrónica de sensores.	70
Fig. 26. Pantalla inicial del software.	72
Fig. 27. Herramientas para archivos.	72
Fig. 28. Herramientas de tamaño.	73
Fig. 29. Herramientas de tamaño de área de trabajo.	73
Fig. 30. Herramientas de diseño.	74
Fig. 31. Modelo de la Máquina CNC Láser.	76
Fig. 32. Base de los ejes de movimiento.	77
Fig. 33. Tensor de la banda dentada.	77
Fig. 34. Eje X.	78
Fig. 35. Fijación de motor y rodamientos lineales.	78
Fig. 36. Base de movimiento.	79

Fig. 37. Porta espejos.....	79
Fig. 38. Ejes de movimiento montados en la base.	80
Fig. 39. Base láser.....	80
Fig. 40. Instalación del láser en la base de la máquina	81
Fig. 41. Alineación de láser.	81
Fig. 42. Máquina CNC láser.	82

INDICE DE TABLAS

Tabla. 1. Tipos de láser.	6
Tabla. 2. Ventajas y desventajas software de diseño.	23
Tabla. 3. Ventajas y desventajas controlador electrónico.	24
Tabla. 4. Ventajas y desventajas transferencia de movimiento.	25
Tabla. 5. Ventajas y desventajas estructuras de desplazamiento.	26
Tabla. 6. Matriz Morfológica.	27
Tabla. 7. Especificación del motor paso a paso SureStep	45
Tabla. 8. Especificaciones de la fuente láser.	46
Tabla. 9. Características bomba sumergible Sun Sun JP-055	53
Tabla. 10. Dimensiones bandas dentadas.	56
Tabla. 11. Valores C1 según tipo de instalación.	57
Tabla. 12. Coeficientes de corrección C2 y C3.	58
Tabla. 13. Tamaños estándar de bandas dentadas	59
Tabla. 14. Vigas de eje recto hiperestático.	62
Tabla. 15. Especificaciones placa controladora MS 10105 Moshisoft	67
Tabla. 16. Fases de pruebas.	83
Tabla. 17. Valores para grabado y corte.	84
Tabla. 18. Pruebas para acrílico de 1mm.	84
Tabla. 19. Pruebas para acrílico de 2 mm.	85
Tabla. 20. Pruebas para acrílico de 3 mm.	86
Tabla. 21. Pruebas para acrílico de 4 mm.	87
Tabla. 22. Segunda fase protocolo de pruebas.	88
Tabla. 23. Tercera fase protocolo de pruebas.	89

CAPÍTULO 1.

MÁQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO POR CORTE LÁSER

1.1 TEMA O TÍTULO DEL PROYECTO

Diseño y Construcción de una Máquina de Control Numérico por Corte CO₂ Láser de 40 Watts para Acrílico de hasta 4 mm.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desarrollo de una máquina de control numérico por corte CO₂ láser busca precisión y reducción de costos; todo esto con el fin de satisfacer las necesidades de innovación en el mercado nacional.

Lo que se busca con esta máquina de control numérico es volverla comercialmente útil en la industria nacional ya que actualmente es limitada por sus costos de implementación.

El uso de esta tecnología acorta la brecha que se tiene en cuanto a procesos de manufactura con los países desarrollados.

1.3 FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es tecnológicamente factible el desarrollo e implementación de esta máquina de corte láser en el Ecuador?

¿Es una herramienta útil para la industria de fabricación de piezas acrílicas la máquina de control numérico por corte láser?

¿Qué nivel de efectividad tendrá la máquina de control numérico por corte láser ante las necesidades del mercado?

¿La máquina propuesta tendrá la resolución necesaria según las exigencias del mercado?

¿La máquina de control numérico por corte CO₂ láser cumplirá con los mismo estándares de máquinas comerciales?

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir una máquina de control numérico (CNC) por corte CO₂ láser de 40 watts para acrílico de hasta 4 mm.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diseñar tanto el sistema mecánico como electrónico que garantice una resolución de 0.1 mm.
2. Garantizar la seguridad del operario ante el accionamiento del láser
3. Diseñar la estructura de la máquina para un área de trabajo de 300mm x 200mm.
4. Seleccionar un software que se adapte a los requerimientos de la máquina y que sea amigable con el usuario.

1.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

1.5.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

El desarrollo acelerado de la tecnología cada día nos hace estar en constante cambio siempre en busca de mejorar la producción y la creación de nuevos métodos de manufactura, los cuales sean más eficientes y no sea necesario un segundo proceso para realizar un acabado. De esta necesidad nace el uso de control numérico con diferentes métodos de corte.

El control numérico por corte CO₂ láser para piezas de acrílico logra cortes precisos y sin rebabas, logrando piezas de acrílico casi perfectas para el uso inmediato sin la necesidad de que exista un proceso de acabado de la pieza, a diferencia de los métodos convencionales como el calado, fresado, etc.

1.5.2 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

En el presente trabajo se aplicara como primero el método analítico que se inicia por la identificación de cada una de las partes obteniendo la información de máquinas comerciales CNC por corte CO₂ láser, basándose en la información obtenida se ocupara el método sistemático para dar solución a cada uno de sus componentes y finalmente se ocupara el método experimental para solucionar errores que se presente.

1.5.3 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

En la producción rígida se fabrica piezas sin posibilidad de cambio o modificación, esto hace que al alterar algún parámetro ya sea de diseño o de dimensión los costos sean altos.

Hoy en día la industria busca la reducción de tiempo y costos; esto se obtiene con el uso de máquinas CNC ya que estas pueden trabajar sin interrupciones con el fin de cumplir con una producción determinada, explotando al máximo potencial de la capacidad operativa, sin embargo tendrá ciertas limitaciones como de velocidad, horas de uso del láser, etc.

Se concluye que la implementación de una máquina de control numérico por corte CO₂ láser, es una opción para ser competitivo en el mercado.

1.6 MARCO DE REFERENCIA

1.6.1 MÁQUINAS CNC POR CORTE CO₂ LÁSER

Hoy en día existe un ambiente con grandes expectativas de fabricación de piezas, esto hace que exista una libre competencia y surge la necesidad de mejorar nuestras industrias a fin de poder satisfacer las necesidades y prestaciones que nos pide el mercado, hoy en día y a futuro. Una de las mejores alternativas es la automatización

de un proceso tomando en cuenta la inversión y la capacidad de producción.¹

Existen diferentes técnicas de manufactura para realizar cada procesos necesario, pero las exigencias cada vez son mayores por esto nace la necesidad de la automatización de estos procesos y con esto surgen las Máquinas CNC, siendo el láser una de las técnicas más ocupadas hoy en día.

1.6.1.1 Sistema CNC

Se considera control numérico por computador, “todo dispositivo capaz de dirigir el posicionamiento de un órgano mecánico móvil mediante órdenes elaboradas de forma totalmente automática a partir de informaciones numéricas en tiempo real.”²

La historia de las CNC inicia en 1952 en el Massachusetts Institute of Technology (MIT)³, provocando un gran cambio en la industria, siendo tan importante que hoy en día no se podría imaginar un futuro tecnológico sin ellas.

La calidad de las piezas elaboradas por las CNC, así como su velocidad para realizarlas es tan relevante, que a primera vista asombra a quienes no tienen conocimiento como a quienes lo poseen.⁴

Dicho sistema funciona de esta manera: en base a un bosquejo de diseño, se elabora el diseño de la pieza en un software CAD (Diseño Asistido por Computadora). Mediante el uso de un software CAM (Mecanizado Asistido por Computadora) se transforma dicho diseño en una serie de códigos llamados Códigos

¹ (2006). Control Numérico - CNC - Apuntes de Ingeniería Mecánica. Retrieved November 4, 2013, from http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/controlnumericocnc/.

² (2013). Universidad de Burgos (Contenido: Equipación de Mecanizado (EM)). Retrieved November 4, 2013, from <http://www.ubu.es/es/investigacion/parque-cientifico-tecnologico/prestaciones-servicio-equipamiento-reservas/equipacion-mecanizado-em>.

³ (2009). Tutorial Máquinas CNC. Retrieved November 5, 2013, from http://electronica.li2.uchile.cl/new/documentacion/CNC/tutorial_CNC.doc.

⁴ (2011). Apunte de CNC - Apuntes Técnicos para todos. Retrieved November 5, 2013, from <http://juliorcorrea.files.wordpress.com/2007/08/apunte-de-cnc.pdf>.

G, los cuales son interpretados por la computadora y transmitidos a la máquina para que realice el trabajo respectivo. De esta manera se consigue la pieza deseada como se puede ver en la figura.1.⁵

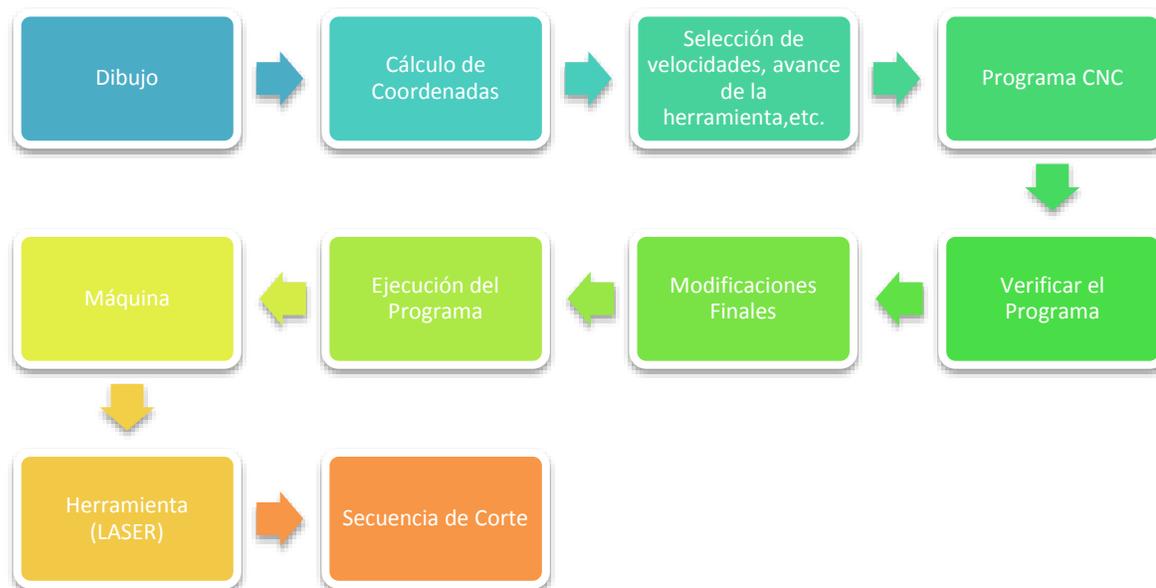


Fig. 1. Pasos generales del sistema CNC.

Elaboración: El autor

1.6.1.2 Láser

*“La palabra láser es un acrónimo de light amplification by stimulated emission of radiation, que traducido al español significa “amplificación de luz por emisión estimulada de radiación”.*⁶

⁵ Apunte CNC EET6 - San Nicolás. Retrieved November 5, 2013, from <http://www.eet6sannicolas.edu.ar/biblioteca/alumnos/3%20polimodal/Apunte%20CNC%20EET6.pdf>.

⁶ Hitz, Ewing, Hecht, Introduction to láser Technology, IEEE Press Inc. 3 ed., USA, 2001. Pag. 1.

1.6.1.3 Tipos de láser:

Existe gran variedad de láseres, se los clasifica de muchas maneras como por su potencia, frecuencia, longitud de onda o su medio activo. En la tabla.1 resume los láseres más importantes y sus características:

Tabla. 1. Tipos de láser.

Fuente: <http://www.clpu.es/en/science-and-education/182.html>

Láser	Medio Activo	Rango de frecuencia de emisión	Régimen de emisión	Potencia de pico máxima (aproximada)	Utilidades
Helio-Neón	Gas	Rojo	Continuo	10 mW	<ul style="list-style-type: none"> • Metrología • Lectores de códigos de barras.
Ion de Ar	Gas	Verde-Azul	Continuo	10 W	<ul style="list-style-type: none"> • Bombeo • Espectáculos
CO ₂	Gas	Infrarrojo	Continuo o pulsado	1 kW	<ul style="list-style-type: none"> • Corte • Soldadura • Cirugía
Excímero	Gas	Ultravioleta	Pulsado	1 mW	<ul style="list-style-type: none"> • Microprocesador • Cirugía
Químicos	Gas	Infrarrojo	Continuo	1 mW	<ul style="list-style-type: none"> • Escudos antimisiles
Colorante	Líquido o Sólido	IR-Visible-UV	Continuo o pulsado	1 W	<ul style="list-style-type: none"> • Espectroscopia

Rubí	Sólido	Rojo	Pulsado	1 kW	<ul style="list-style-type: none"> • Investigación
Neodimio: YAG	Sólido	Infrarrojo (*)	Continuo o pulsado	1 GW	<ul style="list-style-type: none"> • Bombeo • Procesado de materiales • Cirugía
Titanio: Zafiro	Sólido	Infrarrojo	Continuo o pulsado	1 PW	<ul style="list-style-type: none"> • Investigación • Pulsos ultracortos
Semiconductor	Sólido	Infrarrojo-Visible	Continuo	1 mW - 1 kW	<ul style="list-style-type: none"> • Comunicaciones • Cd, DVD • Punteros • Bombeo
Fibra	Sólido	Infrarrojo-Visible	Continuo o pulsado	1 W - 1 kW	<ul style="list-style-type: none"> • Procesado de materiales • Comunicaciones • Espectroscopia
Electrones libres	(**)	Microondas - Rayos X	Pulsado	100 kW	<ul style="list-style-type: none"> • Investigación

(*) La luz de estos láseres suele doblarse en frecuencia mediante un proceso llamado generación de segundo armónico, dando lugar a un haz de luz verde.

(**) Los láseres de electrones libres se basan en un mecanismo completamente distinto al del resto de láseres y no tienen un medio activo propiamente dicho.

1.6.1.4 Láser de CO₂

La molécula de CO₂ tiene varios niveles vibracionales y rotacionales. Las transiciones entre algunos de estos niveles nos dan la emisión láser del CO₂. La

longitud de onda del rayo del láser de CO₂ se sitúa en el infrarrojo (Fig.2) lejano y es de 10,6 micrómetros.⁷



Fig. 2. Espectro Electromagnético.

Fuente: http://www.fisicanet.com.ar/fisica/ondas/ap01_ondas_electromagneticas.php

Los láseres de CO₂ convierten la energía eléctrica en luz láser dirigida que puede ser transmitida a grandes distancias. El rayo láser puede ser desviado mediante espejos y enfocado sobre un punto de menos de una décima de milímetro, el actúa como una herramienta puntual, pudiéndose alcanzar densidades de potencia capaces de fundir o evaporar prácticamente cualquier material. El contorno de la pieza a cortar puede ser de cualquier forma y complejidad, pudiéndose realizar el proceso a altas velocidades. Un esquema completo del láser CO₂ se puede apreciar en la figura 3.

La aplicación industrial precisa aparatos de alta disponibilidad y larga vida útil,

⁷ Carlos Hernández García, Benjamín Alonso Fernández, El láser: la luz de nuestro tiempo, Global Ediciones Anthea 1ed., España, 2011, Pag. 56.

incluso bajo duras condiciones de trabajo.⁸

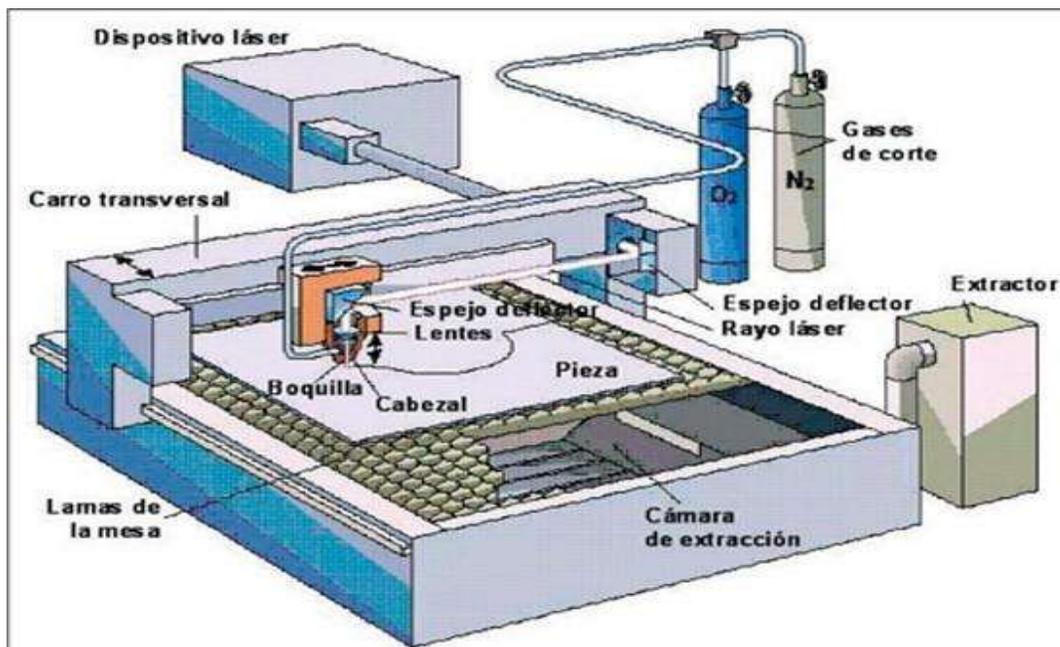


Fig. 3. Esquema del proceso de corte por láser de CO₂.

Fuente: <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/12110-Tecnologias-de-corte-de-chapa.html>

En los Láser CO₂ existen subdivisiones dependiendo de la manera que se suministra el gas en el medio (Fig.4):

1. Láseres sellados:

El gas está mezclado en la cavidad resonante asegurando su rendimiento miles de horas. Se puede conseguir potencias de 20 W hasta 500 W.

2. Láseres de flujo axial lento:

El flujo del gas es en sentido axial a lo largo del resonador y sin ningún impulso. Su potencia es baja de 200 a 300 W.

⁸ Aplicaciones del Láser para el mecanizado de materiales - Noticias ... Retrieved November 5, 2013, from <http://www.nibbler.com.ar/news.cgi?accion=vernew&grp=&skin=Novedades%20Nibbler&id=201>.

3. Láseres de flujo axial rápido:

El flujo del gas va en sentido axial pero es forzado su renovación mediante bombas. Su potencia es de 1000 a 2000 W.

4. Láseres de flujo transversal:

El flujo de gas va en sentido transversal por lo que la renovación del gas es mayor y eficaz. Su potencia es en el orden de los kilovatios.⁹

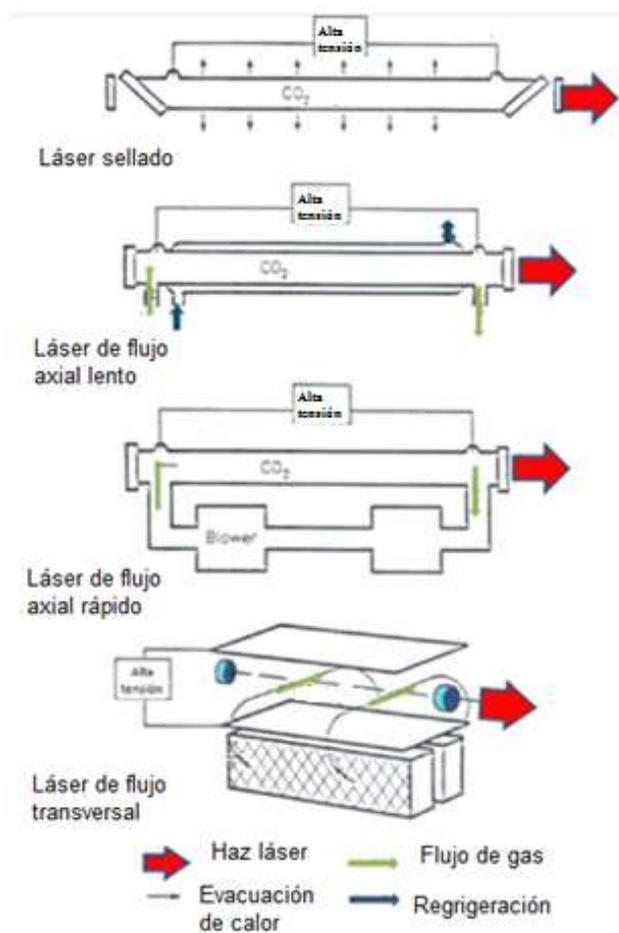


Fig. 4. Tipos de láser CO₂.

Fuente: Alberto Cuesta Arraz, Tecnología láser: Aplicaciones Industriales, Marcombo S.A. 1ed., España, 2011, Pag.16.

⁹ Alberto Cuesta Arraz, Tecnología láser: Aplicaciones Industriales, Marcombo S.A. 1ed., España, 2011, Pag.14,15.

El tipo de láser CO₂ a utilizar es el láser sellado por las siguientes ventajas:

- Mejor aprovechamiento del material debido a que la anchura del surco generado es mínima.
- Las paredes de corte son perpendiculares a la pieza, paralelas entre sí y no redondeadas como ocurre con otros procesos térmicos de corte.
- La pieza cortada no precisa ningún tratamiento posterior ni limpieza.
- El proceso es altamente flexible y automatizado, no precisa cambios de herramientas; simplemente se realizan cambios en el programa informático.¹⁰

1.6.1.5 Corte láser

El corte por láser es la técnica de enfocar el haz del láser en un punto del material que se desea tratar hasta alcanzar la temperatura de fusión así fundiéndose y evaporándose logrando el corte.

La mejor característica del corte láser es su capacidad para procesar un inmenso número de materiales y de espesores. Las piezas cortadas con láser tienen una altísima calidad y no necesitan ser repasadas, salen directamente para ser ensambladas.

Entre las aplicaciones industriales del láser para procesamiento de materiales se calcula que en torno al 60% de la actividad está dedicada al corte. Una de las industrias que mayormente absorbe esta actividad es la industria automotriz y la industria auxiliar automotriz.¹¹

El rayo láser enfocado incide en el material que se calienta de forma tan intensa que

¹⁰ Aplicaciones del Láser para el mecanizado de materiales - Noticias ... Retrieved November 5, 2013, from <http://www.nibbler.com.ar/news.cgi?accion=vernew&agrp=&skin=Novedades%20Nibbler&id=201>.

¹¹ Aplicaciones del Láser para el mecanizado de materiales - Noticias ... Retrieved November 5, 2013, from <http://www.nibbler.com.ar/news.cgi?accion=vernew&agrp=&skin=Novedades%20Nibbler&id=201>.

se funde o se evapora. Cuando el rayo ha penetrado la pieza por completo, ya puede iniciarse el proceso de corte, el rayo láser se desplaza a lo largo del contorno de la pieza y funde el material a medida que lo recorre en la figura 5 se puede apreciar el proceso. La ranura de corte apenas es más ancha que el propio rayo láser enfocado.¹²

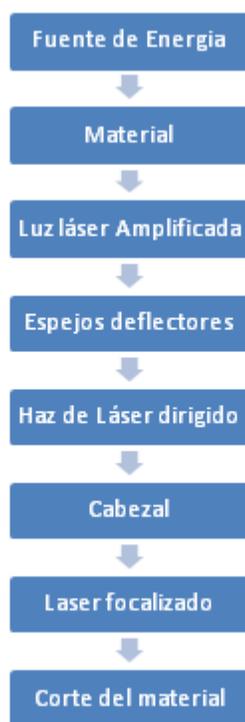


Fig. 5. Fases del proceso de corte láser.¹³

Elaboración: El Autor

1.6.1.6 Óptica del Láser

Lo que hace la óptica por el láser de CO₂ es poder re direccionar el rayo hacia el punto que se necesita para realizar el corte, ya que es muy difícil transportar el tubo

¹² (2013). Corte por láser - TRUMPF Spain. Retrieved November 5, 2013, from <http://www.es.trumpf.com/productos/tecnologia-láser/soluciones/campos-de-aplicacion/corte-por-láser.html>.

¹³ (2010). Tecnologías de corte de chapa - Metalmecánica - Interempresas. Retrieved November 5, 2013, from <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/12110-Tecnologias-de-corte-de-chapa.html>.

láser directamente por su gran tamaño.

El láser emitido tiene un diámetro de 6.3 mm el rayo se lo direcciona mediante espejos a 45 grados hasta llegar al punto de corte. Para lograr un corte preciso el rayo pasa por un lente focal que disminuye su diámetro, concentrando la luz en un punto más pequeño como se ve en la figura 6.

Espejos

Estos espejos están diseñados para absorber menos luz, ya que ningún espejo puede reflejar toda la luz dirigida, una fracción atraviesa el cristal y es absorbida por el fondo reflejante, este fondo reflejante tiene que tener recubierto de oro para poder resistir la potencia del láser de CO₂, el lente que se ocupa es de 25 mm.

Lente focal

El cual es plano convexa y es el encargado de reducir el diámetro del haz de luz enfocándose en un punto más pequeño así realizando un corte más preciso. El lente focal que se ocupa es de 5 cm.

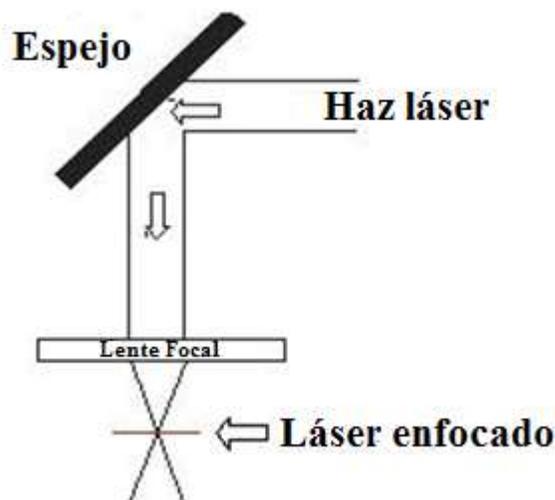


Fig. 6. Enfoque del haz láser.

1.6.1.7 Seguridad con los rayos láser

Los aparatos láser emiten rayos direccionales de alta intensidad que varían en su potencia.

Los operarios deben mantener el cuerpo fuera de la trayectoria del rayo láser y nunca mirar directamente al rayo. Hasta los rayos láser de baja potencia pueden causar daños si los trabajadores si fijan la vista en ellos.

Si un operario mira fijamente a un rayo láser durante un plazo de tiempo, la luz láser enfocada puede quemar el tejido de la retina produciendo ceguera por deslumbramiento, pérdida permanente de la vista o ceguera total. Los daños y quemaduras de los tejidos pueden ocurrir también si se exponen partes del cuerpo a la luz láser por un espacio de tiempo.¹⁴

1.6.1.8 Acrílico

El acrílico se obtiene de la polimerización del metacrilato de metilo (polimetilmetacrilato) o PMMA y la presentación más frecuente que se encuentra en la industria del plástico es en gránulos o en láminas.¹⁵

Es un plástico duro, resistente, transparente, de excelentes propiedades ópticas con alto índice de refracción, buena resistencia al envejecimiento y a la intemperie.

Su resistencia a la rotura es siete veces superior a la del cristal a igualdad de espesores, por lo que resulta más resistente a los golpes.

Es un material ligero con una densidad de 1.19 kg/m³ presenta buena resistencia mecánica y estabilidad. A pesar de su ligereza puede soportar una sobrecarga de 70 kg/m².

¹⁴ (2010). La Seguridad con los Rayos Láser. Retrieved Nov 12, 2014, from <http://www.statefundca.com/safety/safetymeeting/SafetyMeetingTopics.aspx>.

¹⁵ (2012). Polimetilmetacrilato | PMMA | metacrilato ... - Vamptech Ibérica. Retrieved January 21, 2014, from <http://www.vamptech-iberica.com/pmma.php>.

La transparencia de este plástico está comprendida entre el 85% y el 92%, por lo que deja pasar casi todos los rayos UV y su poder de difusión es casi nulo.¹⁶

Según la empresa Casa Sánchez experta en CNC láser dice:

20 watts – corta acrílico hasta 1/6" (4.2 mm) de espesor

25 watts - corta acrílico hasta ¼" (6.4 mm) de espesor

40 watts - corta acrílico hasta 3/8" (9.7 mm) de espesor

50 watts - corta acrílico hasta ½" (12.7 mm) de espesor

100 watts – corta acrílico hasta ¾" (19.1 mm) de espesor.¹⁷

Está claro que influyen muchos aspectos como el funcionamiento, velocidad de corte, etc. para ver la potencia que se necesita según el espesor pero nos da una buena referencia.

1.6.2 MARCO CONCEPTUAL

Control numérico computarizado (CNC): Las máquinas de control numérico por computadora (CNC), el propósito de este sistema es el de ubicar o posicionar un elemento actuador o herramienta (que puede ser un taladro, pincel u otro) de acuerdo a las órdenes que provienen de una computadora.¹⁸

¹⁶ (2006). Propiedades del Polimetacrilato de Metilo. Retrieved May 28, 2014, from <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso04-05/pmma/documentacion/propiedades.htm>.

¹⁷ preguntas frecuentes acerca de los sistemas de ... - Casa Sanchez. Retrieved January 27, 2014, from http://www.casasanchez.com.ar/preg_frecuentes.htm.

¹⁸ (2005). Cienciatecnologia.com - Cienciatecnologia. Retrieved March 4, 2014, from <http://www.cienciatecnologia.com/>.

Resolución: Distinción o separación mayor o menor que puede apreciarse entre dos sucesos u objetos próximos en el espacio o en el tiempo.¹⁹

Automatizado: Aplicar procedimientos automáticos a un aparato, proceso o sistema.²⁰

Manufacturar: Una manufactura es un producto industrial, es decir, es la transformación de las materias primas en un producto totalmente terminado que ya está en condiciones de ser destinado a la venta.²¹

Espectro electromagnético: es el rango de todas las radiaciones electromagnéticas posibles. El espectro de un objeto es la distribución característica de la radiación electromagnética de ese objeto.²²

1.7 HIPÓTESIS DE TRABAJO

La máquina con control numérico por Corte CO₂ láser de 40 watts es capaz de realizar cortes precisos, con mayor rapidez y mucho más limpios en acrílico de hasta 4 mm.

¹⁹ Diccionario de la lengua española | Real Academia Española. Retrieved March 4, 2014, from <http://www.rae.es/recursos/diccionarios/drae>.

²⁰ (2008). automatizado - Definición - WordReference.com. Retrieved March 4, 2014, from <http://www.wordreference.com/definicion/automatizado>.

²¹ (2010). Definición de Manufactura » Concepto en Definición ABC. Retrieved March 4, 2014, from <http://www.definicionabc.com/general/manufactura.php>.

²² (2008). Espectro electromagnético - Espectrometria .com. Retrieved March 23, 2014, from http://www.espectrometria.com/espectro_electromagntico.

CAPÍTULO 2.

ANÁLISIS ESTUDIO Y SELECCIÓN DE PARTES DE LA MÁQUINA CNC POR CORTE CO2 LÁSER

2.1 CASA DE LA CALIDAD

Traduce las *demandas* de los usuarios en *requerimientos técnicos del producto*. Es la de aplicación más frecuente y en ella se distinguen 6 pasos:²³

1. *Voz del usuario*

Describe las *demandas* (*requerimientos* y *deseos*) de los usuarios.

2. *Análisis de competitividad*

Describe, según el usuario, el grado de satisfacción que proporcionan los productos o servicios de la empresa respecto a los de la competencia.

3. *Voz del ingeniero*

Describe los requerimientos técnicos que deberán articularse para satisfacer las necesidades de los usuarios.

4. *Correlaciones*

Establece las correlaciones entre la voz de los usuarios y la voz del ingeniero

5. *Comparación técnica.*

Compara el producto de la empresa con los de la competencia.

6. *Compromisos técnicos*

Establece los *compromisos* potenciales entre las diferentes características técnicas del producto.

²³ (2011). Diseño concurrente - Carles Riba Romeva - Google Books. Retrieved March 4, 2014, from http://books.google.com/books/about/Dise%C3%B1o_concurrente.html?id=leaPng4UWdgC.

Voz del Usuario

- Que la máquina sea pequeña.
- Que tenga un bajo costo.
- Que sea de fácil uso.
- Que tenga protección contra el láser.
- Que corte acrílico.
- Que haga cortes precisos.
- Que entre en la máquina un acrílico de tamaño A4.

Voz del Ingeniero

- Tamaño.
- Seguridad.
- Potencia láser.
- Manejo de motores.
- Interfaz amigable.
- Área de trabajo.

Legendas		
⊕	Fuerte relación	9
○	Moderada Relación	3
▲	Débil Relación	1
++	Fuerte correlación positiva	
+	Correlación positiva	
-	Correlación negativa	
▼	Fuerte correlación negativa	
▼	Objetivo a minimizar	
▲	Objetivo a maximizar	
X	Objetivo a ser alcanzado	

Fig. 7. Legendas casa de la calidad.

Fuente: <http://metodologia-sepdic12g2.blogspot.com/p/disenio-para-calidad.html>

Fig. 8. Casa de la calidad

Fuente:<http://dbis.rwth-aachen.de/apps/HouseOfQuality/?fileId=0B66FESO3NKZSekpINIBDcDY0b1E&userId=104244258454637861614>

Las máquinas de la competencia que se nombra en la casa de la calidad, se encuentran en los Anexos 1 y 2.

Conclusiones de la casa de la calidad

Voz del Usuario

De acuerdo a las necesidades del usuario las prioridades son:

- 1) Corte preciso de acrílico
- 2) Máquina pequeña, bajo costo, protección contra láser y área de trabajo
- 3) Fácil uso

Voz del Ingeniero

Las actividades de mayor a menor peso son:

- 1) Potencia láser con un 37% de prioridad.
- 2) Área de trabajo con un 17.2% de prioridad.
- 3) Tamaño con un 16.2% de prioridad.
- 4) Manejo de motores con un 15.3% de prioridad.
- 5) Seguridad con un 8.5% de prioridad.
- 6) Interfaz amigable (Software) con un 5.7% de prioridad.

Relación voz de usuario - voz del ingeniero

Lo que se puede concluir de la casa de la calidad según la voz del ingeniero y la voz del usuario es que el objetivo primordial para el ingeniero es que la potencia del láser sea efectiva para poder cumplir con las principales necesidades del usuario que es un corte preciso de acrílico.

Análisis de competencias

Lo que se puede concluir es que las máquinas de la competencia tiene una mayor área de trabajo lo cual es perjudicial a su tamaño así mismo los costos de las mismas ascienden en una manera considerable a comparación de la máquina aquí propuesta, sin dejar de cumplir con el principal requerimiento de cortar acrílico.

2.2 ANÁLISIS FUNCIONAL:

El análisis funcional de un producto o sistema y la elaboración de la estructura funcional es un primer paso para establecer su estructura modular a partir de combinar las diversas funciones en módulos de forma que se consigan los dos objetivos prioritarios siguientes:²⁴

a) Agrupar las funciones en módulos

Es conveniente que cada una de las funciones sea realizada por un solo módulo.

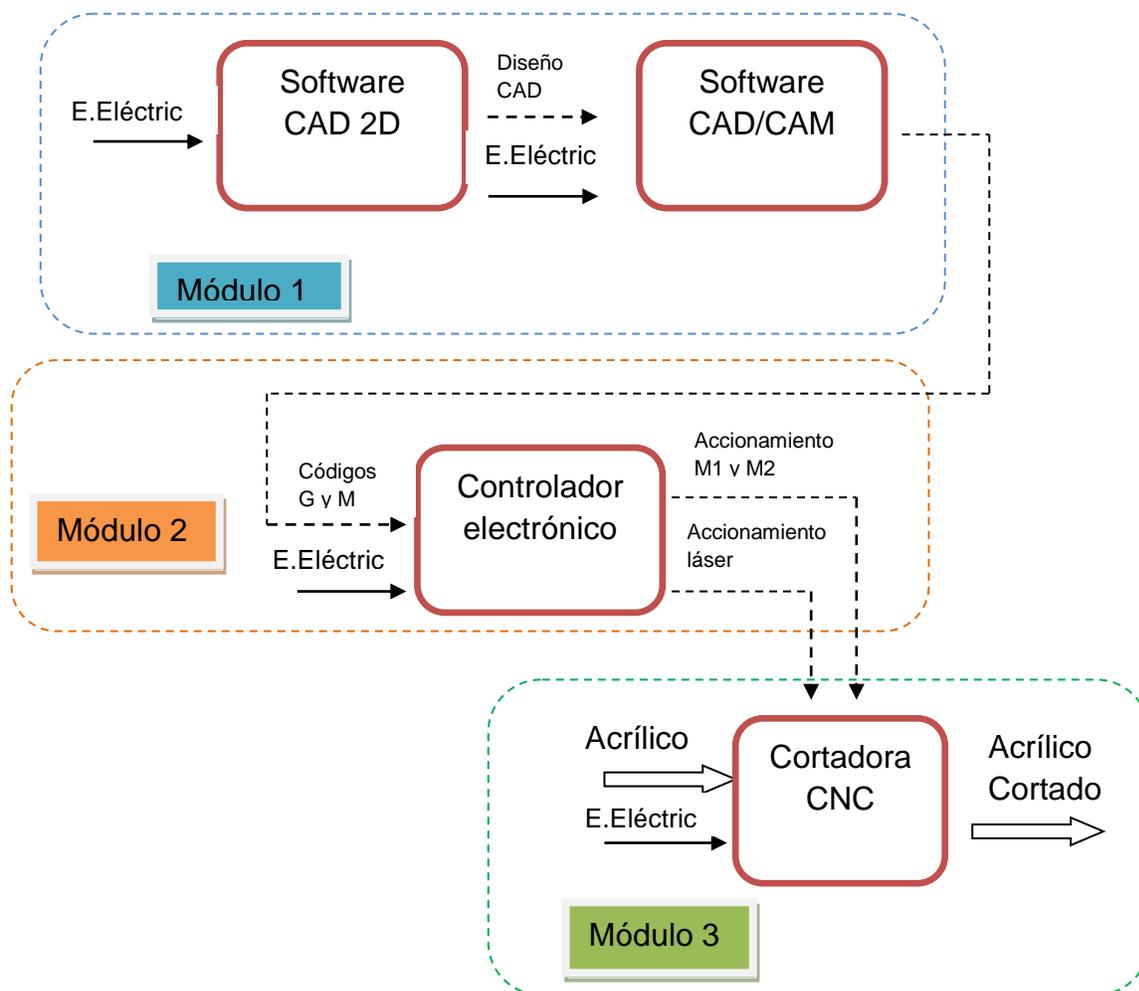
b) Establecer interfaces adecuadas entre módulos

Interface es cualquier superficie real o imaginaria entre dos módulos de un sistema, a través de la cual se establece alguna de las siguientes relaciones: unión mecánica, flujo de energía, flujo de materiales o flujo de señales.

NIVEL 0



²⁴ (2011). Diseño concurrente - Carles Riba Romeva - Google Books. Retrieved January 29, 2014, from http://books.google.com/books/about/Dise%C3%B1o_concurrente.html?id=leaPng4UWdgC.

NIVEL 1**2.2.1 MÓDULO 1**

Este módulo cumple con la función de determina que pieza de acrílico se va a proceder a cortar con la CNC láser para este proceso se necesitan:

- Diseño en 2D de la pieza de acrílico que se desea cortar y generar los códigos G y M que serán enviados al controlador.

2.2.2 MÓDULO 2:

El siguiente módulo tiene la función de entender los códigos G y M enviados para así generar las acciones necesarias para el movimiento de los dos motores para los ejes X, Y, y el accionamiento del láser.

- Controlador electrónico.

2.2.3 MÓDULO 3:

Este módulo cumple con la función de realizar los movimientos necesarios para el corte de la pieza de acrílico deseada. Este módulo tiene dos sub funciones:

- Transferencia de movimiento de los motores hacia los ejes.
- Estructura de desplazamiento.

2.2.4 SOLUCIÓN MÓDULO 1

- Diseño en 2D de la pieza de acrílico que se desea cortar y generar los códigos G y M que serán enviados al controlador se considerara las siguientes opciones:
 - Moshi Draw
 - Corel Draw

Tabla. 2. Ventajas y desventajas software de diseño.

	Ventajas	Desventajas
➤ Moshi Draw	<ul style="list-style-type: none"> • Software libre • Sin restricciones de uso • Se puede distribuir 	<ul style="list-style-type: none"> • Interfaz más primitiva • Menos comercial

	<ul style="list-style-type: none"> • Llave de seguridad USB 	
➤ Corel Draw	<ul style="list-style-type: none"> • Interfaz mejor diseñada • Mas comercial 	<ul style="list-style-type: none"> • Software pagado • Restricciones de uso • Imposibilidad de distribución • No exige llave de seguridad

Elaboración: El autor.

2.2.5 SOLUCIÓN MÓDULO 2

- Controlador electrónico se considerara las siguientes opciones:
 - Controlador de creación propia
 - Módulo Moshi MS 10105 V4.5

Tabla. 3. Ventajas y desventajas controlador electrónico.

	Ventajas	Desventajas
Controlador de creación propia	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidad de puertos de entrada y salidas 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo • Menor fiabilidad • Mayor tiempo de desarrollo
Módulo Moshi MS 10105	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo 	<ul style="list-style-type: none"> • Entradas y salidas de puertos

V4.5	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor fiabilidad • Fácil remplazo 	preestablecidos
------	--	-----------------

Elaboración: El autor.

2.2.6 SOLUCIÓN MÓDULO 3

- ❖ Transferencia de movimiento de los motores hacia los ejes se considerara las siguientes opciones:
- Tornillo de potencia
 - Correa y polea dentada

Tabla. 4. Ventajas y desventajas transferencia de movimiento.

	Ventaja	Desventaja
Tornillo de potencia	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor potencia • Soporta fuerza de gran magnitud 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo • Menor velocidad • Mayor desgaste
Correa y polea dentada	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo • Mayor velocidad • Tamaños preestablecidos • Menor desgaste 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor potencia • Menor fuerza

Elaboración: El autor.

❖ Estructura de desplazamiento se considerara las siguientes opciones:

- Perfiles de aluminio
- Ejes circulares de acero
- Mixto (Aluminio-Acero)

Tabla. 5. Ventajas y desventajas estructuras de desplazamiento.

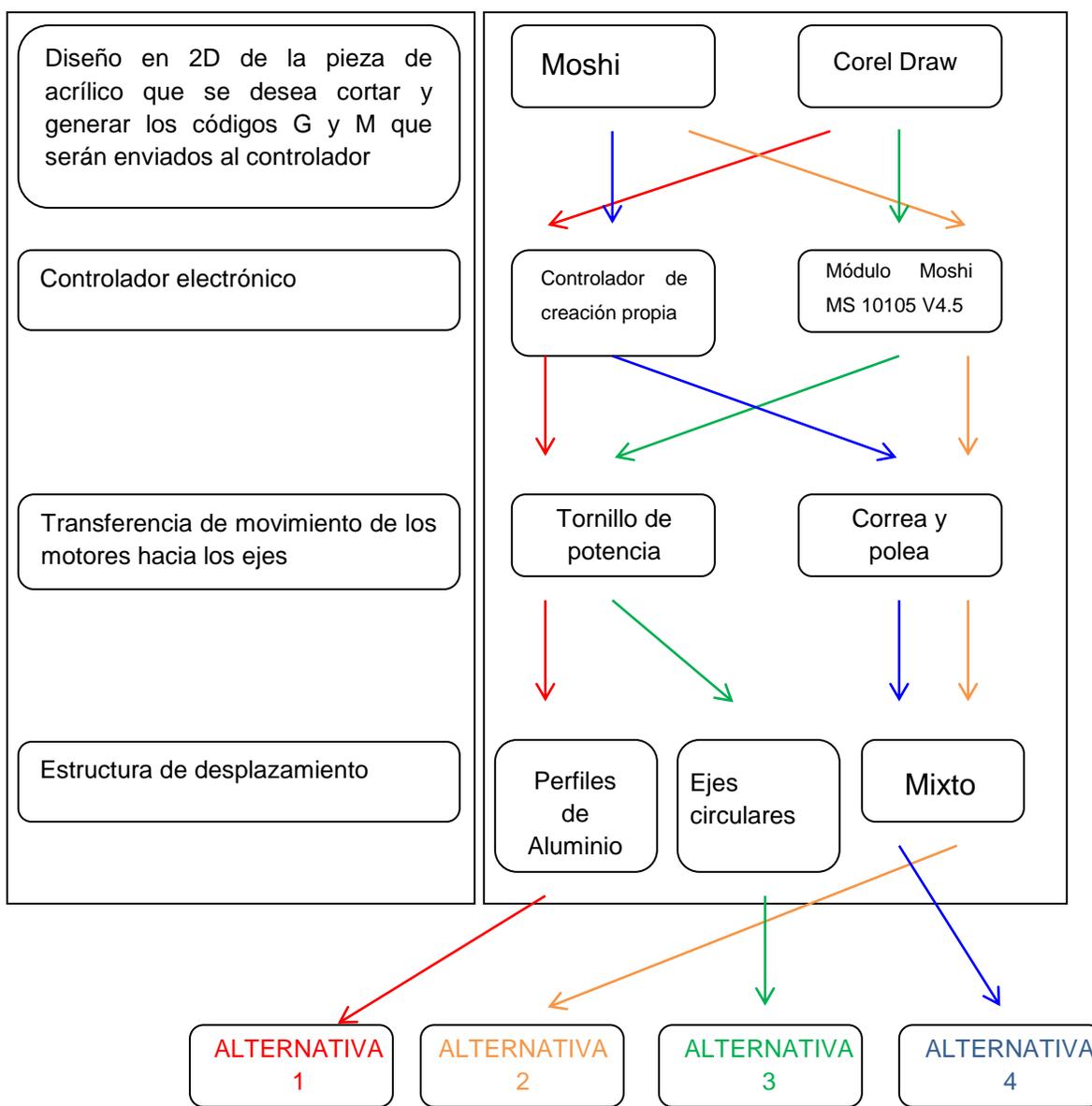
	Ventajas	Desventajas
Perfiles de aluminio	<ul style="list-style-type: none"> • Ligero • Buen acabado • Mayor superficie de trabajo 	<ul style="list-style-type: none"> • Cabeceo
Ejes circulares de acero	<ul style="list-style-type: none"> • Buen acabado • Evita el cabeceo 	<ul style="list-style-type: none"> • Se necesita mecanismo de fijación • Mayor peso
Mixto	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor precisión • Mayor superficie de trabajo y eliminación de cabeceo 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor superficie de trabajo

Elaboración: El autor.

2.3 MATRIZ MORFOLÓGICA:

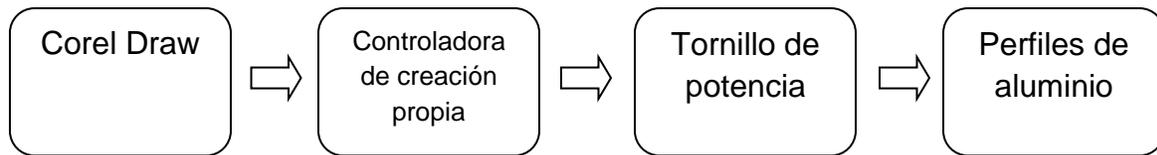
Es una serie de opciones para cada requerimiento de la máquina representadas en cuadros, donde se selecciona las diferentes opciones que se tiene para cada parte de la máquina dando como resultado las diferentes alternativas. Luego ponderando cada opción se obtiene la mejor alternativa.

Tabla. 6.Matriz Morfológica.

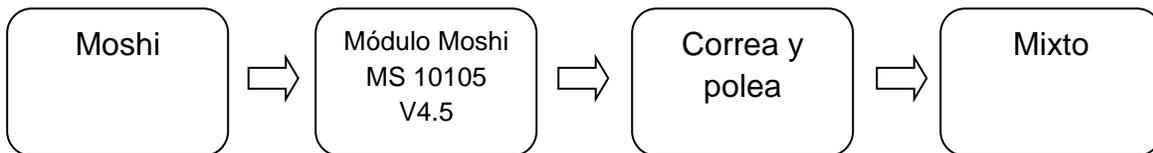


Elaboración: El autor

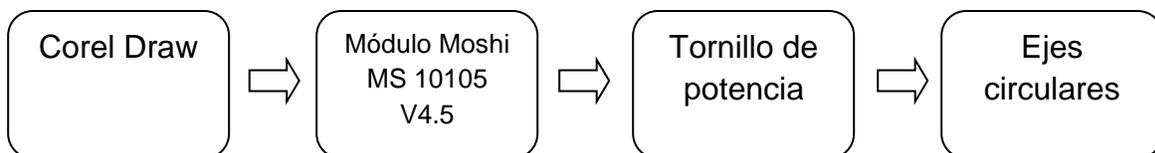
Alternativa 1:



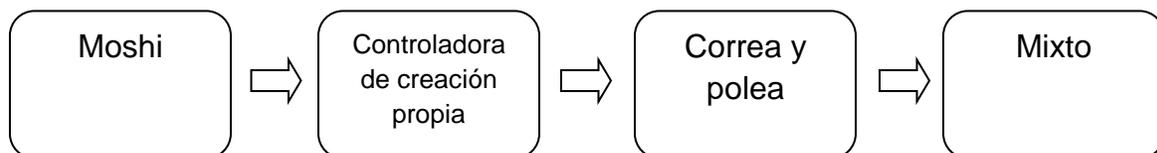
Alternativa 2:



Alternativa 3:



Alternativa 4:



2.4 MÉTODO ORDINAL CORREGIDO DE CRITERIOS PONDERADOS.

La mayor parte de las veces, para decidir entre diversas soluciones (especialmente en la etapa de diseño conceptual) basta conocer el orden de preferencia de su evaluación global. Es por ello que se recomienda el método ordinal corregido de criterios ponderados que, sin la necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad y sin tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio, permite obtener resultados globales suficientemente significativos.

Se basa en unas tablas donde cada criterio (o solución, para un determinado criterio) se confronta con los restantes criterios (o soluciones) y se asignan los valores siguientes: 1 Si el criterio (o solución) de las filas es superior (o mejor; $>$) que el de las columnas 0,5 Si el criterio (o solución) de las filas es equivalente ($=$) al de las columnas 0 Si el criterio (o solución) de las filas es inferior (o peor; $<$) que el de las columnas.

Luego, para cada criterio (o solución), se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios (o soluciones) al que se le añade una unidad (para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula); después, en otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio (o solución).

Finalmente, la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio.²⁵

La evaluación que se presenta a continuación se refiere a las 4 diferentes alternativas que se encontraron, los criterios de valoración que se consideraron más determinantes son:

a) Velocidad, se necesita que la rapidez sea acorde a la resolución deseada.

²⁵ (2011). Diseño concurrente - Carles Riba Romeva - Google Books. Retrieved November 12, 2013, from http://books.google.com/books/about/Dise%C3%B1o_concurrente.html?id=leaPng4UWdgC.

b) Costo, ya que es un factor importante para la implementación y producción de la máquina sea comercialmente competitiva.

c) Disponibilidad, ya que es muy importante que exista en el mercado por cualquier inconveniente como daño.

d) Precisión, para lograr la resolución deseada.

e) Fiabilidad, para que el sistema no tenga fallos ni retrasos.

1. Evaluación de peso específico de cada criterio.

Criterio	VELOCIDAD	COSTO	DISPONIBILIDAD	PRECISION	FIABILIDAD	$\Sigma+1$	Pondera
VELOCIDAD		0	0	0	0	1	0,0666667
COSTO	1		0	0	0	2	0,1333333
DISPONIBILIDAD	1	1		0	0	3	0,2
PRECISIÓN	1	1	1		0,5	4,5	0,3
FIABILIDAD	1	1	1	0,5		4,5	0,3
					Suma	15	1

2. Evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio:

VELOCIDAD	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\Sigma+1$	Pondera
Alternativa 1		0	0	0	1	0,1
Alternativa 2	1		1	1	4	0,4
Alternativa 3	1	0		0	2	0,2
Alternativa 4	1	0	1		3	0,3
				Suma	10	1

COSTO	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\Sigma+1$	Pondera
Alternativa 1		0	0	0	1	0,1
Alternativa 2	1		1	1	4	0,4
Alternativa 3	1	0		0	2	0,2
Alternativa 4	1	0	1		3	0,3
				Suma	10	1

DISPONIBILIDAD	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\Sigma+1$	Pondera
Alternativa 1		0	0	0,5	1,5	0,15
Alternativa 2	1		0,5	1	3,5	0,35
Alternativa 3	1	0,5		0	2,5	0,25
Alternativa 4	0,5	0	1		2,5	0,25
				Suma	10	1

PRECISIÓN	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\Sigma+1$	Pondera
Alternativa 1		1	0,5	1	3,5	0,35
Alternativa 2	0		0	1	2	0,2
Alternativa 3	0,5	1		1	3,5	0,35
Alternativa 4	0	0	0		1	0,1
				Suma	10	1

FIABILIDAD	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\Sigma+1$	Pondera
Alternativa 1		0	0	0,5	1,5	0,15
Alternativa 2	1		0,5	1	3,5	0,35
Alternativa 3	1	0,5		1	3,5	0,35
Alternativa 4	0,5	0	0		1,5	0,15
				Suma	10	1

3. Tabla de conclusiones

Conclusión	VELOCIDAD	COSTO	DISPONIBILIDAD	PRECISIÓN	FIABILIDAD	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,006666667	0,013333333	0,03	0,105	0,045	0,20	3
Alternativa 2	0,026666667	0,053333333	0,07	0,06	0,105	0,32	1
Alternativa 3	0,013333333	0,026666667	0,05	0,105	0,105	0,30	2
Alternativa 4	0,02	0,04	0,05	0,03	0,045	0,19	4

Como conclusión después de observar la ponderación de las 4 alternativas queda como primera la Alternativa 2, segunda la Alternativa 3, tercera la Alternativa 1 y cuarta la Alternativa 4. Por lo tanto la Alternativa 2 es la que se usara para la selección de las partes de la máquina por corte CO₂ láser.

CAPÍTULO 3.

CÁLCULO Y SELECCIÓN DE PARTES DE LA MÁQUINA CNC POR CORTE CO2 LÁSER

3.1 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LOS MOTORES PARA LOS EJES X, Y.

Los motores a pasos son ideales para mecanismos con un elevado grado de precisión. Por esta característica es escogido para la elaboración de este proyecto.

Nota: El tipo de motor a utilizar en este proyecto es motor paso a paso bipolar, esta elección se basó únicamente por su torque y en la disponibilidad en el mercado. El mismo que cumple con los requerimientos del proyecto.

3.1.1 CÁLCULOS DE LOS MOTORES PARA LOS EJES X, Y.

NOMENCLATURA

m = peso de la masa y del objeto (kg)

μ = coeficiente de fricción de superficie deslizante

θ = ángulo de mesa

D = diámetro de la polea de la correa (mm)

r = radio de la polea de la correa (mm)

L = grueso de la polea (mm)

$L\theta$ = resolución deseada (mm)

t_{total} = tiempo de movimiento (s)

t_{acel} = tiempo de aceleración (s)

d_{carga} = desplazamiento o distancia que se mueve la carga por rotación del eje del motor (mm)

D_{total} = distancia total de movimiento (mm)

f_{trapez} = frecuencia máxima (RPM)

θ_{paso} = resolución del paso (pasos/revmotor)

T_{motor} = torque de motor requerido (Nm)

T_{acel} = torque necesario para acelerar y desacelerar la inercia total del sistema (Nm)

T_{resist} = torque necesario para mover el mecanismo por las resistencias de fricción, fuerzas externas, etc. (Nm)

F_{total} = fuerzas externas que se aplican al motor (Nm)

f_0 = velocidad de partida (Hz)

J_{total} = inercia del motor y inercia de la carga (reflejada al eje del motor) (kg/m^2)

J_{poleas} = inercia de la polea (kg/m^2)

J_w = inercia de la carga (kg/m^2)

ρ = peso específico (kg/m^3)

P_{total} = numero de pulsos

Material de la polea = aluminio

FÓRMULAS²⁶

El número total de pulsos para hacer el movimiento es expresado por la fórmula:

$$P_{\text{total}} = \frac{D_{\text{total}}}{d_{\text{carga}}} * \theta_{\text{paso}} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\theta_{\text{paso}} = \frac{d_{\text{carga}}}{L\theta} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$d_{\text{carga}} = \pi * D$$

Perfil trapezoidal

Para una operación de velocidad más alta, el perfil "trapezoidal" de movimiento incluye aceleración y desaceleración controlada y una velocidad inicial diferente de cero (Fig.9). Con tiempos de aceleración y de desaceleración iguales, la velocidad máxima del tren de pulsos se puede encontrar usando la fórmula:

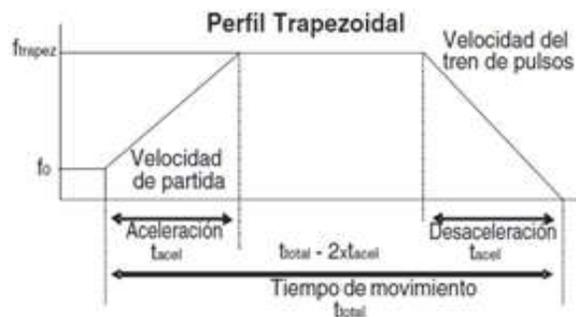


Fig. 9. Perfil Trapezoidal.

Fuente: <http://www.automationdirect.com/static/manuals/surestepmanualsp/appxa.pdf>.

26 (2005). Apéndice A - AutomationDirect.com. Retrieved March 4, 2014, from <http://www.automationdirect.com/static/manuals/surestepmanualsp/appxa.pdf>.

Frecuencia máxima para un movimiento trapezoidal es

$$f_{trapez} = \frac{\frac{P_{total}}{f_o * t_{acel}}}{t_{total} - t_{acel}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Esto se desprende de establecer que:

- durante la aceleración los pulsos son: a) $P_{acel} = (f_{trapez} - f_o) * t_{acel}$
- durante el movimiento constante es b) $P_{cte} = (f_{trapez}) * (t_{total} - t_{acel})$
- durante la desaceleración es c) $P_{desacel} = (f_{trapez} - 0) * t_{acel}$

Sumando estos valores se llega a la fórmula de arriba. Esta fórmula no vale para tiempos de aceleración y desaceleración diferentes.

Calculando el torque resistivo de la carga

El torque que requiere ser suministrado por el sistema de accionamiento el actuador debe ser mayor que el torque resistivo y se puede determinar como la suma del torque de aceleración y del torque resistivo a velocidad constante y se recomienda aplicar al motor un factor de seguridad entre 20 a 100%, dependiendo del sistema en cuestión.

$$T_{motor} = T_{acel} + T_{resist} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$T_{resist} = F_{total} * r \quad \text{Ecuación 5}$$

$$F_{total} = F_{ext} + F_{fricción} + F_{gravedad} \quad \text{Ecuación 6}$$

El torque requerido para acelerar o desacelerar una carga con inercia con un cambio lineal en velocidad es:

$$T_{acel} = J_{total} * \frac{\Delta_{velocidad}}{\Delta_{tiempo}} * \frac{2\pi}{60} \quad \text{Ecuación 7}$$

El factor $(2\pi/60)$ es usado para convertir el "cambio en velocidad" expresada en RPM

en una velocidad angular (radianes/segundo).

Donde

$$J_{\text{total}} = J_{\text{motor}} + (J_{\text{poleas}} + J_w) \quad \text{Ecuación 8}$$

$$J_{(\text{poleas+carga})/\text{motor}} = J_{\text{poleas}} + J_w \quad \text{Ecuación 9}$$

$$J_{\text{poleas}} = \pi * L * \rho * r^4 \quad \text{Ecuación 10}$$

$$J_w = \text{Peso} * r^2 \quad \text{Ecuación 11}$$

A) Cálculo de potencia requerida para el motor de movimiento en el eje X

$$m = 0,3 \text{ kg} * 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$\mu = 0,40 \text{ (Aluminio-plástico)}^{27}$$

$$\theta = 0$$

$$D = 15 \text{ mm}$$

$$r = 7,5 \text{ mm}$$

$$L = 10 \text{ mm}$$

$$L\theta = 0,02 \text{ mm}$$

$$D_{\text{total}} = 440 \text{ mm}$$

$$t_{\text{total}} = 4 \text{ s}$$

$$t_{\text{acel}} = 1 \text{ s}$$

Material de la polea = Aluminio

$$\rho = 2700 \text{ kg/m}^3$$

²⁷ (2011). Mecánica Experimental para Ciencias e Ingeniería ... - Google Books. Retrieved March 21, 2014, from http://books.google.com/books/about/Mec%C3%A1nica_Experimental_para_Ciencias_e_I.html?id=3k39D_MEEVoC.

Cálculos

Determinar la resolución de la carga utilizando el Ecuación 2

$$\theta_{\text{paso}} = \frac{d_{\text{carga}}}{L\theta}$$

Donde $d_{\text{carga}} = \pi \cdot \text{diámetro de la polea}$

$$= \frac{\pi * 10 \text{ mm}}{0,1 \text{ mm}}$$

$$= 314,15 \text{ pasos/rev}$$

Se puede escoger 350 pasos/rev para extender levemente la resolución deseada del posicionamiento de la carga.

Determinar el perfil del movimiento utilizando la Ecuación 1

$$\begin{aligned} P_{\text{total}} &= \frac{D_{\text{total}}}{d_{\text{carga}}} * \theta_{\text{paso}} \\ &= \left(\frac{440 \text{ mm}}{\pi * 10 \text{ mm}} \right) * 350 (\text{pasos/rev}) \\ &= 4901,97 \text{ pulsos} \end{aligned}$$

Frecuencia máxima para un movimiento trapezoidal utilizando la Ecuación 3 es

$$f_{\text{trapez}} = \frac{\frac{P_{\text{total}}}{f_0 * t_{\text{acel}}}}{t_{\text{total}} - t_{\text{acel}}} \quad \text{donde } f_0 = 20 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{trapez}} = \frac{4901,97}{\frac{20 * 1}{4 - 1}} = 81,699 \text{ Hz}$$

$$= 81,699 \text{ Hz} * \frac{\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}}{\frac{350 \text{ pasos}}{\text{rev}}}$$

$$= 14,005 \text{ RPM para la velocidad máxima requerida del motor}$$

Determinar el torque necesario para mover la carga utilizando la Ecuación 8

$$J_{total} = J_{motor} + J_{poleas} + J_w$$

La inercia de la polea utilizando la Ecuación 10 recordando que son dos poleas:

$$\begin{aligned} J_{poleas} &= (\pi * L * \rho * r^4) * 2 \\ &= (\pi * 0,01 \text{ m} * 2700(\text{kg/m}^3) * 0,0075^4 \text{ m}) * 2 \\ &= 0,536 \times 10^{-6} \text{ kgm}^2 \end{aligned}$$

La inercia de la carga utilizando la Ecuación 11 es

$$\begin{aligned} J_w &= \text{Peso} * r^2 \\ &= 0,3 \text{ (kg)} * 9,8 * 0,0075^2 \\ &= 1,65375 \times 10^{-4} \text{ kgm}^2 \end{aligned}$$

La inercia de la carga y las poleas reflejas al motor utilizando la Ecuación 9 es

$$\begin{aligned} J_{(poleas+carga)/motor} &= J_{poleas} + J_w \\ &= 0,536 \times 10^{-6} \text{ (kgm}^2) + 1,65375 \times 10^{-4} \text{ (kgm}^2) \\ &= 1,65911 \times 10^{-4} \text{ kgm}^2 \end{aligned}$$

Luego el torque necesario para acelerar la inercia utilizando la Ecuación 7 es

$$\begin{aligned}
 T_{\text{acel}} &= J_{\text{total}} * \left(\frac{\Delta \text{velocidad}}{\Delta \text{tiempo}}\right) * \left(\frac{2\pi}{60}\right) \\
 &= 1,65911 \times 10^{-4} \text{ (kgm}^2\text{)} * \left(\frac{14,005 \text{ RPM}}{1\text{s}}\right) * \left(\frac{2\pi}{60}\right) \\
 &= 2,43325 \times 10^{-4} \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

$$T_{\text{resist}} = F_{\text{total}} * r \quad \text{Ecuación 5}$$

$$F_{\text{total}} = F_{\text{ext}} + F_{\text{fricción}} + F_{\text{gravedad}} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$= 0 + \mu * \text{Peso} * \cos \theta + 0$$

$$= 0,40 * 0,30 \text{ (Kg)} * 9,8 \text{ (m/s}^2\text{)} * \cos 0$$

$$= 1,176 \text{ Nm}$$

$$T_{\text{resist}} = 1,176 \text{ (Nm)} * 0,0075 \text{ (m)}$$

$$= 0,00882 \text{ Nm}$$

$$T_{\text{motor}} = T_{\text{acel}} + T_{\text{resist}} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$= 0,000243325 \text{ (Nm)} + 0,00882 \text{ (Nm)}$$

$$= 0,00907 \text{ Nm}$$

B) Cálculo de potencia requerida para el motor de movimiento en el eje Y

$$m = 1 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\mu = 0,40 \text{ (Aluminio-plástico)}^{28}$$

$$\theta = 0$$

$$D = 10 \text{ mm}$$

$$r = 7 \text{ mm}$$

$$L = 15 \text{ mm}$$

$$L\theta = 0,02 \text{ mm}$$

$$D_{\text{total}} = 345 \text{ mm}$$

$$t_{\text{total}} = 3 \text{ s}$$

$$t_{\text{acel}} = 1 \text{ s}$$

Material de la polea = Aluminio

$$\rho = 2700 \text{ kg/m}^3$$

Cálculos

Determinar la resolución de la carga utilizando la Ecuación 2

$$\theta_{\text{paso}} = \frac{d_{\text{carga}}}{L\theta}$$

Donde $d_{\text{carga}} = \pi \cdot \text{diámetro de la polea}$

²⁸ (2011). Mecánica Experimental para Ciencias e Ingeniería ... - Google Books. Retrieved March 21, 2014, from http://books.google.com/books/about/Mec%C3%A1nica_Experimental_para_Ciencias_e_I.html?id=3k39D_MEEVoC.

$$= \frac{\pi * 10 \text{ mm}}{0,1 \text{ mm}}$$

$$= 314,15 \text{ pasos/rev}$$

Se puede escoger 350 pasos/rev para extender levemente la resolución deseada del posicionamiento de la carga.

Determinar el perfil del movimiento utilizando la Ecuación 1

$$\begin{aligned} P_{\text{total}} &= \frac{D_{\text{total}}}{d_{\text{carga}}} * \theta_{\text{paso}} \\ &= \left(\frac{345 \text{ mm}}{\pi * 10 \text{ mm}} \right) * 350 (\text{pasos/rev}) \\ &= 3843,59 \text{ pulsos} \end{aligned}$$

Frecuencia máxima para un movimiento trapezoidal utilizando la Ecuación 3 es

$$f_{\text{trapez}} = \frac{P_{\text{total}}}{f_0 * t_{\text{acel}}} \text{ donde } f_0 = 20 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{trapez}} = \frac{3843,59}{\frac{20 * 1}{3-1}} = 96,08 \text{ Hz}$$

$$= 96,08 \text{ Hz} * \frac{\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}}{350 \frac{\text{pasos}}{\text{rev}}}$$

$$= 16,47 \text{ RPM para la velocidad máxima requerida del motor}$$

Determinar el torque necesario para mover la carga utilizando la Ecuación 8

$$J_{\text{total}} = J_{\text{motor}} + J_{\text{poleas}} + J_w$$

La inercia de la polea utilizando la Ecuación 10 recordando que son dos poleas:

$$\begin{aligned}
 J_{\text{poleas}} &= (\pi * L * \rho * r^4) * 2 \\
 &= (\pi * 0,01 \text{ m} * 2700(\text{kgm}^3) * 0,0075^4 (\text{m})) * 2 \\
 &= 0,536 \times 10^{-6} \text{ kgm}^2
 \end{aligned}$$

La inercia de la carga utilizando la Ecuación 11 es

$$\begin{aligned}
 J_w &= \text{Peso} * r^2 \\
 &= 1 (\text{kg}) * 9,8 * 0,0075^2 \\
 &= 5,5125 \times 10^{-4} \text{ kgm}^2
 \end{aligned}$$

La inercia de la carga y las poleas reflejas al motor utilizando la Ecuación 9 es

$$\begin{aligned}
 J_{(\text{poleas+carga})/\text{motor}} &= J_{\text{poleas}} + J_w \\
 &= 0,536 \times 10^{-6} (\text{kgm}^2) + 0,00055125 (\text{kgm}^2) \\
 &= 5,51786 \times 10^{-4} \text{ kgm}^2
 \end{aligned}$$

Luego el torque necesario para acelerar la inercia utilizando la Ecuación 7 es

$$\begin{aligned}
 T_{\text{acel}} &= J_{\text{total}} * \left(\frac{\Delta \text{velocidad}}{\Delta \text{tiempo}} \right) * \left(\frac{2\pi}{60} \right) \\
 &= 5,51786 \times 10^{-4} (\text{kgm}^2) * \left(\frac{16,47 \text{ RPM}}{1 \text{ s}} \right) * \left(\frac{2\pi}{60} \right) \\
 &= 9,51684 \times 10^{-4} \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

$$T_{\text{resist}} = F_{\text{total}} * r \quad \text{Ecuación 5}$$

$$F_{\text{total}} = F_{\text{ext}} + F_{\text{fricción}} + F_{\text{gravedad}} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$= 0 + \mu * \text{Peso} * \cos \theta + 0$$

$$= 0,4 * (1 \text{ (kg)} * 9,8 \text{ m/s}^2) * \cos 0$$

$$= 3,92 \text{ Nm}$$

$$T_{\text{resist}} = 3,92 \text{ (Nm)} * 0,0075 \text{ (m)}$$

$$= 0,0294 \text{ Nm}$$

$$T_{\text{motor}} = T_{\text{acel}} + T_{\text{resist}} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$= 9,51684 \times 10^{-4} \text{ (Nm)} + 0,0294 \text{ (Nm)}$$

$$= 0,030 \text{ Nm}$$

3.1.2 SELECCIÓN MOTORES PASO A PASO

Se utilizara el motor SureStep STP-MTR-17048 NEMA 17 (Fig.10), este motor es el más cerca al torque requerido en el Ecuación 4 satisfaciendo la necesidad del sistema tanto para el motor del eje X, como el motor del eje Y.



Fig. 10. Motor paso a paso Nema 17

Fuente: <http://www.automationdirect.com/static/manuals/surestepmanualsp/surestepmanualsp.pdf>

Especificaciones:

Tabla. 7. Especificación del motor paso a paso SureStep

Especificación de del motor paso a paso SureStep	
Numero de artículo	STP-MTR-1748
Flanje del motor	NEMA 17
Voltaje	24 V
Torque de eje determinado máximo	0,59 Nm
	83 onzas-pulgada
	5,2 libras-pulgada
Inercia del motor	0,0000068 kg-m ²
	0,45 oz-in ²
	0,00006 lb-in-s ²
Corriente nominal	2,0 A/fase
Angulo de paso	1,8 °
RPM máxima velocidad	3000 RPM
Peso	210 gramos
	0,7 lbs

Elaboración: El autor

Especificaciones técnicas del motor Nema 17 ver Anexo 3.

3.2 SELECCIÓN FUENTE LÁSER:

La fuente seleccionada es una fuente para tubo catódico del láser de 40 W (Fig.11), la cual está diseñada para un funcionamiento eficiente y apropiado del tubo catódico del láser, por lo tanto satisface el requerimiento.



Fig. 11. Fuente láser.

Fuente: <https://www.buildyourcnc.com/item/Laser-Component-40W-Power-Supply-CO2-tubepower>

Especificaciones:

Tabla. 8. Especificaciones de la fuente láser.

Poder	40W
Entrada	AC 120 V
Máxima salida de voltaje	DC 30 kV
Máxima salida de voltaje corriente	DC 25mA

Eficiencia	$\geq 90\%$ (full load)
Velocidad de respuesta	$\leq 1\text{ms}$
Protección	Por la detección de agua de refrigeración, para proteger el dispositivo láser; el activador de accionamiento se abre.
Requisitos ambientales	Temperatura de operación : $-10\sim 65^{\circ}\text{C}$, Humedad relativa (RH) : $\leq 90\%$
Modo de enfriamiento	Natural o por aire
Dimensión	$L \times W \times H = 173 \times 143 \times 75$ (mm)

Fuente: http://danielbauen.com/make/index.php/download_file/134/96/

3.3 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LA BOMBA DE AGUA PARA ENFRIAMIENTO DEL TUBO LÁSER

El fabricante del tubo láser CO_2 da como especificación que el caudal necesario debe ser 2 a 4 litros por minuto, para que exista un mayor caudal en el tubo y prevenir cualquier calentamiento se va a dimensionar la bomba para 4 litros por minuto.

Para los cálculos de la bomba nos basaremos en la Mecánica de Fluido de Mott²⁹, en la figura 12 se realiza el diagrama del sistema.

²⁹ Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos*. Pearson Educacion.

3.3.1 CÁLCULO DE LA BOMBA DE AGUA PARA ENFRIAMIENTO PARA EL TUBO LÁSER

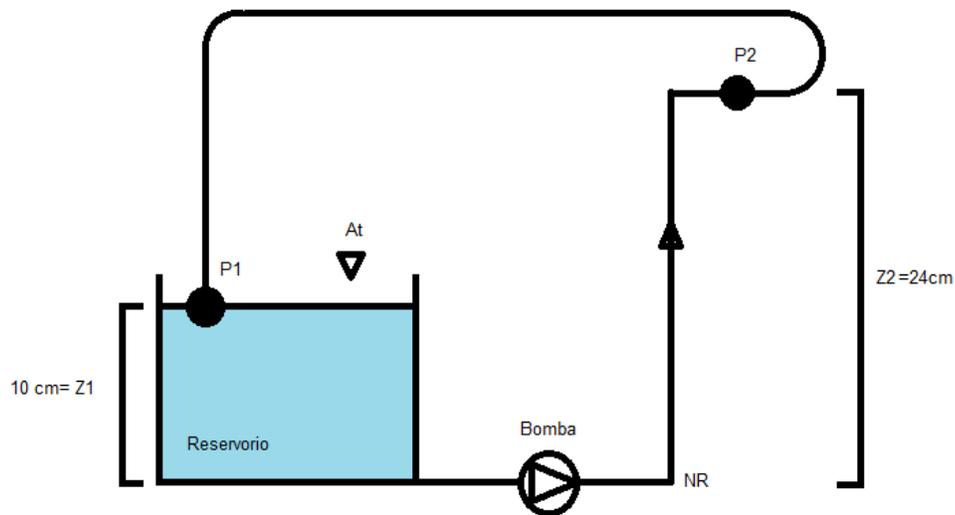


Fig. 12. Grafico del sistema de agua

Elaboración: El autor

NOMENCLATURA

Q = Caudal (m^3/s)

P = Presión (Pa)

D = Diámetro de la tubería (cm)

L = Longitud tubería (m)

H_f = Perdidas de la tubería

V = Velocidad (m/s)

F_s = Factor de fricción

A = Área (m^2)

NR = Numero de Reynolds

H_b = Altura de bombeo (m)

Z_1 = Distancia de la bomba al P1 (cm)

Z_2 = Distancia de la bomba al P2 (cm)

γ = Peso especifico agua (N/m³)

ϑ = Viscosidad cinemática del agua (m²/s)

Datos:

$Q = 4 \text{ l/m} = 0,00006 \text{ m}^3/\text{s}$

$Z_1 = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$

$Z_2 = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$

$D = 0,007 \text{ m}$

$L = 3 \text{ m}$

$\gamma = 9800 \text{ N/m}^3$

Se parte de la ecuación de Bernulli:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_b - H_l = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

Ecuación 12

Donde P_1 es 0 por que esta a presión atmosférica.

Donde V_1 es igual a 0 por el nivel de referencia.

Quedando nos:

$$H_b = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + Z_1 + H_l$$

Entonces encontrando los factores faltantes:

Primero calculando la velocidad 2:

$$V_2 = \frac{Q}{A} \quad \text{Ecuación 13}$$

$$\text{Donde } A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$V_2 = \frac{0,00006 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\frac{\pi 0,007^2}{4}}$$

$$V_2 = 1.559 \text{ (m/s)}$$

Segundo calculando H_i

$H_i = \text{Perdidas tubería} + \text{Perdidas accesorios}$

$$H_i = H_{ITub} + H_{ICodos} \quad \text{Ecuación 14}$$

Para H_{ITub}

$$H_{ITub} = f_s \left(\frac{L}{D} \right) \frac{V_2^2}{2g} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$f_s = f(NR)$$

$$NR = \frac{V_2 D}{\vartheta} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$\vartheta = 1,02 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$NR = \frac{\left(1,559 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)(0,007 \text{ m})}{1,02 \times 10^{-6}}$$

$$NR = 10699,4919$$

Se va a la tabla de Moody que nos indica el factor de fricción y dice que si $NR \leq 20000$ el flujo es laminar.

$NR \leq 20000$ Flujo Laminar

Si el flujo es laminar

$$f_s = \frac{64}{NR}$$

Ecuación 17

$$f_s = \frac{64}{10699,0196}$$

$$f_s = 0,00598$$

Remplazando en la Ecuación 15.

$$H_{ITub} = 0,00598 \left(\frac{3 \text{ m}}{0,007 \text{ m}} \right) \frac{(1,559 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2(9,8)}$$

$$H_{ITub} = 0,3178 \text{ m}$$

Para H_{Codos}

$$H_{ITub} = f_s \left(\frac{L}{D} \right)_{eq} \frac{V_2^2}{2g}$$

Ecuación 18

Para $\left(\frac{L}{D} \right)_{eq}$ se revisa en tablas de perdidas por accesorios en el libro Mecánica de fluidos de Mott³⁰.

En el sistema se tiene 6 codos de 90° para cada codo la $\left(\frac{L}{D} \right)_{eq} = 30$.

³⁰ Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos*. Pearson Educacion.

Remplazando en la Ecuación 18.

$$H_{\text{Icodos}} = 0,00598 \text{ m} (30(6))_{\text{eq}} \frac{1.559 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2(9,8)}$$

$$H_{\text{Icodos}} = 0,0856 \text{ m}$$

Remplazando en la Ecuación 14.

$$H_1 = 0,318 \text{ m} + 0,0856 \text{ m}$$

$$H_1 = 0,0856 \text{ m}$$

Ya obteniendo todos los datos remplazamos en la Ecuación 12.

Para poder calcular H_b se va a considerar que la P_2 es la presión que existe en las tuberías de agua potable que es 0,25 MPa según el INEN.³¹

$$H_b = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + Z_1 + H_1$$

$$H_b = \frac{250000 \text{ Pa}}{9800 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}} + \frac{1.559 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2(9,8)} + 0,25 \text{ m} + 0,1 \text{ m} + 0,0856 \text{ m}$$

$$H_b = 26,025 \text{ m}$$

Obteniendo la altura de bombeo se puede obtener la potencia de la bomba.

$$\text{Pot}_{\text{bomba}} = H_b \gamma Q \quad \text{Ecuación 19}$$

$$\text{Pot}_{\text{bomba}} = 26,025 \text{ m} 9800 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} 0,00006 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Pot}_{\text{bomba}} = 15,302 \text{ W}$$

³¹ (2010). NTE INEN 1 374 - Aseplas. Retrieved March 21, 2014, from <http://www.aseplas.org/contenido/servicios/INEN/1744.pdf>.

3.3.2 SELECCIÓN DE LA BOMBA DE AGUA PARA ENFRIAMIENTO DEL TUBO LÁSER

La bomba seleccionada es una bomba de agua SunSun JP-055 (Fig.13).



Fig. 13. Bomba de agua sumergible SunSun JP-055.

Fuente:

http://www.tropicalpalma.ec/components/com_virtuemart/shop_image/product/SunSun_Bomba_de__4e930e695b62b.jpg

Especificaciones:

Tabla. 9. Características bomba sumergible Sun Sun JP-055

Bomba de agua Sumergible	
Sun Sun JP-055	
Caudal	1200 L/H
Altura max	2 m
Potencia	20 W
Peso	600 g
Medidas	110x80x84mm

Elaboración: El autor.

3.4 CORREAS DENTADAS

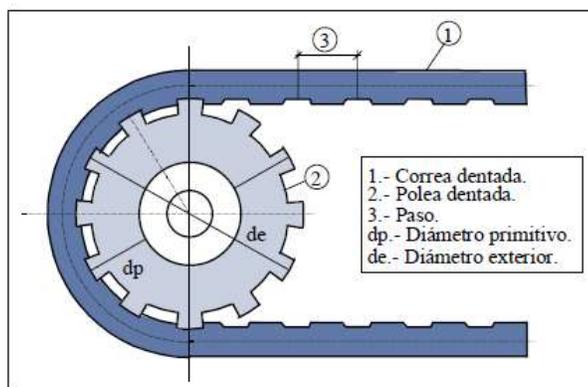


Fig. 14. Polea (ver Anexo 4) y correa dentada.

Fuente: <https://www.uclm.es/profesorado/porrasyoriano/elementos/Tema05.pdf>

Las correas dentadas (Fig.14) constituyen un sistema moderno de transmisión de potencia que reúne las ventajas de las correas planas y trapezoidales y elimina sus inconvenientes.

Su tensión inicial puede ser muy baja, lo que origina una reducida carga en los cojinetes y no precisa de elementos tensores.

Tienen un funcionamiento silencioso, no precisan lubricación. Para su cálculo es preciso tener en cuenta que, según indica la experiencia, debe haber un mínimo de seis dientes en contacto.

Nomenclatura:

B = ángulo de contacto polea correa

Z = número de dientes de la polea.

d_p = diámetros primitivos

n = número de revoluciones

z = paso de la banda dentada

z_c = número de dientes en contacto

P_c = potencia corregida

C_1 = coeficiente de corrección debido a sobrecargas en la transmisión.

C_2 = coeficiente de corrección debido a la multiplicación y se obtiene según el número de dientes de contacto de la correa en las poleas. Como el número de dientes es el mismo para ambas poleas entonces el coeficiente es unitario.

C_3 = coeficiente de corrección debido al tiempo continuo de funcionamiento.

La relación de transmisión de estas correas viene dada por la expresión:

$$dp_1 n_1 = dp_2 n_2$$

Siendo dp_1 y dp_2 los diámetros primitivos de las poleas; y n_1 y n_2 el número de revoluciones de ambas poleas. Si se considera el paso de la banda dentada como z , entonces la fórmula se parece a la de los engranajes, es decir

$$z_1 n_1 = z_2 n_2$$

El número mínimo de dientes en contacto entre la polea y la correa se calcula por la fórmula:

$$z_c = \frac{\beta}{360} z_1$$

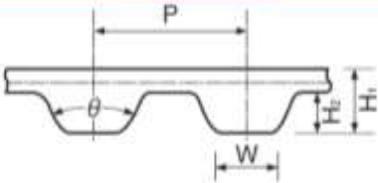
Teniendo en cuenta que para esta aplicación se requiere movimiento lineal e uniforme, más no se usa para reducción o ampliación de velocidad, es decir que $n_1 = n_2$. Esto significa que el ángulo de abrazamiento siempre será de 180° .

En este tipo de correas se denomina Potencia base a la potencia transmitida por cada cm de anchura de la correa. Estas correas se agrupan comercialmente en los tipos **MXL**, **XL**, **L**, **H**, **XH**, y **XXH**.

Sus características en paso se presentan en la siguiente tabla 10:

Tabla. 10. Dimensiones bandas dentadas.

Dimensions



Type		P	W	H ₁	H ₂	θ
MXL	Mini Synchro	2.032mm (0.080")	(0.76) 0.030	(1.1) 0.043	(0.51) 0.020	40°
XL	Extra Light	5.08mm (0.200")	(1.35) 0.054	(2.25) 0.09	(1.25) 0.050	50°
L	Light	9.525mm (0.375")	(3.2) 0.128	(3.5) 0.14	(1.9) 0.075	40°
H	Heavy	12.7mm (0.500")	(4.4) 0.175	(4.3) 0.17	(2.3) 0.090	40°
XH	Extra Heavy	22.225mm (0.875")	(8.0) 0.313	(11.3) 0.44	(6.3) 0.250	40°
XXH	Double Extra Heavy	31.75mm (1.250")	(12.2) 0.477	(15.8) 0.62	(9.6) 0.375	40°

Fuente: <http://www.wedatransmisiones.com/productos/correas-industriales/dentada-caucho/gzr-pic-02.pdf>

Para mas especificaciones de la correa dentada se muestra Anexo 5.

La potencia de cálculo o potencia corregida P_c se obtiene afectando a la potencia a transmitir (P) de los correspondientes coeficientes de corrección según la fórmula

$$P_c = P \times (C_1 + C_2 + C_3)$$

La tabla 11 ofrece los valores de C_1 según el tipo de instalación en la que se apliquen correas dentadas.

Tabla. 11. Valores C1 según tipo de instalación.

Aplicación		Aplicación	
Agitador mezclador:		Máquinas para lavanderías	
Para líquidos	1'4 - 1'8	Lavadoras, secadoras	1'6 - 2'0
Para semilíquidos	1'5 - 1'9		
Aspiradores y ventiladores:		Máquinas para elaboración goma:	1'6 - 2'0
Centrífugos	1'6 - 2'0	Máquina elaboración madera:	
Helicoidales, insufladores para minería	1'8 - 2'2	Tornos, sierras de cinta, cortadoras, sierras circulares, cepilladoras	1'4 - 1'6
Centrifugadoras	1'7 - 1'9		
Compresores:		Máquinas elaboración pan	
Centrífugos o rotativos	1'6 - 1'8	Amasadoras, mezcladoras	1'4 - 1'8
a pistones	2'0 - 2'4	Máquinas de imprenta	
Elevadores	1'6 - 2'0	Rotativas, offset, plegadoras guillotinas, linotipias prensas de impresión	1'4 - 1'8
Trituradoras:		Máquina textil	
Cilindros y martillos	2'2 - 2'5	Urdidores, bobinadores, retorcedoras, telares, hiladoras	1'6 - 2'0
Grupos generadores y excitadores	1'6 - 2'0	Máquinas herramientas	
Líneas de ejes (árboles de transmisión)	1'5 - 1'9	Taladradoras, tornos roscadoras, entalladoras fresadoras, cepilladoras, rectificadoras	1'4 - 1'8 1'5 - 1'9
Máquinas industriales		Molinos de grano	1'7 - 2'1
Agitadores, calandrias			
secadores, bobinadores, batidores, bombas, trituradoras, refinadores	1'4 - 1'8 1'7 - 2'1	Bombas:	
Máquinas industria cerámica:		Centrífugas, rotativas, de engranajes, de pistones	1'5 - 1'9 2'0 - 2'4
Cortadoras, dosificadoras, trefilas	1'5 - 1'9 1'8 - 2'2	Tamices:	
		Rotativos a tambor o cónicos	1'4 - 1'5
		vibratorios	1'5 - 1'7
		Transportadores:	
		Con banda de caucho (material ligero)	1'3 - 1'7
		con banda de caucho (material pesado)	1'6 - 1'8
		elevadores, montacargas	1'7 - 1'9
		a rosca	1'7 - 2'0

Fuente: <https://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/elementos/Tema05.pdf>

Para este proyecto se utiliza el criterio para una máquina herramienta, por ser la más parecida, esto es $C_1 = 1.8$.

C_2 y C_3 pueden obtenerse de la siguiente tabla 12:

Tabla. 12. Coeficientes de corrección C_2 y C_3 .

Coeficiente por multiplicación	
Relación transmisión i-	C_2
De 1 a 1'24	-
De 1'25 a 1'74	+ 0'10
De 1'75 a 2'49	+ 0'20
De 2'50 a 3'50	+ 0'30
Más de 3'50	+ 0'40
Coeficiente por funcionamiento	
Tipo de funcionamiento	C_3
8 - 10 horas día	-
Continuo 10 - 16 " "	+ 0'10
16 - 24 " "	+ 0'20
Intermitente estacional	- 0'10
Con poleas tensoras	+ 0'10

Fuente: <https://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/elementos/Tema05.pdf>

Para este caso debido a que la relación de transmisión es 1, el coeficiente $C_2 = 0$. Y debido a que el funcionamiento será inferior a 8 horas, entonces $C_3 = 0$.

De esta forma se determina la potencia de transmisión del sistema máxima se considera la potencia del motor, (24 V, 2A) es decir 48 W.

Por tanto la potencia corregida será

$$P_c = 48 \times (1.8 + 0 + 0) = 86.4 \text{ W}$$

Finalmente la potencia máxima transmitida por este tipo de correa puede determinarse a partir de la siguiente tabla 13:

Tabla. 13. Tamaños estándar de bandas dentadas

BELT TYPE	PITCH	BELT NUMBER
MXL※ (Rubber)	2.032mm (0.080")	44, 45, 48, 50, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 108, 109, 110, 112, 114, 115, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 134, 135, 137, 138, 140, 142, 144, 145, 146, 148, 150, 151, 155, 158, 159, 160, 162, 163, 164, 165, 169, 170, 175, 177, 180, 184, 188, 190, 192, 195, 196, 200, 204, 205, 208, 210, 212, 215, 220, 221, 222, 224, 225, 226, 228, 230, 232, 234, 236, 239, 240, 245, 248, 249, 250, 251, 255, 256, 260, 262, 265, 268, 271, 273, 275, 280, 281, 285, 288, 290, 295, 297, 300, 305, 308, 310, 312, 315, 318, 320, 323, 326, 328, 330, 332, 334, 336, 337, 347, 350, 354, 355, 358, 359, 360, 364, 365, 371, 372, 380, 388, 397, 400, 402, 405, 410, 413, 425, 431, 434, 435, 440, 448, 453, 464, 468, 473, 475, 480, 487, 493, 498, 500, 516, 522, 524, 525, 535, 550, 591, 612, 665

Fuente: <http://www.wedatransmisiones.com/productos/correas-industriales/dentada-caucho/gzr-pic-02.pdf>

Por tanto se selecciona una correa número 87 (87 W por cm de correa), por disponibilidad en el mercado, para lograr su rigidez se utiliza un templador logrando su correcto funcionamiento.

3.5 CÁLCULO POR RIGIDEZ DE LOS PERFILES

Para analizar la resistencia estructural se procede a determinar la deflexión máxima que tienen el perfil ancla ya que es el perfil que más peso soporta siendo el sitio de carga crítica, como se muestra en la figura 15. Cabe indicar que debido a que se trata de una estructura totalmente rígida se consideran empotrados ambos extremos del perfil.

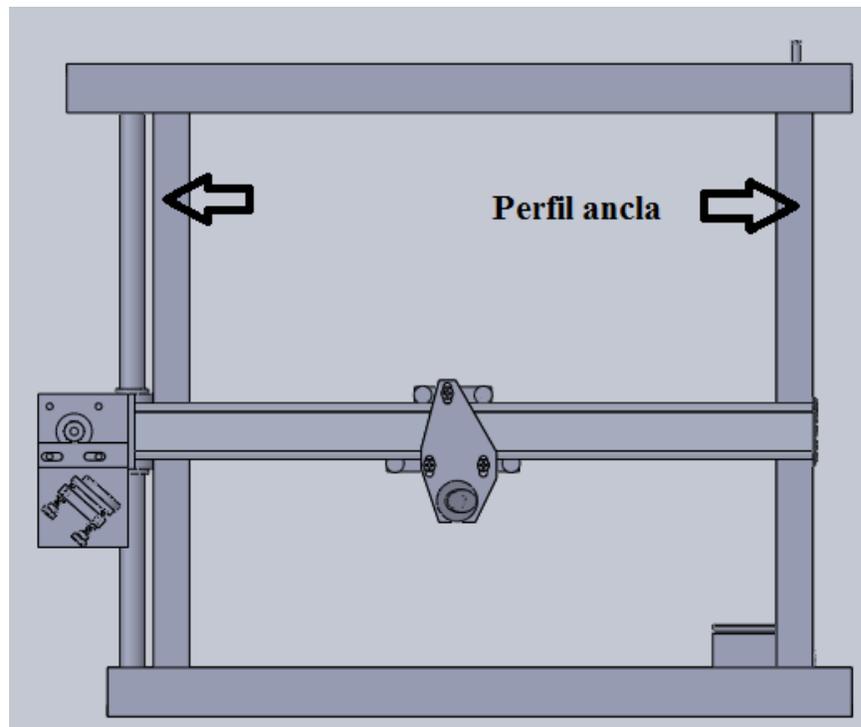
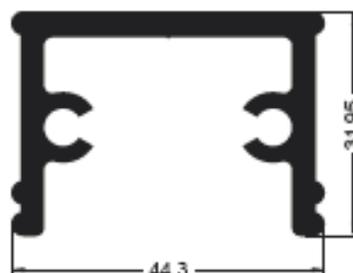


Fig. 15. Perfil ancla posición.

Elaboración: El autor

PERFIL ALUMINIO

Perfil Ancla 1343 de la empresa Cedal. (Fig.16)



1343

Ancla pequeña
Peso: 1.158 kg/m

Fig. 16. Perfil ancla.

Fuente: http://cedal.com.ec/pdf/cedal_ref.jpg

Las propiedades geométricas son (Fig. 17):

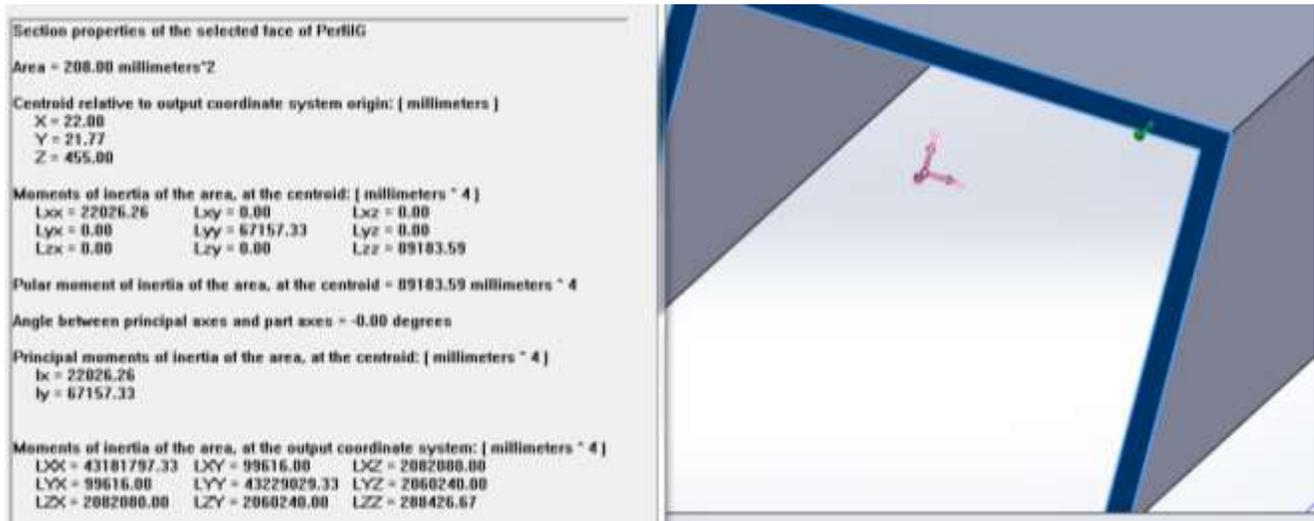


Fig. 17. Perfil ancla.

Elaboración: El autor

La sección transversal tiene un área de $A=208 \text{ mm}^2$ y su inercia respecto del eje x es $I=22026 \text{ mm}^4$, estos datos podemos obtener mediante el software SolidWorks.

Tabla. 14. Vigas de eje recto hiperestático.

Tipo de viga y carga actuante	Reacciones de vínculo	Momento flector en x_0 y en empotramientos	Flèche en abscisa x_1
	$R_A = 3/8 ql$ $R_B = 5/8 ql$	$M_{max} = \frac{9}{128} ql^2$ $x_0 = 3/8 l$ $M_B = -ql^2/8$	$f_{max} = \frac{ql^4}{185 EJ}$ $x_1 = 0,4215 l$
	$R_A = \frac{5}{16} P$ $R_B = \frac{11}{16} P$	$M_{max} = \frac{5}{32} Pl$ $x_0 = 0,5 l$ $M_B = -\frac{3}{16} Pl$	$f_{max} = \frac{7Pl^3}{751 EJ}$ $x_1 = 0,447 l$
	$R_A = \frac{ql}{10}$ $R_B = \frac{9ql}{25}$	$M_{max} = \frac{ql^2}{33,6}$ $x_0 = 0,447 l$ $M_B = -\frac{ql^2}{15}$	$f_{max} = \frac{ql^4}{419 EJ}$ $x_1 = 0,447 l$
	$R_A = \frac{P}{2l} (2l - 3a + \frac{a^3}{l^2})$ $R_B = \frac{P}{2l} (3a + \frac{a^3}{l^2})$	$M_{max} = R_A a$ $x_0 = a$ $M_B = -\frac{Pa(l^2 - a^2)}{2l^2}$	
	$R_A = R_B = \frac{ql}{2}$	$M_{max} = \frac{ql^2}{24}$ $x_0 = 0,5 l$ $M_A = M_B = -\frac{ql^2}{12}$	$f_{max} = \frac{ql^4}{384 EJ}$ $x_1 = 0,5 l$
	$R_A = R_B = P/2$	$M_{max} = \frac{Pl}{8}$ $x_0 = 0,5 l$ $M_A = M_B = -\frac{Pl}{8}$	$f_{max} = \frac{Pl^3}{192 EJ}$ $x_1 = 0,5 l$
	$R_A = 0,15ql$ $R_B = 0,35ql$	$M_{max} = 0,0215 ql^2$ $x_0 = 0,558 l$ $M_A = -\frac{ql}{30}$, $M_B = -\frac{ql}{20}$	$f_{max} = \frac{ql^4}{764 EJ}$ $x_1 = 0,515 l$
	$R_A = \frac{Pb}{l^3} (l^2 - a^2 + ab)$ $R_B = \frac{Pa}{l^3} (l^2 - b^2 + ab)$	$M_{max} = \frac{2Pa^2b^2}{l^3}$ $x_0 = a$	$M_A = -\frac{Pab^2}{l^2}$ $M_B = -\frac{Pa^2b}{l^2}$

Fuente: Pytel, A., Singer, F. L., Torrent, R. G., & Vázquez, A. G. (1994). *Resistencia de materiales: introducción a la mecánica de sólidos*. Harla.

La longitud de la viga L es 385 mm y la carga distribuida es 1 kg (10 N) por los 385 mm (0.026 N/mm) que se considera distribuida a lo largo de la viga. Según la tabla 14 al estar rígidamente unido en sus extremos se considera empotramiento a los dos lados (Fig. 18).

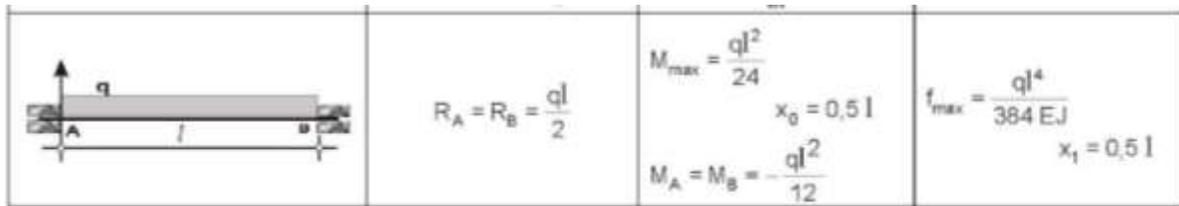


Fig. 18. Viga hiperestática empotrada en sus extremos.

Fuente: Pytel, A., Singer, F. L., Torrent, R. G., & Vázquez, A. G. (1994). *Resistencia de materiales: introducción a la mecánica de sólidos*. Harla.

Nomenclatura:

f = deflexión mm

f_a = deflexión admisible mm

q = Carga en N = 0.026 N/mm

L = Longitud del perfil en mm

I = Momento de inercia en mm^4

E = Módulo de elasticidad en N/mm^2

Para calcular la flecha causada por la carga, sin considerar el peso propio del perfil, es según la tabla:

$$f = \frac{q \times L^4}{384 \times E \times I}$$

Donde:

$$E_{Al6005} = 68600 \text{ MPa} = 68600 \text{ N/mm}^2$$

$$f = \frac{0.026 \times 385^4}{384 \times 68600 \times 22026} = 9.845 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

Para el análisis de elementos finitos se colocó un perfil ancla igual en forma de espejo esto para poder realizar una simulación real, ya que la carga es ejercida en un lado lateral del perfil y si se realiza el análisis de elementos finitos en esa cara no existiría simetría en ese plano, por eso se realiza en análisis como nos indica la figura 19, tomando en cuenta que la fuerza se multiplica por dos, el análisis de elementos finitos muestra una deformación por la carga aplicada, el resultado de deflexión calculado es mayor a la deflexión del análisis por elementos finitos, sin embargo la tendencia es la misma.

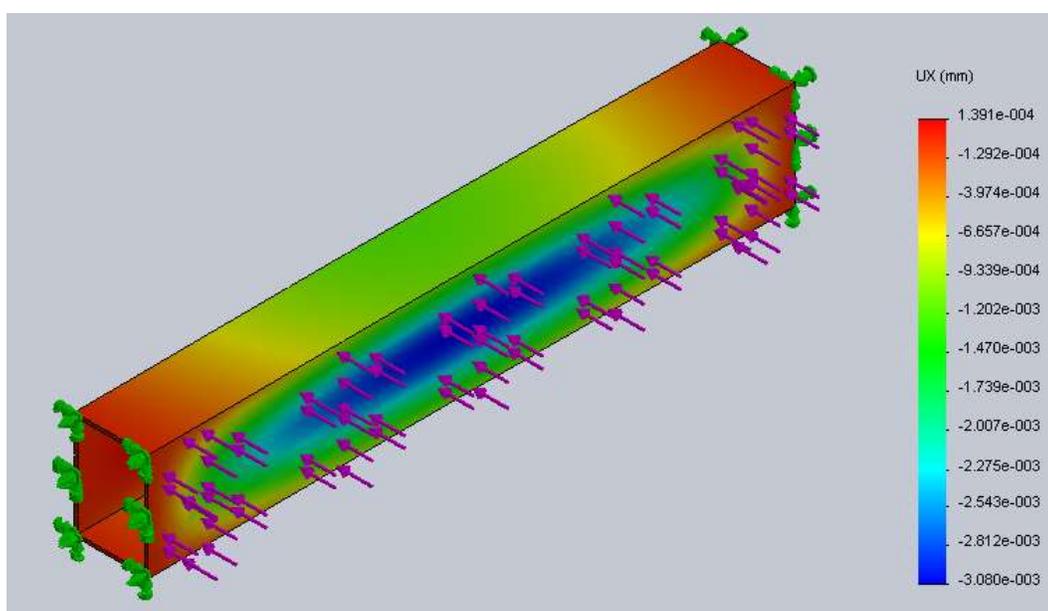


Fig. 19. Perfil Ancla deflexión.

Elaboración: El autor

La deflexión admisible para una viga corta es:

$$fa = \frac{L}{2000}$$

$$fa = \frac{385}{2000} = 0,1925 \text{ mm}$$

Claramente se puede notar que se trata de un elemento rígido que cumple con las especificaciones solicitadas.

3.5 CÁLCULO DE LA BANCADA

Para analizar la resistencia de la bancada se procede a determinar la fuerza máxima que puede resistir la bancada sin llegar a una deformación permanente.

Para este cálculo se considerara la tapa (Fig.20) de la bancada ya que es el lugar más probable donde se podría ejercer una fuerza externa.

Cabe indicar que debido a que se trata de una bancada totalmente rígida se consideran empotrados en todos sus extremos que es donde descansa.

TAPA

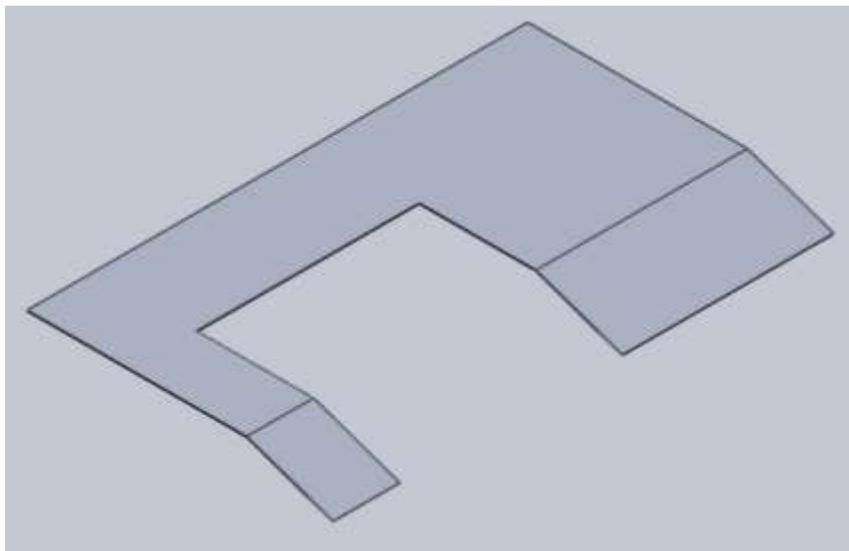


Fig. 20. Tapa Bancada.

Elaboración: El autor

Utilizando el software SolidWorks, se analiza mediante el método de elementos finitos. El procedimiento a realizar será ir probando diferentes fuerzas hasta llegar a una fuerza donde el factor de seguridad sea lo más cercano a 1, lo que significa que no habrá deformación permanente en la tapa de la bancada.

La banca de la máquina es del material alucobond de 4 mm, pero ya que ese material no existe en el software SolidWorks, solo vamos a considerar solo la parte de aluminio del material, entonces se considerara 2 mm de aluminio 1060 como se ve en la figura 21.

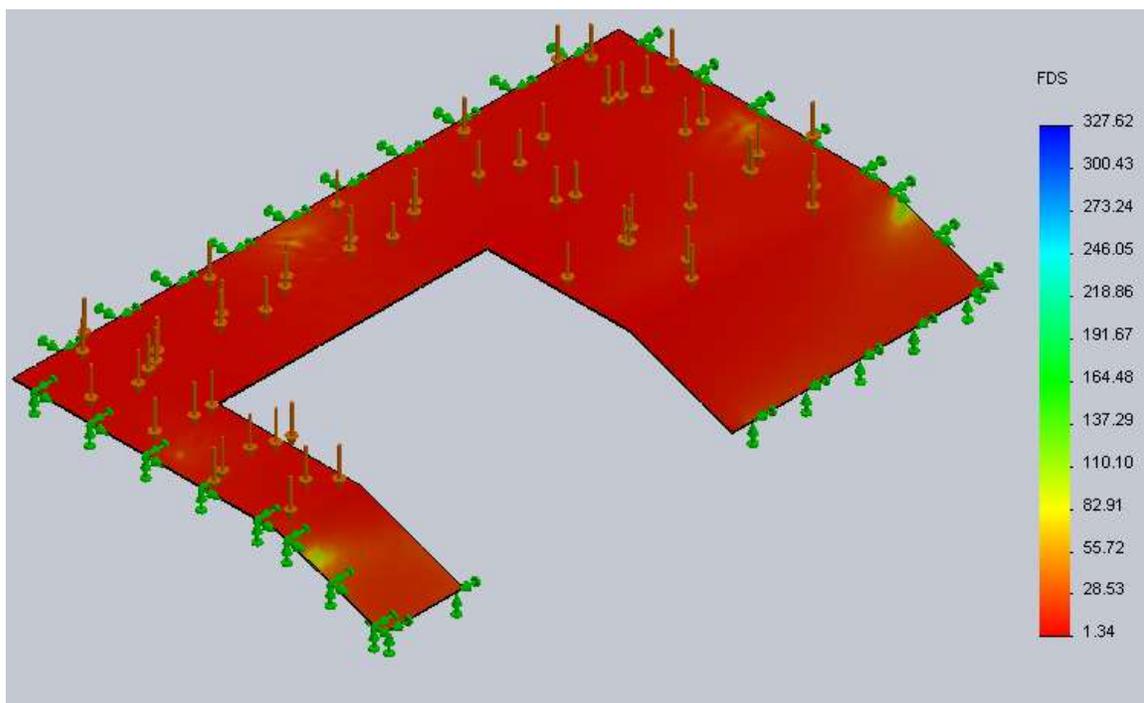


Fig. 21. Factor de seguridad en tapa de bancada.

Elaboración: El autor

Según el análisis de elementos finitos, la fuerza que soportaría la tapa de la bancada sin una deformación permanente es de 150 N (15,3 kg).

3.6 SELECCIÓN PLACA ELECTRÓNICA

La placa controladora que se va a utilizar es la MS 10105 V4.5 (Fig. 22) de la casa moshisoft la cual fue seleccionada en el capítulo 2, cumpliendo con todos los requerimientos necesarios que son manejo de dos motores paso a paso, manejo de la fuente láser, dos señales de entrada para la ubicación de los motores y la entrada USB para conexión a la computadora. Esta placa controladora nos da la ventaja de que es eficiente ya que es especializada en el manejo de máquinas CNC.



Fig. 22. Placa electrónica MS 10105 V4.5 MOSHI

Fuente: <http://www.moshisoft.com/ms10105.htm>.

Especificaciones:

Tabla. 15. Especificaciones placa controladora MS 10105 Moshisoft

Placa Controladora	
MS 10105 Moshisoft	
Amperaje	2.0 A
Voltaje	24 V
Velocidad de grabado	1-60 cm/s
Velocidad de corte	1-40 mm/s
Medidas	109x141 mm

Elaboración: El autor

3.6.1 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLACA MOSHI MS10105:

En la figura 23 se mostrara el diagrama de funcionamiento con sus elementos de la placa Moshi MS10105.

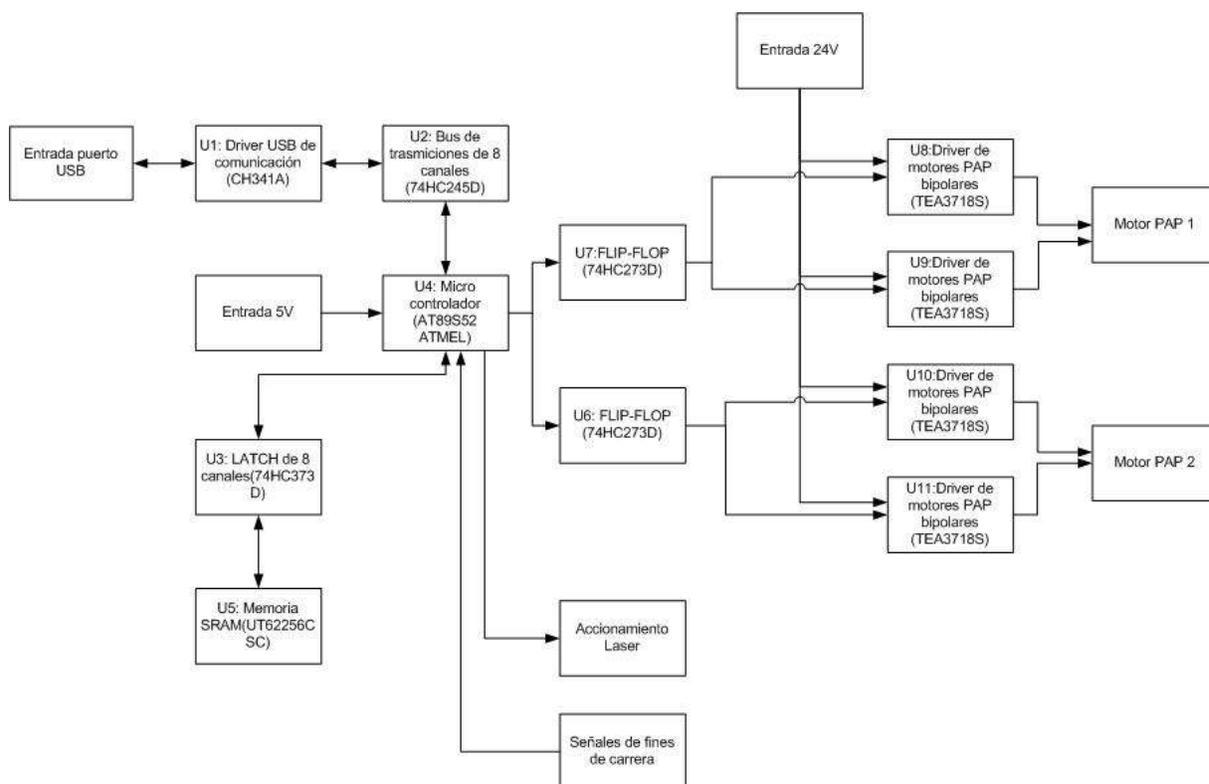


Fig. 23. Diagrama de funcionamiento de la placa Moshi.

Elaboración: El autor.

3.6.2 DIAGRAMA ELÉCTRICO DE CONEXIONES

En la figura 24 nos indica las conexiones para la máquina.

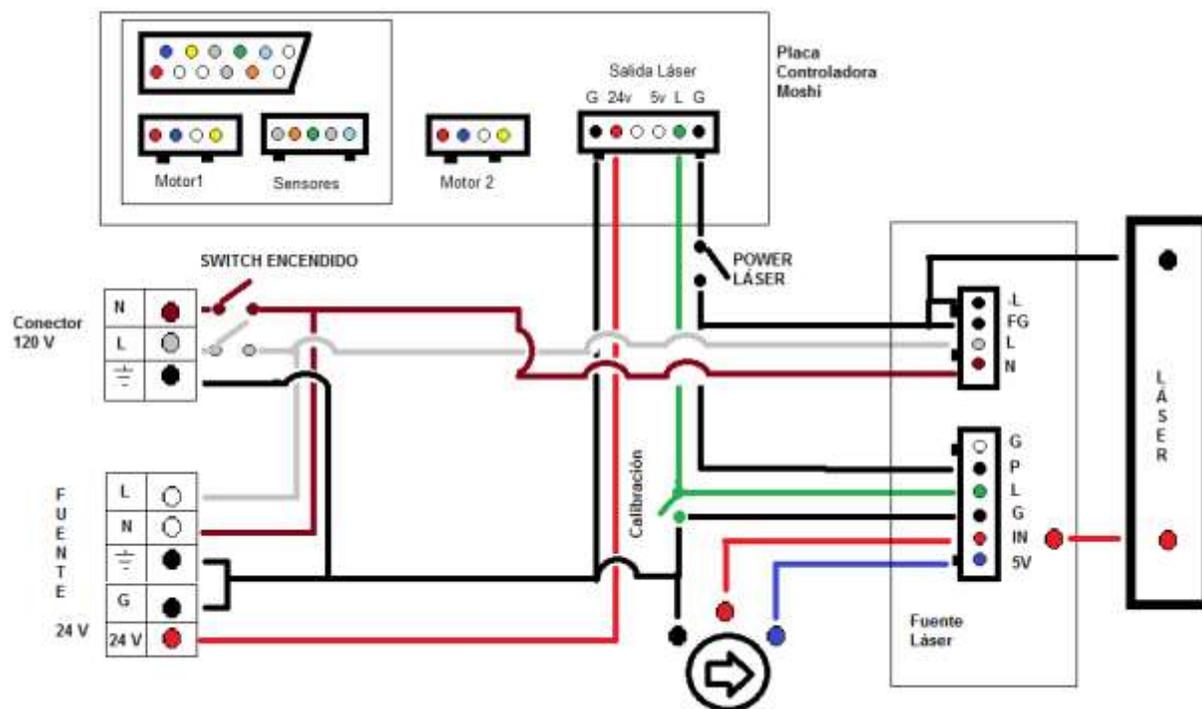


Fig. 24. Diagrama eléctrico de conexiones

Elaboración: El autor.

3.6.2 DISEÑO DE PLACA ELECTRONICA DE SENSORES:

Se diseñó una placa electrónica de conexiones de los sensores, en la cual van los sensores para el posicionamiento de la máquina en el punto cero máquina, esta placa está constituida por dos sensores (Fines de carrera) y la conexión para un motor que es el del eje X.

En la figura 25 se muestra el circuito electrónico y la placa.

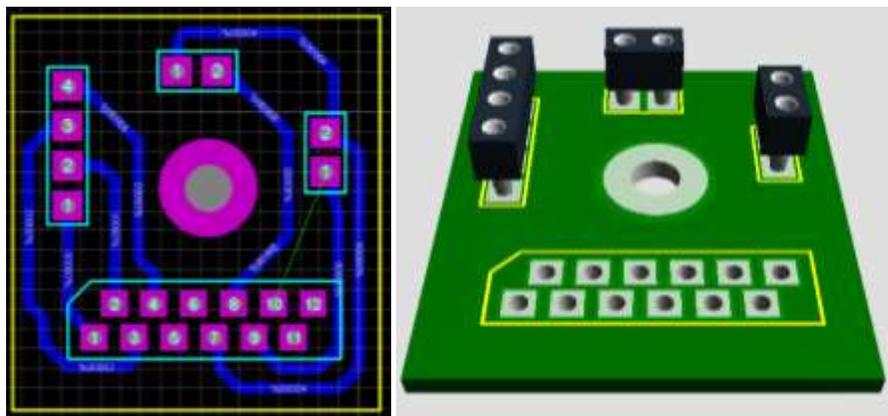


Fig. 25. Placa electrónica de sensores.

Elaboración: El autor.

3.7 SOFTWARE MOSHIDRAW

El software Moshi Draw es un software CAD/CAM, la parte del CAD permite el diseño de las piezas que se desean realizar, la parte del CAM extrae automáticamente la información de los dibujos CAD generando la conversión a instrucciones que se agrupan en códigos G y códigos M, estas instrucciones están estandarizadas por la normas ISO, trasmitiéndolas a la placa electrónica la cual las procesa y efectúa los movimientos de la máquina.

Se descarga el software MoshiDraw 2014 o 2013 de la siguiente página <http://www.moshidraw.com/>, una vez descargado se lo ejecuta como administrador y se siguen los pasos de instalación como se indica en el Anexo 6.

Archivos que soporta el software MoshiDraw:

- MDR -Moshidraw2012 file
- MMD -Moshidrfaw2012 model file
- AI -Adobe Illustrator 8 (lines)
- DXF -AUTOCAD R12/R13/R14 (lines)
- PLT -HPGL Plotter (2D)
- BMP -Windows Bitmap
- JPG -JPEG Bitmap
- EMF -Enhanced windows Metafile
- WMF -Windows Metafile

3.7.1. MANEJO DE SOFTWARE MOSHIDRAW

En la siguiente sección se mostrara las herramientas que posee el software MoshiDraw para conocer su manejo.

En la figura 26 se muestra la pantalla inicial del software.

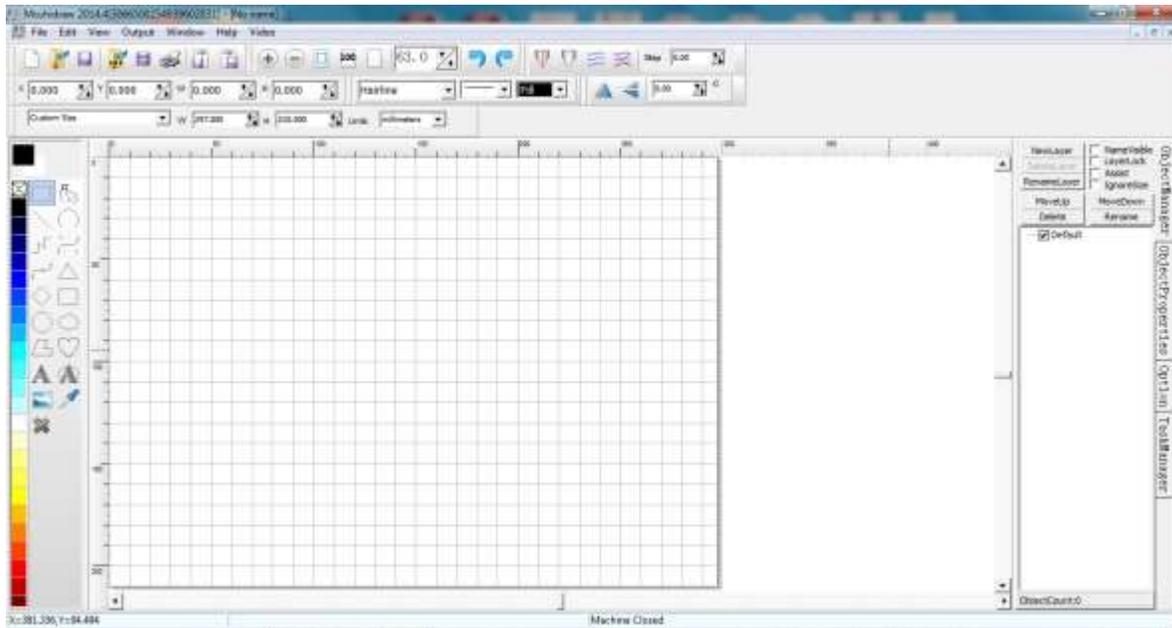


Fig. 26. Pantalla inicial del software.

Elaboración: El autor.

Esta es la barra de herramientas para los archivos y vista el área de trabajo (Fig.27) que posee el software:

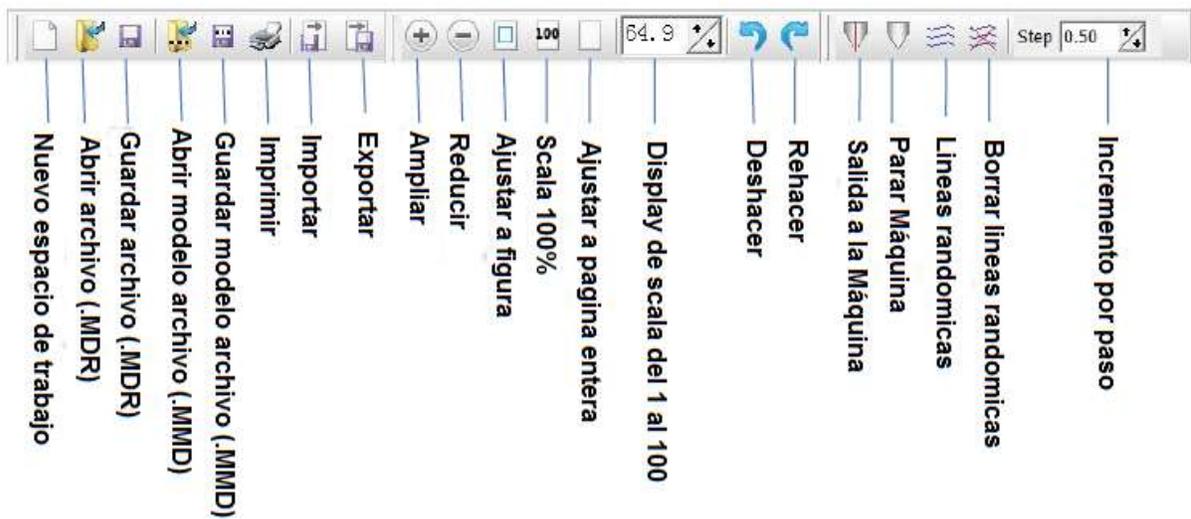


Fig. 27. Herramientas para archivos.

Elaboración: El autor.

Esta es la barra de herramientas para dimensiones y tamaños de línea (Fig.28) para cada diseño.

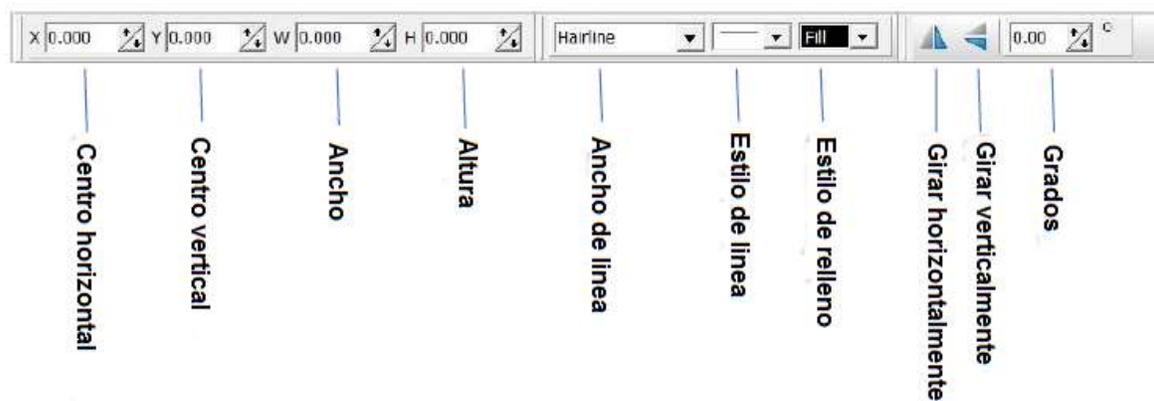


Fig. 28. Herramientas de tamaño.

Elaboración: El autor.

Esta es la barra de herramientas para dimensión del área de trabajo (Fig.29), el área de trabajo de la máquina es de 297*210 mm.

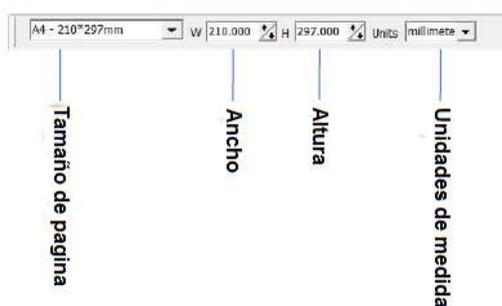


Fig. 29. Herramientas de tamaño de área de trabajo.

Elaboración: El autor.

Esta es la barra de herramientas que posee el software para los diseños (Fig.30):

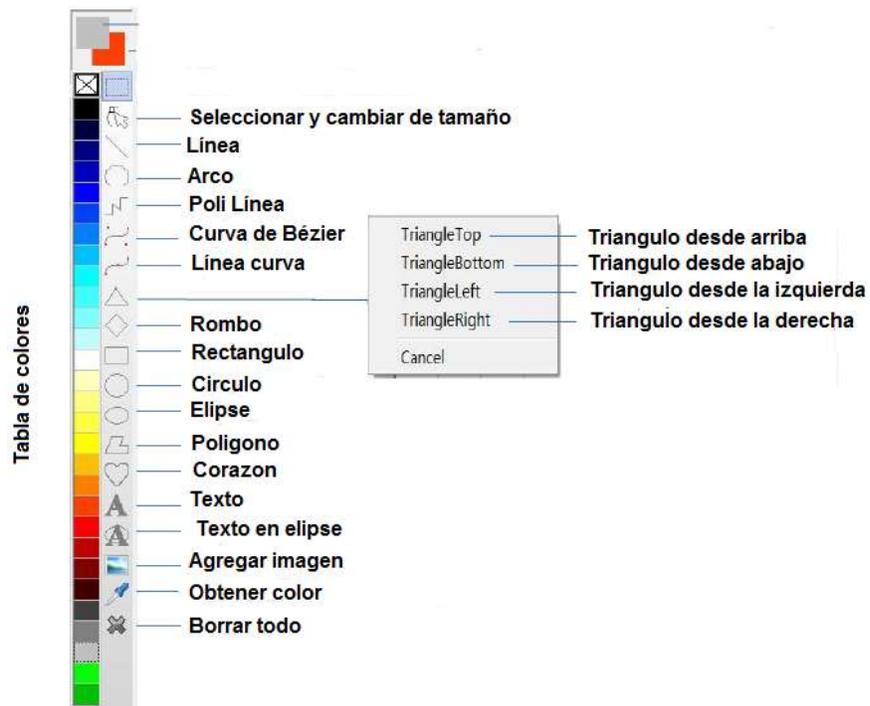
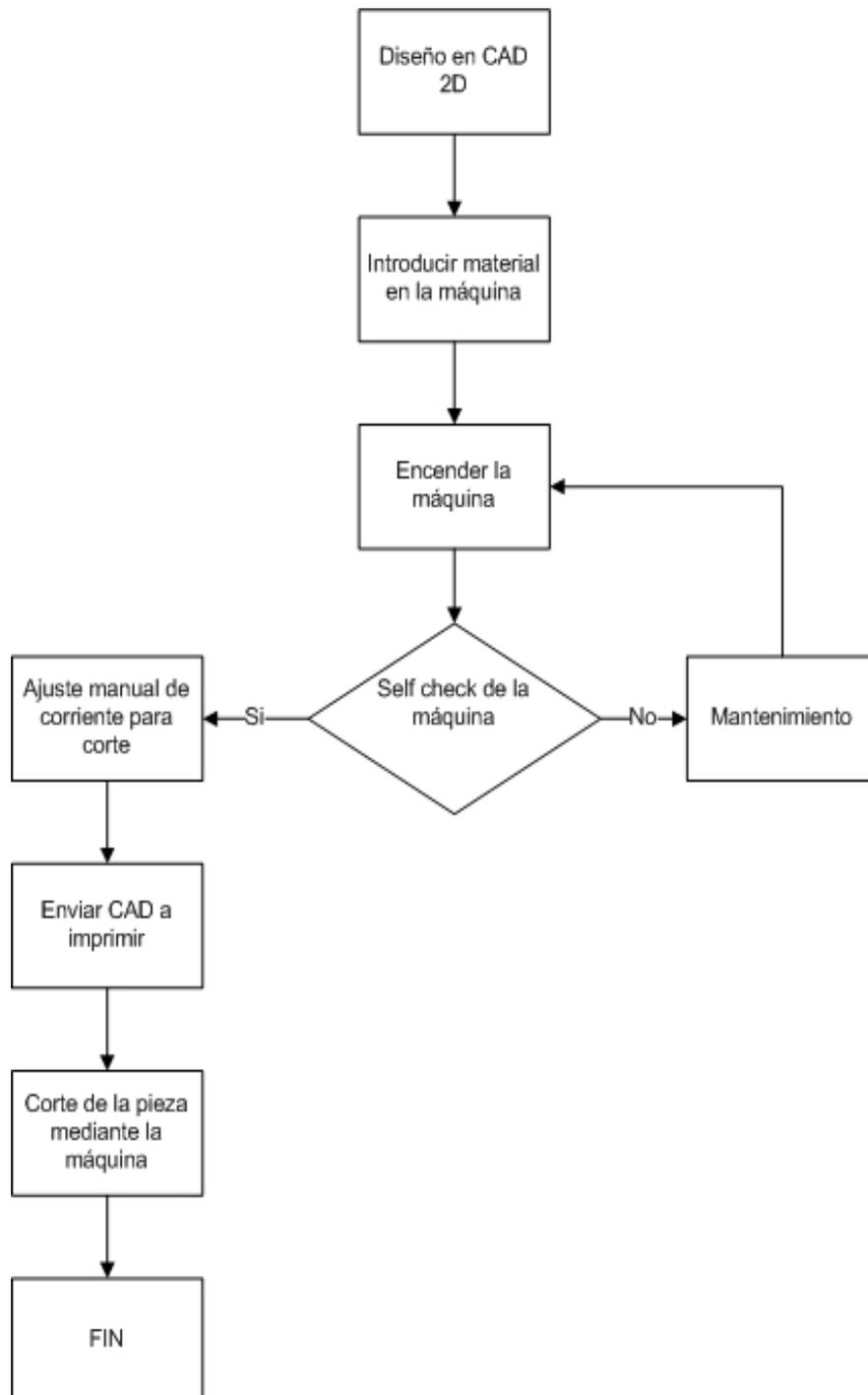


Fig. 30. Herramientas de diseño.

Elaboración: El autor.

3.8 DIAGRAMA DE FLUJO DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA



3.9 PROCESO CONSTRUCTIVO

1. Se procedió a realizar un modelo de la máquina en el software SolidWorks como se aprecia en la figura 31.

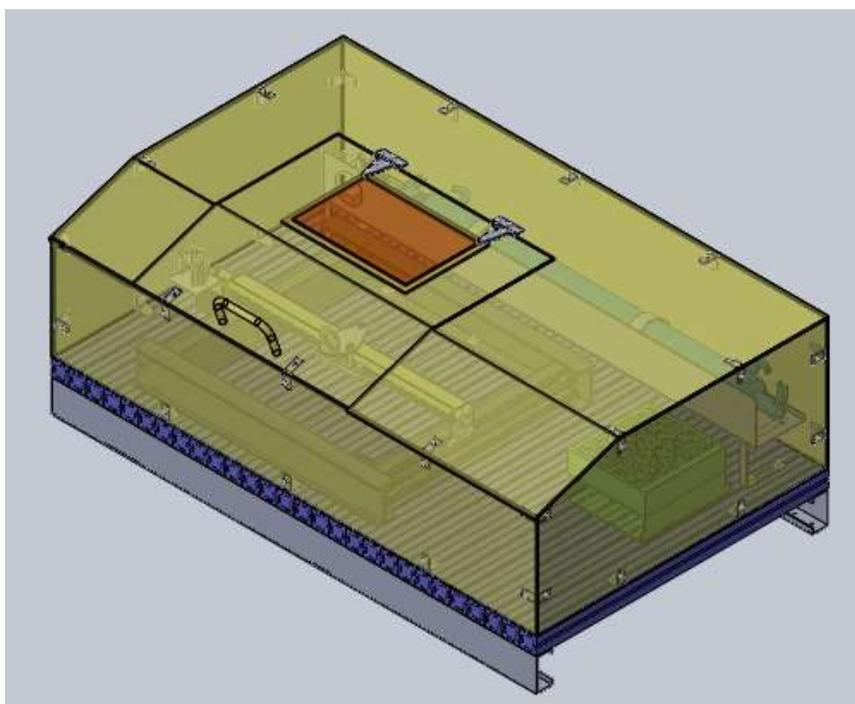


Fig. 31. Modelo de la Máquina CNC Láser

Elaboración: El autor.

2. Se realiza los cortes de los perfiles de aluminio, tanto los perfiles en H, en Ancla y los perfiles base según el diseño previamente mostrado.
3. Cortados los perfiles en H y ancla, se los unió mediante tornillos formando un cuadrado el cual va a ser la base de los ejes de movimiento como se ve la figura 32.



Fig. 32. Base de los ejes de movimiento.

Elaboración: El autor.

4. Se fijó el motor paso a paso para el eje Y, en la parte interior del perfil ancla del lado derecho.
5. Se realizó los agujeros en el perfil H para colocar el tensor, figura 33., para la banda dentada.



Fig. 33. Tensor de la banda dentada

Elaboración: El autor.

6. Como se aprecia en la figura 34, se construyó el otro eje de desplazamiento para el eje X en el cual va el carro de movimiento para el eje X.



Fig. 34. Eje X

Elaboración: El autor.

7. Se fijó el motor paso a paso para el eje X y los rodamientos lineales como se ve en la figura 35..

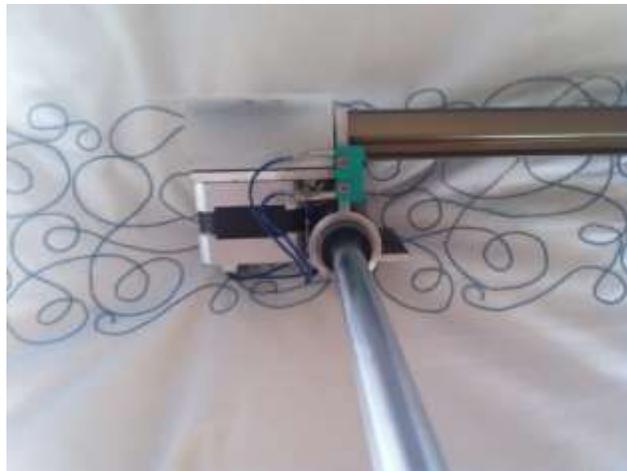


Fig. 35. Fijación de motor y rodamientos lineales.

Elaboración: El autor.

- Una vez construido el eje X, se lo montó con la base del eje Y como se ve en la figura 36, fijándolo en un lado mediante ruedas y en el otro mediante el eje circular el cual brindará estabilidad y evitará el cabeceó.



Fig. 36. Base de movimiento.

Elaboración: El autor.

- Se instalaron los porta espejos (figura 37) y sus espejos respectivamente.



Fig. 37. Porta espejos.

Elaboración: El autor.

10. Se instalaron los fines de carrera para los motores.

11. Ya construido todo lo anteriormente mencionado, se lo monta en la base de la máquina como se ve en la figura 38.



Fig. 38. Ejes de movimiento montados en la base.

Elaboración: El autor.

12. Se realizó la base del láser y se instaló el láser en la misma, a su vez también se instaló el porta espejo como se ve en la figura 39.



Fig. 39. Base láser.

Elaboración: El autor.

13. Se instaló la base del láser en la base de la máquina como se puede apreciar en la figura 40.



Fig. 40. Instalación del láser en la base de la máquina

Elaboración: El autor.

14. Se alineó el láser con la base de los ejes para tener un correcto direccionamiento del láser como se aprecia en la figura 41 y así pueda funcionar a la perfección.

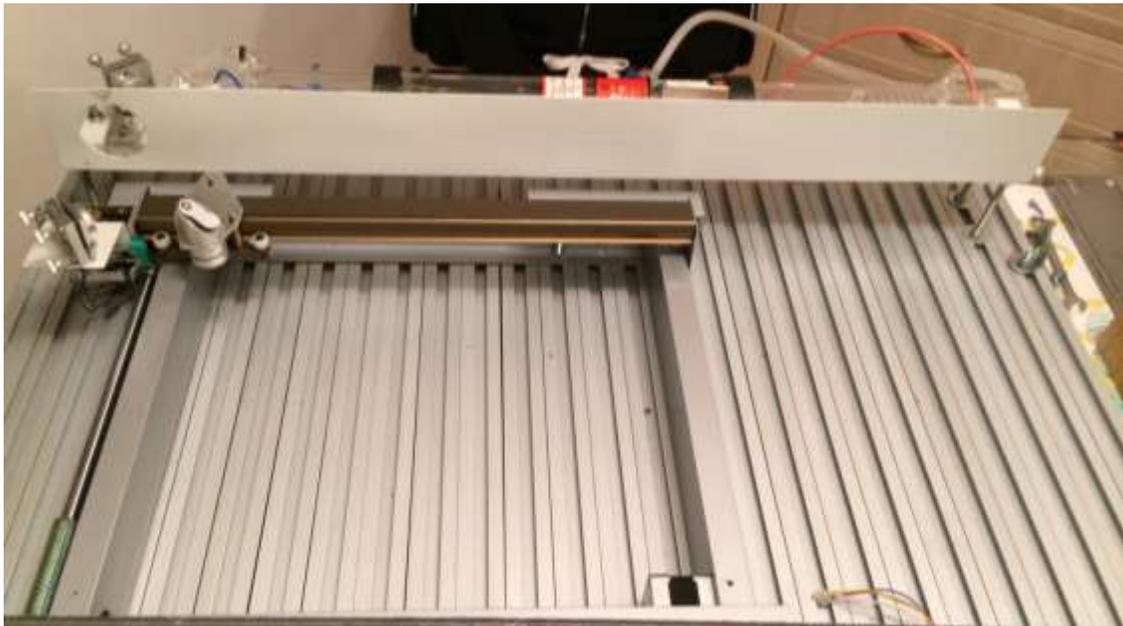


Fig. 41. Alineación de láser.

Elaboración: El autor.

15. Se instaló la parte electrónica del sistema, la misma que consta de: la fuente del láser, la fuente del micro controlador y la placa electrónica de control.
16. Se procede a cortar el material Alucobond para la bancada de acuerdo al diseño previamente mostrado.
17. Se instala las diferentes piezas de Alucobond formando así la bancada de la máquina como se ve en la figura 42.



Fig. 42. Máquina CNC láser.

Elaboración: El autor.

3.10 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Finalizado el proceso constructivo se procede a la realización de pruebas de la máquina las cuales se dividen en 3 fases.

En estas 3 fases de prueba se pretende analizar las variables de voltaje de entrada, velocidades de corte, tolerancia en las piezas y tiempo de funcionamiento de la máquina.

Lo primero que se va a realizar son pruebas de corte para los diferentes anchos de acrílico desde 1mm a 4mm, donde influirá la velocidad de corte y el voltaje de entrada.

Las fases de pruebas se indican en la Tabla.16, se debe tener en cuenta que para las pruebas se mandara a accionar la máquina una sola vez

Tabla. 16.Fases de pruebas.

Primera Fase			
Voltaje de entrada	Velocidad	Resultado	
Segunda fase			
Forma Pieza	Medidas Software	Medidas Pieza	Diferencia
Tercera fase			
Complejidad	Tiempo	Fiabilidad	

Elaboración: El autor.

- Primera Fase: Variando la potencia y la velocidad se observara si el resultado final es un grabado o corte en el material.
- Segunda Fase: Se realiza figuras con medidas especificas en el software, después se realizara el corte y se mediará el error entre la pieza dibujada y la pieza cortada para poder medir la resolución.
- Tercera Fase: Se realiza varias figuras de diferente complejidad observando el correcto funcionamiento de la máquina y midiendo el tiempo que se demora para saber si existe algún error o fallo para poder comprobar la fiabilidad de la máquina.

3.10.1 PRIMERA FASE

Se asignan valores a grabado y corte según Tabla.17 para poder realizar la primera fase del las pruebas:

Tabla. 17.Valores para grabado y corte.

Grabado=	0
Corte=	1

Elaboración: El autor.

A: Se evaluó con velocidades desde 20 mm/s descendiendo hasta 1mm/s

B: Se evaluó con velocidades desde 1 mm/s ascendiendo hasta 20mm/s

- Se realizó las pruebas para acrílico de 1mm como se observa en la Tabla.18:

Tabla. 18.Pruebas para acrílico de 1mm.

Acrílico de 1 mm			B		
A			B		
Potencia (V)	Velocidad (mm/s)	Resultado	Potencia (V)	Velocidad(mm/s)	Resultado
1	20	0	1	1	0
1	19	0	1	2	0
1	18	0	1	3	0
1	17	0	1	4	0
2	16	0	2	5	0
2	15	0	2	6	0
2	14	0	2	7	0
2	13	0	2	8	0
3	12	0	3	9	1
3	11	0	3	10	1
3	10	1	3	11	0
3	9	1	3	12	0
4	8	1	4	13	0
4	7	1	4	14	0
4	6	1	4	15	0
4	5	1	4	16	0
5	4	1	5	17	0
5	3	1	5	18	0
5	2	1	5	19	0
5	1	1	5	20	0

Elaboración: El autor.

Como se puede ver en la Tabla.18, se obtuvo el primer corte de acrílico de 1mm a una velocidad de 10 mm/s y un voltaje de entrada de 3 voltios.

- Se realizó las pruebas para acrílico de 2 mm como se observa en la Tabla.19:

Tabla. 19.Pruebas para acrílico de 2 mm.

Acrílico de 2 mm			B		
A			Potencia (V)	Velocidad(mm/s)	Resultado
	Potencia (V)	Velocidad (mm/s)	Resultado		
	1	20	0	1	1
	1	19	0	1	2
	1	18	0	1	3
	1	17	0	1	4
	2	16	0	2	5
	2	15	0	2	6
	2	14	0	2	7
	2	13	0	2	8
	3	12	0	3	9
	3	11	0	3	10
	3	10	0	3	11
	3	9	0	3	12
	4	8	1	4	13
	4	7	1	4	14
	4	6	1	4	15
	4	5	1	4	16
	5	4	1	5	17
	5	3	1	5	18
	5	2	1	5	19
	5	1	1	5	20

Elaboración: El autor.

Como se puede ver en la Tabla.19, se obtuvo el primer corte de acrílico de 2 mm a una velocidad de 8 mm/s y un voltaje de entrada de 4 voltios.

- Se realizó las pruebas para acrílico de 3 mm como se observa en la Tabla.20:

Tabla. 20. Pruebas para acrílico de 3 mm.

Acrílico de 3 mm			B		
A			Potencia (V)	Velocidad (mm/s)	Resultado
Potencia (V)	Velocidad (mm/s)	Resultado	Potencia (V)	Velocidad (mm/s)	Resultado
1	20	0	1	1	0
1	19	0	1	2	0
1	18	0	1	3	0
1	17	0	1	4	0
2	16	0	2	5	0
2	15	0	2	6	0
2	14	0	2	7	0
2	13	0	2	8	0
3	12	0	3	9	0
3	11	0	3	10	0
3	10	0	3	11	0
3	9	0	3	12	0
4	8	0	4	13	0
4	7	0	4	14	0
4	6	0	4	15	0
4	5	1	4	16	0
5	4	1	5	17	0
5	3	1	5	18	0
5	2	1	5	19	0
5	1	1	5	20	0

Elaboración: El autor.

Como se puede ver en la Tabla.20, se obtuvo el primer corte de acrílico de 3mm a una velocidad de 5 mm/s y un voltaje de entrada de 5 voltios.

- Se realizó las pruebas para acrílico de 4mm como se observa en la Tabla.21:

Tabla. 21. Pruebas para acrílico de 4 mm.

Acrílico de 4 mm			B		
A			Potencia (V)	Velocidad (mm/s)	Resultado
	Potencia (V)	Velocidad (mm/s)	Resultado		
	1	20	0	1	0
	1	19	0	1	0
	1	18	0	1	0
	1	17	0	1	0
	2	16	0	2	0
	2	15	0	2	0
	2	14	0	2	0
	2	13	0	2	0
	3	12	0	3	0
	3	11	0	3	0
	3	10	0	3	0
	3	9	0	3	0
	4	8	0	4	0
	4	7	0	4	0
	4	6	0	4	0
	4	5	0	4	0
	5	4	0	5	0
	5	3	0	5	0
	5	2	0	5	0
	5	1	0	5	0

Elaboración: El autor.

Como se puede ver en la Tabla.21, no se pudo realizar corte de acrílico de 4mm.

Después de efectuar la primera fase de pruebas se aprecia que la velocidad a la cual se efectúa el corte depende del espesor del acrílico logrando cortes desde los 10 mm/s hasta 1 mm/s, también como podemos ver el voltaje de entrada para realizar el corte siempre está entre 4 y 5 voltios promedio.

3.10.2 SEGUNDA FASE

Para esta fase de prueba como se puede ver a continuación en la Tabla.22 se observa que si existe un error especialmente en los espesores de 3 y 4 mm.

Tabla. 22.Segunda fase protocolo de pruebas.

Acrílico de 1 mm			
	Medidas Software (mm)	Medidas Pieza (mm)	Diferencia (mm)
Circulo (Diámetro)	40	40	0
Cuadrado (lxl)	40x40	40x40	0
Triangulo (bxh)	40x40	40x40	0
Acrílico de 2 mm			
	Medidas Software (mm)	Medidas Pieza (mm)	Diferencia (mm)
Circulo (Diámetro)	40	40	0
Cuadrado (lxl)	40x40	40x40	0
Triangulo (bxh)	40x40	40x40	0
Acrílico de 3 mm			
	Medidas Software (mm)	Medidas Pieza (mm)	Diferencia (mm)
Circulo (Diámetro)	40	40,1	0,1
Cuadrado (lxl)	40x40	40,1x40,1	0,1
Triangulo (bxh)	40x40	40,1x40,1	0,1
Acrílico de 4 mm			
	Medidas Software (mm)	Medidas Pieza (mm)	Diferencia (mm)
Circulo (Diámetro)	40	40,3	0,3

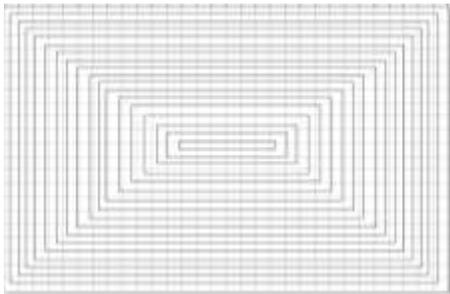
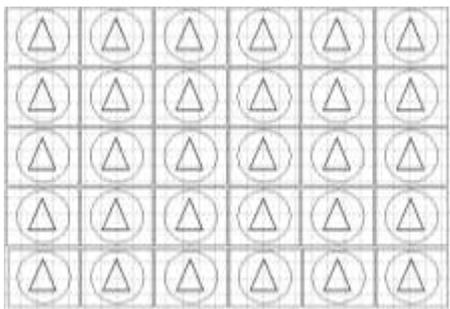
Cuadrado (lxl)	40x40	40,3x40,3	0,3
Triangulo (bxh)	40x40	40,3x40,3	0,3

Elaboración: El autor.

3.10.3 TERCERA FASE

Para esta fase de prueba se realizo a una velocidad de 10 mm/s y acrílico de 2 mm, como se fue ver en la siguiente Tabla 23, la máquina no tuvo problema alguno en un funcionamiento de 31 minutos de accionamiento que fue el máximo tiempo probado.

Tabla. 23.Tercera fase protocolo de pruebas.

Tercera fase		
Complejidad	Tiempo	Error
	16"32'	No hubo error alguno en la máquina.
	31"45'	No hubo error alguno en la máquina.

Elaboración: El autor.

CONCLUSIONES

1. La máquina de control numérico por corte Co₂ láser de 40 Watts logro cortes precisos hasta los 3 mm de acrílico con la resolución deseada.
2. Se diseño y cálculo el sistema de tal forma que pudo realizar cortes en acrílico de hasta 4mm, solo cabe denotar que para la realización de corte en acrílico de 4 mm se tiene que accionar la máquina 2 veces.
3. Analizando los resultados de las pruebas realizadas se puede observar que la resolución deseada de 0,1 mm no pudo ser alcanzada, ya que en al cortar acrílico de 4 mm, debido a su espesor el material se calienta y se deforma haciendo que el corte no sea recto logrando una resolución de 0,3 mm para acrílico de 4mm.
4. El diseño y cálculo de la máquina permite un área de trabajo de las dimensiones de una lamina A4.
5. El software seleccionado MoshiDraw cumple con las expectativas y requerimiento tanto de precisión como de transmisión de datos para el manejo de la máquina.
6. Después de las pruebas realizadas se obtiene como resultado que el voltaje de entrada se debe mantener en 5V y solo ir modificando la velocidad de corte en función del espesor del acrílico, evitando errores humanos ya que la operación del voltaje de entrada es manual y la velocidad de corte solo puede ser modificada mediante software.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la implementación de una base de lente focal 3 que posea enfriamiento por aire, para lograr cortar acrílico de 4mm de espesor con solo un accionamiento de la máquina y lograr una resolución de 0.1 mm.
2. Se debería considerar una placa electrónica que posea mayor entradas de señales para el posicionamiento de los motores y que permita variar el voltaje de entrada de láser mediante software.
3. Se recomienda que la Universidad Internacional del Ecuador desarrolle vínculos con empresas interesadas en inversión, para apoyar y ayudar al estudiante en el desarrollo de los proyectos de titulación, debido que el desarrollo y la implementación de los proyectos tiene un costo alto para los estudiantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. (2006). Control Numérico - CNC - Apuntes de Ingeniería Mecánica. Retrieved November 4, 2013, from http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/controlnumericocnc/.
2. (2013). Universidad de Burgos (Contenido: Equipación de Mecanizado (EM)). Retrieved November 4, 2013, from <http://www.ubu.es/es/investigacion/parque-cientifico-tecnologico/prestaciones-servicio-equipamiento-reservas/equipacion-mecanizado-em>.
3. (2009). Tutorial Máquinas CNC. Retrieved November 5, 2013, from http://electronica.li2.uchile.cl/new/documentacion/CNC/tutorial_CNC.doc.
4. (2011). Apunte de CNC - Apuntes Técnicos para todos. Retrieved November 5, 2013, from <http://juliocorrea.files.wordpress.com/2007/08/apunte-de-cnc.pdf>.
5. Apunte CNC EET6 - San Nicolás. Retrieved November 5, 2013, from <http://www.eet6sannicolas.edu.ar/biblioteca/alumnos/3%20polimodal/Apunte%20CNC%20EET6.pdf>.
6. Hitz, Ewing, Hecht, Introduction to láser Technology, IEEE Press Inc. 3 ed., USA, 2001. Pag. 1.
7. Carlos Hernández García, Benjamín Alonso Fernández, El láser: la luz de nuestro tiempo, Global Ediciones Anthema 1ed., España, 2011, Pag. 56.
8. Aplicaciones del Láser para el mecanizado de materiales - Noticias ... Retrieved November 5, 2013, from <http://www.nibbler.com.ar/news.cgi?accion=vernew&agrp=&skin=Novedades%20Nibbler&id=201>.
9. Alberto Cuesta Arraz, Tecnología láser: Aplicaciones Industriales, Marcombo S.A. 1ed., España, 2011, Pag.14,15.
10. Aplicaciones del Láser para el mecanizado de materiales - Noticias ... Retrieved November 5, 2013, from <http://www.nibbler.com.ar/news.cgi?accion=vernew&agrp=&skin=Novedades%20Nibbler&id=201>.

11. Aplicaciones del Láser para el mecanizado de materiales - Noticias ...
Retrieved November 5, 2013, from
<http://www.nibbler.com.ar/news.cgi?accion=vernew&agrp=&skin=Novedades%20Nibbler&id=201>.
12. (2013). Corte por láser - TRUMPF Spain. Retrieved November 5, 2013, from
<http://www.es.trumpf.com/productos/tecnologia-láser/soluciones/campos-de-aplicacion/corte-por-láser.html>
13. (2010). Tecnologías de corte de chapa - Metalmecánica - Interempresas.
Retrieved November 5, 2013, from
<http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/12110-Tecnologias-de-corte-de-chapa.html>.
14. (2010). La Seguridad con los Rayos Láser. Retrieved Nov 12, 2014, from
<http://www.statefundca.com/safety/safetymeeting/SafetyMeetingTopics.aspx>.
15. (2012). Polimetilmetacrilato | PMMA | metacrilato ... - Vamptech Ibérica.
Retrieved January 21, 2014, from <http://www.vamptech-iberica.com/pmma.php>.
16. (2006). Propiedades del Polimetacrilato de Metilo. Retrieved May 28, 2014,
from <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso04-05/pmma/documentacion/propiedades.htm>.
17. Preguntas frecuentes acerca de los sistemas de ... - Casa Sanchez. Retrieved
January 27, 2014, from http://www.casasanchez.com.ar/preg_frecuentes.htm.
18. (2005). Cienciatecnologia.com - Cienciatecnologia. Retrieved March 4, 2014,
from <http://www.cienciatecnologia.com/>
19. Diccionario de la lengua española | Real Academia Española. Retrieved March
4, 2014, from <http://www.rae.es/recursos/diccionarios/drae>.
20. (2008). automatizado - Definición - WordReference.com. Retrieved March 4,
2014, from <http://www.wordreference.com/definicion/automatizado>.
21. (2010). Definición de Manufactura » Concepto en Definición ABC. Retrieved
March 4, 2014, from <http://www.definicionabc.com/general/manufactura.php>.
22. (2008). Espectro electromagnético - Espectrometria .com. Retrieved March 23,
2014, from http://www.espectrometria.com/espectro_electromagtico.

23. (2011). Diseño concurrente - Carles Riba Romeva - Google Books. Retrieved March 4, 2014, from http://books.google.com/books/about/Dise%C3%B1o_concurrente.html?id=leaPng4UWdgC.
24. (2011). Diseño concurrente - Carles Riba Romeva - Google Books. Retrieved March 4, 2014, from http://books.google.com/books/about/Dise%C3%B1o_concurrente.html?id=leaPng4UWdgC.
25. (2011). Diseño concurrente - Carles Riba Romeva - Google Books. Retrieved March 4, 2014, from http://books.google.com/books/about/Dise%C3%B1o_concurrente.html?id=leaPng4UWdgC.
26. (2005). Apendice A - AutomationDirect.com. Retrieved March 4, 2014, from <http://www.automationdirect.com/static/manuals/surestepmanualsp/appxa.pdf>.
27. (2011). Mecánica Experimental para Ciencias e Ingeniería . - Google Books. Retrieved March 21, 2014, from http://books.google.com/books/about/Mec%C3%A1nica_Experimental_para_Ciencias_e_I.html?id=3k39D_MEeVoC.
28. (2011). Mecánica Experimental para Ciencias e Ingeniería . - Google Books. Retrieved March 21, 2014, from http://books.google.com/books/about/Mec%C3%A1nica_Experimental_para_Ciencias_e_I.html?id=3k39D_MEeVoC.
29. Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos*. Pearson Educacion.
30. Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos*. Pearson Educacion.
31. (2010). NTE INEN 1 374 - Aseplas. Retrieved March 21, 2014, from <http://www.aseplas.org/contenido/servicios/INEN/1744.pdf>.

ANEXOS

ANEXO 1. Máquina VLS 3.50

UNIVERSAL
LASER SYSTEMS

VLS Desktop Series

Laser Technology on Your Desktop

The VLS 2.30 and 3.50 desktop lasers are the easiest ways to get started with laser technology. Roughly the size of a printer, a VLS desktop laser packs sophisticated laser processing capabilities into an attractive, durable package. An optional computer-controlled air cleaner cart is available that allows a VLS desktop laser to be used without a dedicated exhaust system, making installation and operation even simpler. The ease of use and small footprint of the VLS desktop laser makes it easy to fit laser technology into your business, whatever it might be.



Choice of five colors

System Specifications

	VLS2.30	VLS3.50
▶ Work Surface Area ¹	16 x 12 in (406 x 305 mm)	24 x 12 in (610 x 305 mm)
▶ Maximum Part Size ²	18.75 x 14.6 x 4 in (476 x 370 x 102 mm)	26.75 x 14.6 x 4 in (679 x 370 x 102 mm)
▶ Dimensions ³	26 x 14 x 25 in (660 x 356 x 635 mm)	34 x 14 x 25 in (864 x 356 x 635 mm)
▶ Rotary Capacity	Max Diameter 5 in (127 mm) with 1.5 in (38.1 mm) lens Min Diameter 1 in (25.4 mm) with 2 in (50.8 mm) lens	
▶ Motorized Z Axis Lifting Capacity	20 lbs (9 kg)	
▶ Available Focus Lenses	1.5 in (38 mm) 2.0 in (51 mm) *standard	
▶ Laser Platform Interface Panel	Five button keypad	
▶ Operating System Compatibility	Requires a dedicated PC to operate. Compatible with Windows XP/Vista/7 – 32/64 bit	
▶ PC Connection	USB 2.0	
▶ Cabinet Style	Desktop	
▶ Optics Protection	Plumbed for compressed-air-based optics protection	
▶ Laser Options	10, 25, 30 Watts	10, 25, 30, 40, 50 Watts
▶ Approximate Weight ⁴	70 lbs (32 kg)	95 lbs (43 kg)
▶ Power Requirements	110V/10A; 220V-240V/5A	
▶ Exhaust Connection	One 3 in (76 mm) port 150 CFM @ 6 in static pressure (255 m ³ /hr at 1.5 kPa)	One 3 in (76 mm) port 250 CFM @ 6 in static pressure (425 m ³ /hr at 1.5 kPa)

Fuente: http://www.ulsinc.com/downloads/spec-sheets/VLS_desktop.pdf

ANEXO 2. Máquina 40W CO2 Deluxe Hobby Láser

40W CO2 Deluxe Hobby Laser

Sku: 40wdeluxe

Email to a Friend

Be the first to review this product

Availability: In stock



Product Overview	Technical Specs	Options	Tags
Engraving Area	9.5" x 14.5"		
Work Area	12.5" x 16"		
Machine Dimensions	31.5"x20"x12"		
Laser Type	Sealed CO2 laser tube		
Net Weight	70 lbs		
Laser Power	40W Peak (30-35W Average)		
Power Supply	AC 110V Native (220V Option Available)		
Gross Power	Less than 1000W		
Driving System	Stepper		
Cooling Mode	Water-cooling and protection system		
Operating Temperature	0 - 45°C		
Z table	Manual Z, 2.75" (3.25" with 1.5" FL Lens)		
Auxillary Equipments	Exhaust-fans, Air-exhaust pipe		
Controlling Software	RetinaEngrave USB Direct Print Drivers (100% USA Software)		

Fuente: <http://fslaser.com/40w-deluxe-hobby-laser-engraver-and-cutter>

ANEXO 3. Especificaciones técnicas motor Nema 17

Specifications

NEMA 17 Motor

Electrical

Step angle 1.8 deg
 Steps per revolution 200
 Angular accuracy ±3%
 Phases 2

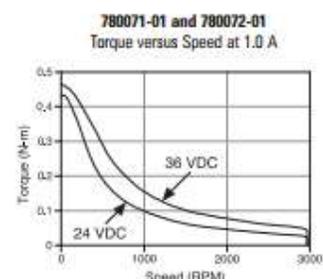
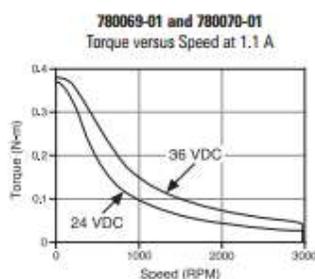
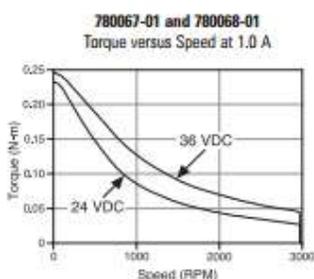
Industry Standards

Industrial standards CE, UR
 Sealing standard IP40
 RoHS compliance Yes

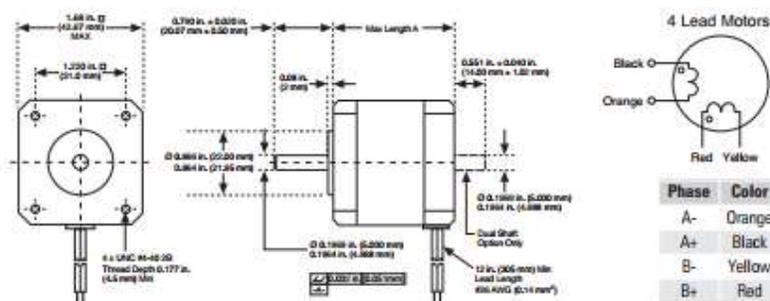
Physical

Operating temperature -20 to 40 °C
 Shaft load (20,000 hours at 1,500 rpm)
 Radial 15 lb (6.8 kg) at shaft center
 Axial push 6 lb (2.7 kg)
 Axial pull 15 lb (6.8 kg)

Torque versus Speed



Dimensions and Wiring



NI Part Number	Manufacturer Part Number	Dual Shaft	Max Length A in. (mm)	Net Weight lb (kg)
780067-01	CTP10ELF10MAA00	—	1.37 (34.7)	0.441 (0.200)
780068-01	CTP10ELF10MMA00	✓		
780069-01	CTP11ELF11MAA00	—	1.61 (40.9)	0.573 (0.260)
780070-01	CTP11ELF11MMA00	✓		
780071-01	CTP12ELF10MAA00	—	1.92 (48.8)	0.750 (0.340)
780072-01	CTP12ELF10MMA00	✓		

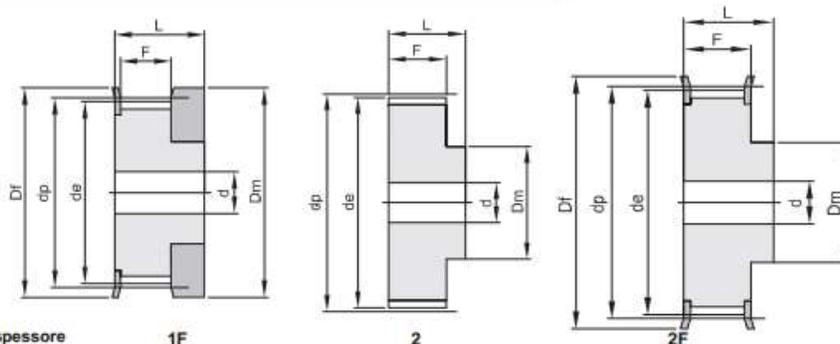
Fuente: http://www.ni.com/pdf/products/us/cat_steppersandencoders.pdf

ANEXO 4. Polea dentada

POLEAS DENTADAS ESTÁNDAR ISO 5294 MXL

MXL 025
PASSO 0,80" (2,032 mm)
PER CINGHIE LARGHEZZA 1/4" (6,35 mm)

Material: Aluminio UNI 9006 - T6 (Al)
 adatto per l'ossidazione dura a spessore

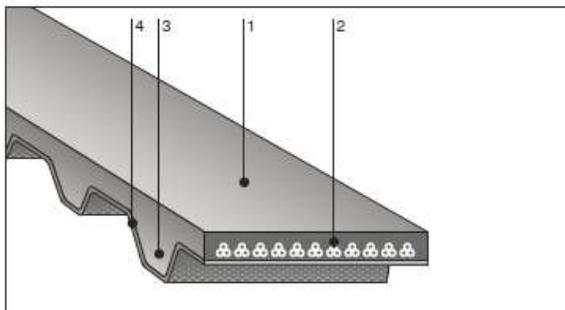


codice	tipo	material	denti	dp	de	Df	Dm	F	L	d	n° flangia	Kg.
16 MXL 025	1F	Al	16	10,35	9,84	15	15	8,5	16		101	0,01
18 MXL 025	1F	Al	18	11,64	11,13	16	16	8,5	16		102	0,01
20 MXL 025	1F	Al	20	12,94	12,43	16	16	8,5	16		102	0,01
22 MXL 025	2F	Al	22	14,23	13,72	18	10	11	16	3	104	0,01
24 MXL 025	2F	Al	24	15,52	15,02	18	10	11	16	3	104	0,01
28 MXL 025	2F	Al	28	18,11	17,60	23	11	11	16	3	107	0,01
30 MXL 025	2F	Al	30	19,40	18,90	23	12	11	16	4	107	0,02
32 MXL 025	2F	Al	32	20,70	20,19	25	14	11	16	4	108	0,02
36 MXL 025	2F	Al	36	23,29	22,78	28	16	11	16	4	109	0,02
40 MXL 025	2F	Al	40	25,87	25,36	32	18	11	16	4	110	0,03
42 MXL 025	2F	Al	42	27,17	26,66	32	18	11	16	5	110	0,03
44 MXL 025	2F	Al	44	28,46	27,95	36	18	11	16	5	111	0,03
48 MXL 025	2	Al	48	31,05	30,54		20	11	16	5		0,03
60 MXL 025	2	Al	60	38,81	38,30		24	11	16	5		0,04
72 MXL 025	2	Al	72	46,57	46,06		25	11	16	6		0,05

Fuente: http://transmisionesjpa.com/pdf/poleas_positivas_ciegas.pdf

ANEXO 5. Correa dentada.

BANDO SYNCHRONOUS BELTS



Construction

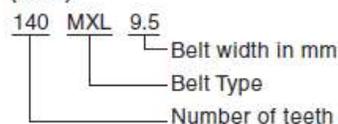
- 1: Chloroprene rubber backing.
- 2: Glass Fiber tensile member.
- 3: Chloroprene rubber tooth.
- 4: Nylon canvas

Features

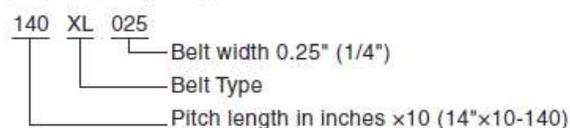
- Non-slip
Accurate tooth dimensions and minimal elongation virtually eliminate slippage and speed variation.
- No maintenance
No lubrication is required.
- No high initial tension, thus keeping the bearing load very low.
- Space saving
Utilizes small pulleys and short center distances.

Size mark

(MXL)



(XL, L, H, XH, XXH)



Standard Belt Width

Nominal Width	BELT WIDTH													
			025	031	037	050	075	100	150	200	300	400	500	600
	Inch	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2	3/4	1	1-1/2	2	3	4	5	6
mm	4.8	6.4	7.9	9.5	12.7	19.0	25.4	38.1	50.8	76.2	101.6	127.0	152.4	
MXL	●	●	●		●	●								
XL			●	●	●	●	●	●	●	●				
L						●	●	●	●	●				
H							●	●	●	●	●			
XH									●	●	●	●	●	●
XXH										●	●	●	●	●

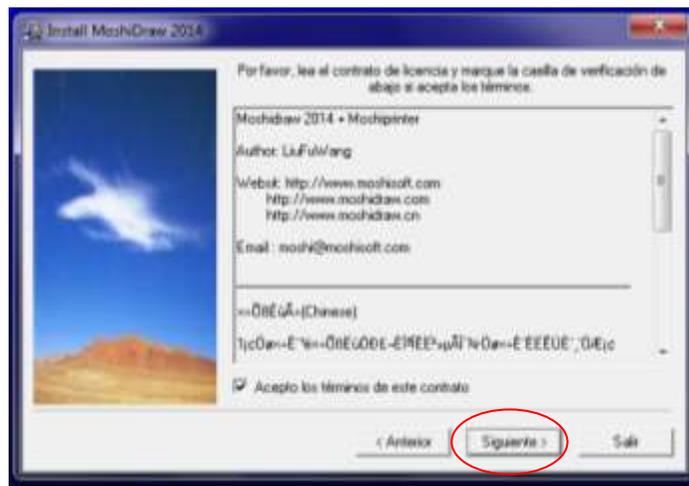
Fuente: <http://www.wedatransmisiones.com/productos/correas-industriales/dentada-caucho/gzr-pic-02.pdf>

ANEXO 6. Pasos de instalación del software Moshi Draw.

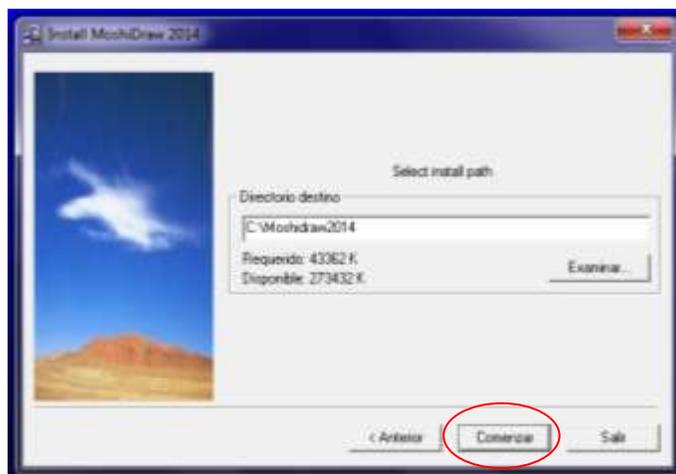
Se selecciona el idioma para la instalación y se hace click en siguiente.



El siguiente paso es dar un visto en el check box de “Acepto los términos de contrato” y hacer click en siguiente.



El siguiente paso es seleccionar en la ubicación en donde se quiere instalar el software, examinamos la ubicación y damos click en comenzar.



El siguiente paso es esperar que se realice la instalación del software.



Y finalmente ya instalado el software solo se da click en aceptar y estaríamos listos para empezar a trabajar con el software.

