

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



## FACULTAD DE INGENIERÍA DIVISION DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL

Sistema de posicionamiento de un cortador fibra láser con  
aplicación biomédica

### T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECATRÓNICO

PRESENTA:

BENITEZ ROMERO JOEL ANTONIO

DIRECTORA DE TESIS:

M. I. Livier Báez Rivas

Ciudad Universitaria, CDMX



2016



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# ÍNDICE

Objetivo.....	3
Alcances .....	3
Introducción.....	4
Capítulo 1. Marco teórico y Estado de Arte .....	6
Capítulo 2. Necesidades, Requerimientos y Especificaciones .....	45
Capítulo 3. Diseño de Configuración .....	50
Capítulo 4. Diseño de Detalle .....	58
Capítulo 5. Pruebas y Resultados .....	79
Conclusiones.....	91
Trabajo a futuro .....	92
Referencias .....	93

## **OBJETIVO**

Diseño de un sistema de posicionamiento en tres ejes de un cortador fibra láser, para perfiles complejos con aplicación biomédica.

## **ALCANCES**

- Diseño e implementación de estructura mecánica con tres ejes: X, Y y rotacional
- Diseño de interfaz en plataforma Motion Assistant de National Instruments y Mach 3 (Plataforma para máquinas de control numérico)
- Corte de soportes con aplicación biomédica en material metálico
- Pruebas en perfiles tubulares de materiales diversos (madera, papel y polímeros)

## INTRODUCCIÓN.

Actualmente en México los padecimientos cardiacos son la principal causa de muerte de la población, con una tasa anual de fallecimientos de un cuarto de millón de personas [Instituto Nacional de Salud Pública, Webmaster, 23/sept/2013]; esto nos lleva a la necesidad de implementar nuevos sistemas que ayuden y propongan soluciones a este tipo de problemas en el país.

El proyecto fue realizado en el Instituto Nacional de Cardiología “Ignacio Chávez”, en la Ciudad de México, en el departamento de biotécnica Aplicada. Para su desarrollo se llevaron a cabo simulaciones y pruebas virtuales de posicionamiento en el software Solid Works.

La propuesta de este proyecto es el desarrollo de un sistema de posicionamiento de un cortador fibra láser para perfiles de componentes o dispositivos que sean de ayuda al área biomédica. Dicho sistema de posicionamiento consta de tres ejes (Eje X, Eje Y y Eje Rotacional) para poder cortar trayectorias determinadas por el usuario y con ayuda de software específicos.

Se realizó un análisis de necesidades para el desarrollo de este proyecto teniendo como resultado que la seguridad del usuario y la precisión del sistema es fundamental para conseguir las metas y objetivos propuestos, con la oportunidad de poder mejorarlo en un futuro (*Ver capítulo 2*).

Dada la configuración de los tres ejes de éste sistema, y sobre todo por el Eje Rotacional, las trayectorias son diseñadas para ser cortadas en perfiles tubulares, pudiendo

ser de diámetro variable, de acuerdo a las necesidades del soporte o dispositivo que se necesite cortar para una aplicación biomédica determinada.

En el proyecto se utilizó tecnología de National Instruments MR que permitió que a su vez este sistema requiriera la aplicación de conocimientos que en la marcha se fueron adquiriendo y poniendo en práctica. Finalmente, y en conjunto con la demás tecnologías y procedimientos que a lo largo del trabajo se describen, se logró obtener un sistema eficiente completo y preciso que cumplió con los objetivos planteados en un inicio del mismo.

Actualmente no existe compañía nacional que se dedique a este proceso como tal, a pesar de que el corte con láser ya tiene tiempo; dichos dispositivos están adquiriendo cada vez más aplicación en nuestros días, por lo que es necesario tenerlos de una manera más rápida y eficaz.

---

## Capítulo 1. Marco teórico y Estado del Arte

---

El Sistema Nacional de Salud enfrenta importantes desafíos, los cambios producidos en el perfil demográfico han originado un proceso de envejecimiento de la población mexicana. Esta situación en paralelo con la adopción de estilos de vida poco saludables y de riesgo, como la falta de actividad física y la nutrición inadecuada, trazan los desafíos que representa el creciente predominio de las enfermedades crónicas no transmisibles como la diabetes mellitus, las enfermedades cardiovasculares, los tumores malignos y las relacionadas con lesiones de causa externa, tal y como lo muestra la siguiente gráfica:

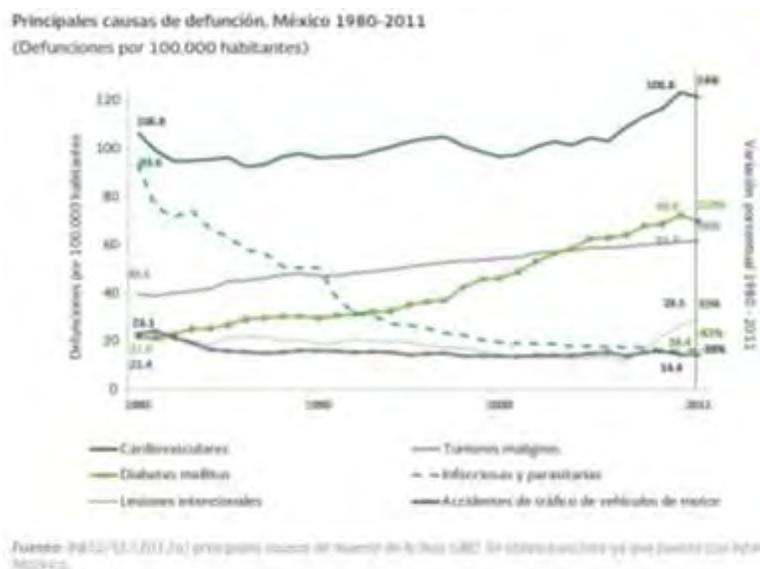


Fig. 1 INEGI 2012, Principales causas de muerte en México

Con lo cual podemos percatarnos que los problemas cardiovasculares son la principal causa de defunción en el país y por ende la prioridad de desarrollar proyectos y sistemas como el que se anuncia en este trabajo para atacar el problema.

La enfermedad coronaria multivaso es una patología en crecimiento que arroja importantes repercusiones en cuanto a morbi-mortalidad en países desarrollados y en vía de

desarrollo. En 2003, la enfermedad coronaria causó una de cada cinco muertes en Estados Unidos y es el principal culpable de muertes en hombres y mujeres en ese país.

Los procedimientos de revascularización coronaria presentan una frecuencia con tendencia creciente; durante ese año y en ese mismo país, se efectuaron 467.000 revascularizaciones por vía quirúrgica y 664.000 por vía percutánea, de las cuales 84% se realizaron con stents. A nivel mundial y en el mismo año, se efectuaron 2 millones de intervenciones coronarias percutáneas. La cirugía de revascularización coronaria y la angioplastia coronaria transluminal percutánea con stent, son en la actualidad métodos aceptados y establecidos de revascularización miocárdica. [1]

### **Sistema de control de posicionamiento.**

Un sistema de posicionamiento XYZ es un sistema mecánico capaz de ubicarse en cualquier punto del espacio dentro de su rango de trabajo. **Para su correcto monitoreo y funcionamiento se usa un sistema de control.**

Un sistema de control es aquel sistema constituido por un conjunto de elementos conectados de forma que permiten regular o gobernar a otro sistema, denominado planta, sistema o proceso. El funcionamiento de un sistema depende de las características e interacciones entre sus elementos.

En todo sistema de control el objetivo principal es mantener la variable a controlar dentro de ciertos límites permisibles por el sistema. En el control de movimiento la variable típica a controlar es la posición.

El aspecto más importante de un sistema es el conocimiento de su dinámica de funcionamiento; un conocimiento preciso de la relación entrada/salida permite predecir la dinámica del sistema y seleccionar la acción de control adecuada para mejorarla. De esta manera, el diseñador, conociendo cual es la dinámica deseada, ajustará la acción de control para conseguir el objetivo final<sup>3</sup>.



Figura 1.4. Sistema general de control.

11

Fig. 2 Sistema General de Control

## Modelo para representación de la posición.

Cuando se está en un espacio es necesario definir un sistema que permita encontrar la posición dentro de él. En el espacio tridimensional existen varios sistemas de coordenadas para este propósito entre los que se encuentran el sistema de coordenadas cilíndricas, sistema de coordenadas esféricas y el más usado y aplicado a nuestro caso el sistema de coordenadas cartesianas.

El sistema cartesiano OXYZ, para un espacio tridimensional, está compuesto por tres vectores perpendiculares entre sí, OX, OY y OZ, con un punto común O. Un punto estará definido por las coordenadas cartesianas (x, y, z) y tendrá asociado un vector  $p(x, y, z)$ , que va desde el origen del sistema hasta el punto. En la siguiente gráfica puede apreciarse un punto representado en un sistema de coordenadas cartesianas OXYZ.

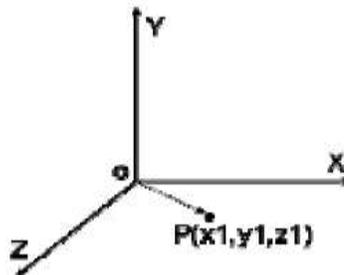


Fig. 3 Punto representado en un sistema de coordenadas cartesianas OXYZ.

Para un correcto funcionamiento de un sistema de posicionamiento es necesario tener plena conciencia de los actuadores que formaran parte de nuestro proyecto y las aplicaciones que pueden tener para poderlos, o no emplear, en las tareas que requerimos<sup>8</sup>.

## **Tecnología Utilizada.**

### **Sistema Mecánico.**

#### **Componentes generales de un sistema de posicionamiento:**

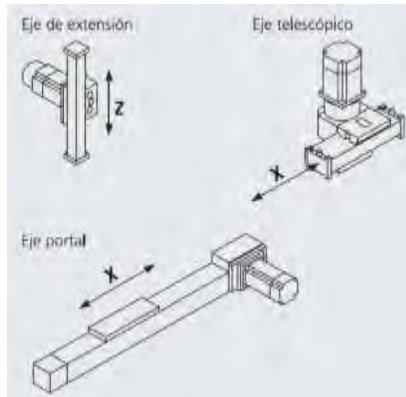
El sistema de posicionamiento, para cualquier sistema, está conformado por diferentes elementos que hacen de éste, un sistema versátil, preciso y eficaz, según la aplicación que se le dé al mismo,

Del acoplamiento de actuadores y controladores de posicionamiento con sistemas de ejes surgen sistemas de gran precisión y rendimiento para la realización de tareas de posicionamiento en uno o varios ejes. Esto ofrece diferentes composiciones.

#### **Módulos lineales:**

Los módulos lineales son sistemas mono eje para movimientos en una dimensión. Existen tres modelos, en función del tipo de movimiento lineal que realizan.

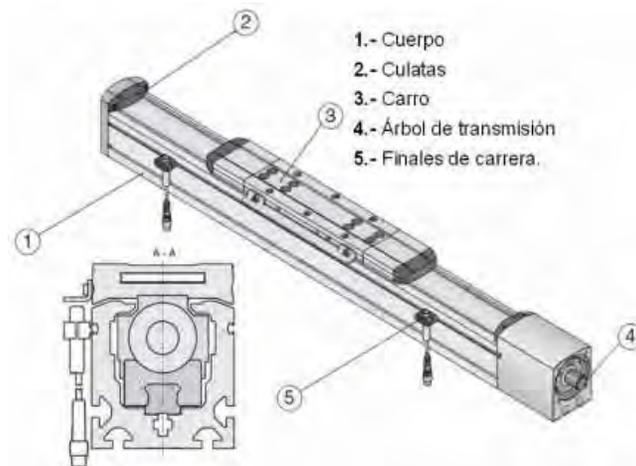
- En el eje portal se mueve sólo el carro. El cuerpo del eje cubre sin moverse el área de trabajo.
- En el eje de extensión se mueve sólo el cuerpo del eje, el cual se introduce en el área de trabajo.
- En el eje telescópico el carro y el cuerpo del eje se mueven fuera de la posición compacta de retracción y se introducen en el área de trabajo.



*Fig. 4 Tipos de módulos lineales*

En el caso de nuestro proyecto usaremos el módulo lineal de eje portal, porque cumple con la función que nuestro sistema requiere.

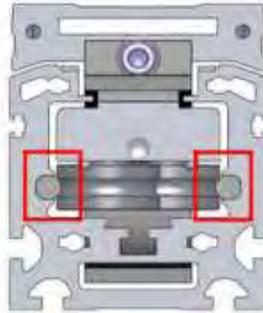
Cada módulo lineal está constituido por diferentes partes, los principales son:



*Fig. 5 Partes generales de un módulo lineal y sección*

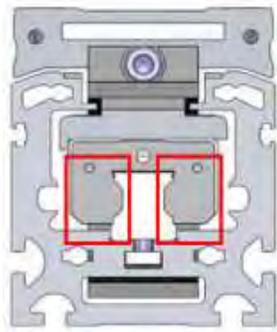
Los módulos lineales poseen una guía interior sin juego, la cual posibilita un diseño compacto que protege contra la suciedad y la influencia de las condiciones ambientales. La guía permite un movimiento silencioso, requiere poco mantenimiento y tiene una vida útil prolongada. Existen dos tipos de guías: Las guías de rodillos o guías de bolas circulantes.

- **Guía de rodillos:** La guía de rodillos sin juego está especialmente diseñada para soportar grandes velocidades.



*Fig. 6 Sección de un módulo lineal de guía de rodillos*

- **Guía de bolas circulantes:** Los módulos lineales que disponen de este tipo de guías supone que el accionamiento es más robusto y resistente a los momentos de inercia y fuerza que genera la carga sobre el carro<sup>10</sup>.



*Fig. 7 Sección de un módulo lineal de guía de bolas*

Por lo tanto, la elección del tipo de módulo lineal vendrá dado por las exigencias de fuerza y momento de inercia que tiene la aplicación.

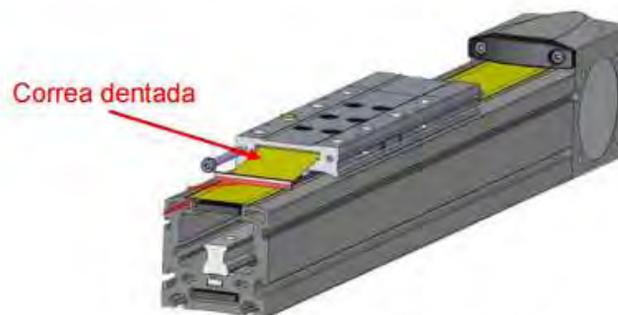


Fig. 8 Datos tipo de fuerzas y momentos de dos ejes de mismo diámetro pero diferentes guías.

También se pueden clasificar los módulos lineales en función del elemento de transmisión de movimiento, este puede ser con correas dentadas o de husillo.

**Correa dentada:** Ofrece una gran fuerza de avance a gran velocidad, dinámicas muy elevadas y carreras útiles mayores que el tipo husillo. Las correas dentadas están hechas de poliuretano con refuerzos de alambre de acero.

Si el módulo lineal se coloca en la posición horizontal, la correa dentada sólo es responsable de la aceleración, mientras que en la posición vertical, este tiene que absorber, adicionalmente fuerzas gravitacionales.



Despiece de módulo lineal de correa dentada

Fig. 9 Correa dentada

**Husillo:** Los módulos lineales de husillo garantizan una gran fuerza de avance manteniendo una gran rigidez, pero en contraposición a una velocidad más baja, la precisión dependerá del paso del husillo.



*Fig. 10 Módulo Lineal de husillo*

Para nuestro sistema usaremos una combinación de los módulos antes expuestos, separados en los dos siguientes componentes:

### **Tornillo de Bolas**

Especialmente indicados para maquinas CNC. La función del conjunto tornillo-tuerca de bolas recirculantes, es la de transformar el movimiento rotativo de los motores en un movimiento lineal de alta precisión y rigidez. Gracias a las tecnologías de fabricación utilizadas, estos productos poseen una gran vida útil bajo las condiciones más severas de trabajo. Alcanzan una eficiencia del 90% en la transformación del movimiento debido al contacto de rodadura entre el tornillo, las bolas y la tuerca. Lo cual implica que el par a utilizar es de aproximadamente un tercio del necesario para transmitir la misma fuerza con tornillos convencionales.



*Fig. 11 Tornillo de esferas recirculantes*

## Guías Lineales

Especialmente indicadas para guiar movimientos lineales de precisión en diversos tipos de máquinas y dispositivos. Conformadas básicamente por un perfil de acero y su correspondiente carro, el cual desliza sobre el primero a través de bolas o rodillos recirculantes. Debido a su ínfimo coeficiente de roce, estos sistemas permiten alcanzar las máximas velocidades de desplazamiento, aplicando fuerzas mínimas. Gracias a las tecnologías de fabricación utilizadas, estos productos poseen una gran vida útil bajo las condiciones más severas de trabajo<sup>11</sup>.



*Fig. 12 Guía Lineal*

## Motores.

Su función es la de transmitir el movimiento a la parte mecánica. Adicionalmente, se puede poner un reductor de diferentes reducciones entre el motor y el árbol de transmisión del eje.

A la hora de escoger el motor hay que tener en cuenta el momento de accionamiento máximo admitido para el árbol de accionamiento del eje. El tipo de motor elegido lo determinará las prestaciones del tipo de aplicación, tres tipologías de motor generalmente utilizadas son:

- Servomotor síncrono AC (Alta dinámica y elevado par máximo)
- Motor DC (Elevado par de retención sin corriente)
- Motor paso a paso (Elevado par de parada continua, buenas propiedades de sincronismo y alta resolución de posicionamiento, pero control lazo abierto).

Para nuestro proyecto usaremos como actuadores el motor paso a paso como se describe a continuación:

### **Motor Paso a Paso**

Denominados motores híbridos paso a paso. Caracterizados por su rotor y estator dentado, incluyendo imanes permanentes en el rotor, magnetizado axialmente alrededor de su eje. Esta configuración constructiva constituye una combinación de dos tecnologías de motores paso a paso: de reluctancia variable, e imán permanente. Este tipo de motores posee una alta precisión y un alto par.



*Fig. 13 Motor paso a paso*

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos.

La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde  $90^\circ$  hasta pequeños movimientos de tan solo  $1.8^\circ$ , es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso ( $90^\circ$ ) y 200 para el segundo caso ( $1.8^\circ$ ), para completar un giro completo de  $360^\circ$ .

Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están energizadas, el motor estará enclavado

en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas<sup>9</sup>.

### **Motores NEMA 23.**

En todo el mundo existen organismos encargados de preparar las normas que definen un producto, proceso o procedimiento referente a uno o varios de los siguientes términos: nomenclatura, composición, construcción, dimensiones, tolerancias, seguridad, características de funcionamiento, rendimiento, calidad, capacidad eléctrica, pruebas y servicio para el que está diseñado

La National Electrical Manufacturers Association (**NEMA**) (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos) es una asociación industrial estadounidense, creada el 1 de septiembre de 1926 tras la fusión de la Associated Manufacturers of Electrical Supplies (Fabricantes de Suministros Eléctricos Asociados) y la Electric Power Club (Club de Potencia Eléctrica). Su sede principal está en el vecindario de Rosslyn, en Arlington (Virginia), y cuenta con más de 400 miembros asociados. Este organismo es el responsable de numerosos estándares industriales comunes usados en el campo de la electricidad.

En Estados Unidos, es la mayor institución nacional en estándares eléctricos, cuyo objetivo principal es facilitar la cooperación entre fabricantes y usuarios de equipos eléctricos. Todos los grandes fabricantes de equipos eléctricos en EE.UU. son miembros de esta asociación.

Las publicaciones de NEMA son bastante más detalladas que las de IEC y sus estándares son más estrictos. [14]

El estándar de NEMA para los soportes de motor se utiliza comúnmente en la industria y asegura que las piezas encajen y estén fácilmente disponibles. El número NEMA está relacionado con el tamaño del motor 10 veces. Así, un motor NEMA 23 es de 2,3 pulgadas de lado por lado. [15].

## Elementos De Sujeción

Los elementos de sujeción en las máquinas herramienta requieren un análisis especial, aun cuando en la presentación de cada máquina se hará especial mención de sus correspondientes sistemas de fijación. En esta parte del curso se presentan de manera general algunas sus principales características. [16]

### Chucks o mandriles

También son conocidos como mordazas de sujeción, en el caso específico del torno existen dos tipos de chucks



*Fig. 14 Chuck genérico*

### Chuck universal e independiente

El Chuck universal se caracteriza porque sus tres mordazas se mueven con una sola llave y en el independiente cada mordaza es ajustada con una entrada de llave independiente.

Dentro de los mandriles para sujeción se pueden ubicar a los broqueros con mango cónico los que tienen la función de sujetar a la broca y su funcionamiento es similar a chuck universal.



Fig. 15 Chuck Universal e independiente

## Sistema Eléctrico.

Para esta parte del proyecto se utilizaron fuentes conmutadas de voltajes específicos, 5, 12, 24 [V], etc. Similares a las que se muestran en la siguiente imagen. [18]. Como se puede apreciar, estas fuentes ya tienen su sistema de blindaje y de enfriamiento interno, sin embargo, para algunos proyectos es necesario adaptar un sistema de ventilación extra de manera externa a las fuentes.



Fig. 16 Fuente conmutada (<http://www.agelectronica.com>)

## Sistema de Control

Existen plataformas que son utilizadas para el control de actuadores y con ello el posicionamiento de un punto en el espacio, dichas plataformas, cómo las que a continuación se presentan, generan sus instrucciones por medio de un código G. A continuación se habla de dos de ellos: Mach 3 y Motion Assistant.

### Mach 3.

#### Controlador Mach 3

Mach 3 es un sistema de control computarizado que permite la comunicación con los motores de un sistema determinado (por lo general CNC) usando una computadora.

Este sistema es accesible y muy fácil de aprender, permitiéndole a muchas empresas automatizar sus máquinas convencionales a CNC o crear sus propias máquinas de control numérico a un bajo costo. Además, este sistema es uno de los controles más versátiles de la industria. Este controlador es completamente compatible con la mayoría de los sistemas CAD-CAM y maquinas en el mercado. [19]

Esta es la pantalla principal de Mach3 Se puede acceder a la misma desde cualquier parte del programa apretando ALT- 1 en el teclado.

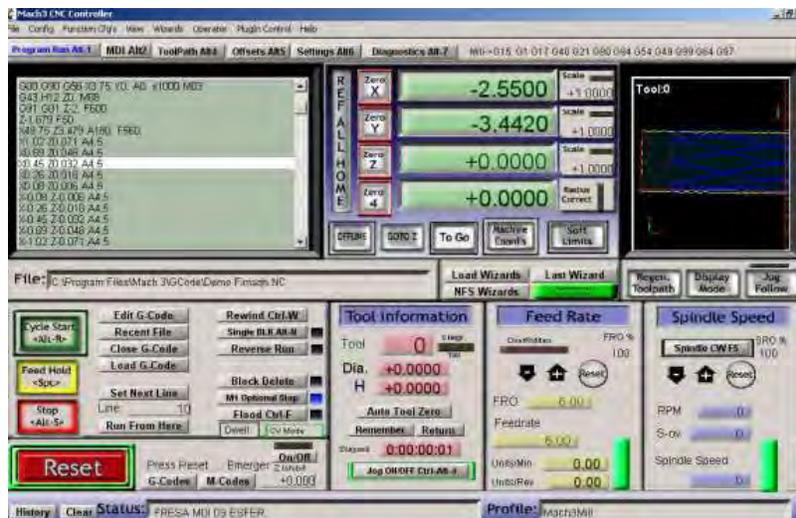


Fig. 18 Pantalla principal de Mach 3 (<http://www.peu.net>)

Al arrancar el programa, el botón de Reset debería estar titilando, lo que indica que el programa no hará mover la maquina hasta tanto se presione este botón y quede de color verde. Para que el botón quede en verde la maquina CNC tiene que estar previamente prendida, con el botón rojo de reset liberado y con los interruptores de fin de carrera sin presionar, caso contrario dará un mensaje de error.

Luego de que Mach3 se encuentre operativo, lo siguiente que hay que hacer es referenciar los ejes para que Mach3 sepa donde se encuentran los cero de la tabla, estos concuerdan con los interruptores de fin de carrera y también serán utilizados por los fines de carrera virtuales (Soft Limits).

## **Sección de control del programa código G**

**Cycle Start:** Inicia el programa que se encuentra cargado, o reinicia uno que fue pausado/parado.

**Feed Hold:** Pausa el programa sin detenerlo

**Stop:** para el programa y el husillo.

**Edit G-Code:** Si hay un programa cargado permite editarlo sin salir de Mach3. Si no hay ninguno, permite crearlo con el bloc de notas.

**Recent File:** Lista de los programas cargados recientemente.

**Close G-Code:** Cierra el programa que se encuentra actualmente cargado.

**Load G-Code:** Carga un programa desde el disco rígido o similar.

**Set Next Line:** Le indica a Mach3 desde que línea queremos arrancar un programa, en caso de no especificarse y el programa fue recién cargado, arranca desde la primera línea. En caso de que el programa haya sido parado durante su ejecución, en el campo Line dirá la línea actual, con Run From Here se memoriza este valor y con Cycle Start se reinicia el programa.

**Rewind:** Rebobina el programa como si lo cargáramos de cero.

**Single BLK:** Permite ejecutar el programa línea por línea, para pasar a la siguiente línea apretar el botón de Cycle Start. Para anular esta opción, volver a apretar este botón, el indicador azul al costado se apagará.

**Reverse Run:** Cuando este botón está activado el programa en lugar de avanzar a la línea siguiente lo hace a la anterior.

**Flood:** Arranca o detiene la bomba de refrigerante.

**G-Codes y M-Codes:** Referencia rápida de los códigos G soportados por el control numérico Mach3. Para volver a la pantalla principal apretar ALT-1 o el botón Program Run en la parte superior de la pantalla.

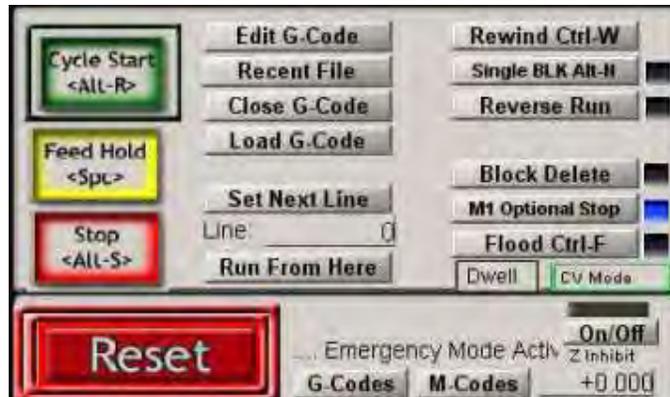


Fig. 19 Control del programa código G (<http://www.peu.net>)

### Sección de posición y estado de los Ejes.

**Ref All Home:** Este botón referencia todos los ejes a cero, es decir, lleva los mismos al extremo indicado por los interruptores de límite de carrera, este es el límite FISICO de la máquina.

**Machine Coord's:** Cuando este botón se encuentra enmarcado en color rojo, significa que estamos viendo la posición absoluta de los ejes. Es importante diferenciar esta posición del cero del trabajo que se va a realizar en la máquina, estas coordenadas, las del trabajo a realizar, se ven cuando el botón Machine Coord's no se encuentra enmarcado en rojo. Una vez que los ejes están referenciados, los botones de cada eje tendrán un recuadro verde.

**Zero X/Y/Z/4:** Estos botones permiten ajustar el cero del trabajo a realizar luego de desplazar la tabla hasta la posición deseada. Estos botones no funcionan cuando el botón Machine Coord's se encuentra en marcado en rojo (posición absoluta de la maquina)

**Offline:** Permite ejecutar el programa cargado pero sin mandarle las instrucciones a la Maquina, es decir, simula la ejecución del programa.

**Goto Z:** Mueve automáticamente los ejes al cero del trabajo.

**Soft Limits:** Activa/Desactiva los fines de carrera virtuales, estos son muy útiles como primer aviso de que estamos llegando a los extremos útiles de los ejes y permiten configurar la desaceleración de los ejes hasta llegar a los interruptores de fin de carrera.

**Scale X/Y/Z:** Permite llevar los valores de cada eje a un valor en escala. Un valor de 0.5 divide por dos los valores del programa para el eje en cuestión.

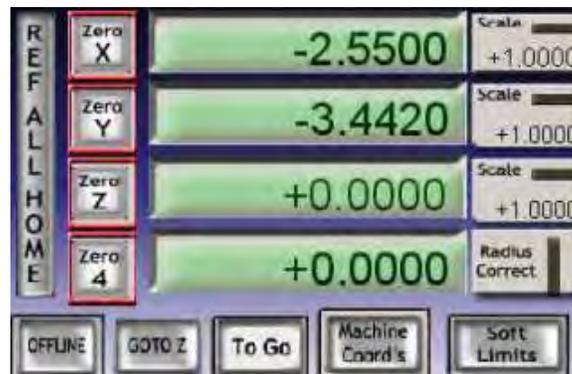


Fig. 20 Sección de posición y estado de ejes (<http://www.peu.net>)

### Sección de avance

**Feedrate:** Permite ingresar un avance para movimientos de corte. Para ingresar un valor, marcar este campo con el Mouse y luego ingresar el valor deseado, luego apretar Retorno en el teclado para confirmarlo, en caso de no hacerlo el valor no quedará registrado.

**FRO:** (Feed Rate Override) este campo muestra el valor del avance actual, en caso que el mismo se haya alterado subiendo o bajando la barrita verde.

**Reset:** Lleva nuevamente el avance al valor ajustado en el campo Feedrate.

**Units/Min:** Mientras se ejecuta un programa, muestra la velocidad actual de avance, este valor varia con las aceleraciones/desaceleraciones.



Fig. 21 Sección de avance (<http://www.peu.net>)

### Visualización del programa

En esta sección vemos una representación visual del programa código G que se encuentra cargado.

**Regen Toolpath:** Cada vez que modifiquemos el cero del trabajo deberemos apretar este botón para regenerar el dibujo para que se posicione correctamente.

**Display Mode:** alterna entre un detalle del trabajo en particular y la visualización del mismo en la mesa de trabajo.

**Jog Follow:** alterna la forma en que se va viendo el trabajo mientras se está realizando. [20]

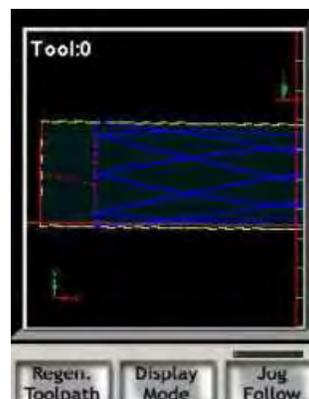


Fig. 22 Visualización del programa (<http://www.peu.net>)

## NI Motion Assistant

NI Motion Assistant acelera el desarrollo y prueba de las aplicaciones de movimiento al brindar un entorno interactivo fácil de usar. Se puede convertir cualquier aplicación desarrollada usando el código C del NI Motion Assistant o VI's de NI LabVIEW para despliegue final de máquinas, eliminando la necesidad de cualquier programación adicional.

El NI Motion Assistant ofrece la habilidad de importar perfiles de movimiento creados en CAD o paquetes de diseño usando formato de archivo DXF. Al usar esta característica con el algoritmo de contornos inteligentes de patente pendiente, es posible implementar perfiles de movimiento precisos para aplicaciones de corte y escritura.

El NI Motion Assistant funciona con controladores de movimiento insertables de National Instruments para control de trayectoria combinada y control de espacio circular, lineal, punto a punto y de vector completamente coordinado.

Ofrece una funcionalidad de contornos inteligentes con un API que se puede llamar desde C, Visual Basic o LabVIEW. El corte inteligente es útil para trabajos en metal y aplicaciones de tipo CNC para las cuales la máquina necesita trazar un contorno diferente cada vez. [21]

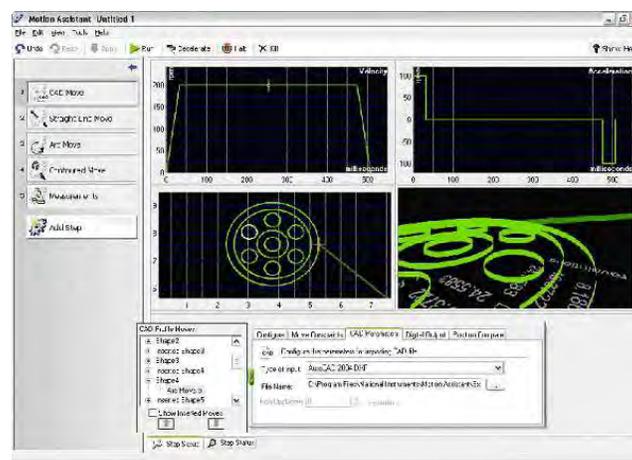


Fig. 23 Interfaz gráfica de Motion Assistant (<http://www.ni.com/white-paper/3718/en/>)

## Sistemas de corte en metales

### Corte de metal por chorro de agua

Para cortar metales como, por ejemplo, titanio, acero, latón y aluminio, el corte por chorro de agua es el método más versátil en comparación con el corte por láser y plasma. El método de corte en mesas de chorro de agua se puede utilizar para cortar metales más gruesos que con el láser (hasta 305 mm/12 pulg.), incluido el titanio y el aluminio, y ofrece mayor precisión que el corte por plasma. Los sistemas de chorro de agua con abrasivo son también más económicos que los sistemas de láser, lo que los convierte en una opción ideal para el corte de metales y acero en el sector de la fabricación.

El corte mediante máquinas de chorro de agua es un proceso en frío, por lo que es ideal para las aplicaciones de automoción, médicas y aeroespaciales, en las que el calor no puede afectar a los materiales. Se puede realizar casi cualquier tipo de corte, desde el uso de mesas de chorro de agua para la perforación rápida de orificios hasta cortes detallados para aplicaciones de automoción.

Los dispositivos de corte por chorro de agua utilizan un aditivo abrasivo para realizar un corte limpio y sin rebabas que no requiere un acabado secundario, lo que permite ahorrar tiempo y dinero. Las máquinas de chorro de agua ofrecen unos de los procesos de corte más versátiles y son ideales para el corte de alto rendimiento de metales, aluminio y titanio. [22].

### **Las principales ventajas del corte por chorro de agua**

- Ninguna deformación de material por calor
- Ningún incremento de dureza del material a lo largo del canto de corte
- Ninguna modificación metalúrgica del material
- Ninguna zona de influencia de calor
- Ningún desarrollo de humos o vapores nocivos para la salud
- Ninguno o sólo poco procesamiento posterior [22].

Las ventajas y desventajas de este tipo de corte, comparadas con el corte en plasma y láser que se mencionaran más adelante, se presentan en la siguiente tabla.

Comparación de procedimientos de corte			
	Corte por chorro de agua	Láser	Plasma
Materiales no metálicos	SÍ	NO	NO
Aplicaciones multicapazas posibles	SÍ	NO	Limitado
Corte de varias capas	SÍ	NO	NO
Materiales compuestos	SÍ	NO	NO
Endurecimiento del material	NO	SÍ	SÍ
Formación de rebaba	MUY REDUCIDO	SÍ	SÍ
Esfuerzo para trabajo posterior	MUY REDUCIDO	SÍ	SÍ
Pérdida de material	MUY REDUCIDO	ALTO	SÍ
Tolerancias	0,1 - 0,3 mm	0,1 mm	0,2 - 0,5 mm
Formación de gases tóxicos	NO	SÍ	SÍ
Espesor máximo de material	< 305 mm	< 25 mm	< 80 mm
Deformación de material	NO	SÍ	SÍ

Tabla. 1 Comparación de los métodos de corte (<http://www.kmt-waterjet.es/cortar-metales-01.aspx>)

## Corte por plasma

El corte por plasma es un proceso que se utiliza para cortar el acero y otros metales de diferentes espesores (en ocasiones se cortan otros materiales) con una antorcha de plasma. En este proceso, un gas inerte es soplado a alta velocidad de una boquilla, al mismo tiempo un arco eléctrico que se forma a través de la boquilla hace posible que el gas lo pase al cuarto estado de la materia, el plasma, el cual logra el corte del metal. El plasma es lo suficientemente caliente para derretir metal haciendo un corte sobre el mismo.

El equipo necesario para aportar esta energía consiste en un generador de alta frecuencia alimentado de energía eléctrica, gas para generar la llama de calentamiento (argón, hidrógeno, nitrógeno), y un porta electrodos y electrodo que dependiendo del gas puede ser de tungsteno, hafnio o circonio.

El corte con plasma a diferencia del oxicorte, tiene un espectro de aplicación sobre materiales más amplio. Especialmente se puede destacar la versatilidad para corte de metales en calibres delgados, con oxicorte no es posible considerando aspectos como la

calidad de corte y el efecto negativo sobre la estructura molecular al verse afectada por las altas temperaturas y metales ferrosos.

Adicionalmente, el corte con plasma es un proceso que brinda mayor productividad toda vez que la velocidad de corte es mayor, dependiendo del calibre del material hasta 6 veces mayor, lo cual entrega una razón de costo-beneficio mejor que el oxicorte [23].



*Fig. 24 Corte por plasma (<http://www.arlam.com.mx/corte-por-plasma/>)*

### **Corte con oxígeno (oxicorte).**

La técnica del oxicorte se presenta como un procedimiento auxiliar de la soldadura, mediante el cual se puede seccionar metales mediante su combustión local y continua en presencia de un chorro de oxígeno.

En condiciones normales, a temperatura ambiente, el acero en la atmósfera sufre un proceso de oxidación, que es lento y no combustible, dado que la proporción de oxígeno en la atmósfera se encuentra aproximadamente en un 20%. No obstante, si esta oxidación se realiza bajo una atmósfera de oxígeno (superior al 88%) y a temperatura que alcance la de combustión del acero (870 °C aprox.), ésta se hace combustible.

Por lo tanto, para que exista oxicrote al metal se le debe calentar (oxidar) bajo una atmósfera adecuada (proyección de oxígeno puro), con lo que se consigue su quemado violento, y por tanto, dará lugar al oxicrote.

El oxicrote tiene buena aplicación en aceros al carbono y aceros de baja aleación. [1.1]

## **Corte de metales por Láser**

### **¿Qué es un Láser?**

La palabra láser es un acrónimo que significa *Light Amplified by Stimulated Emission of Radiation* (Luz amplificada por emisión estimulada de radiación). Un láser es básicamente una fuente de luz. Lo que diferencia a un láser de otras fuentes de luz, como las bombillas, es el mecanismo físico por el que se produce la emisión de luz, que se basa en la emisión estimulada, en contra de la emisión espontánea que es la responsable de la mayor parte de la luz que vemos.

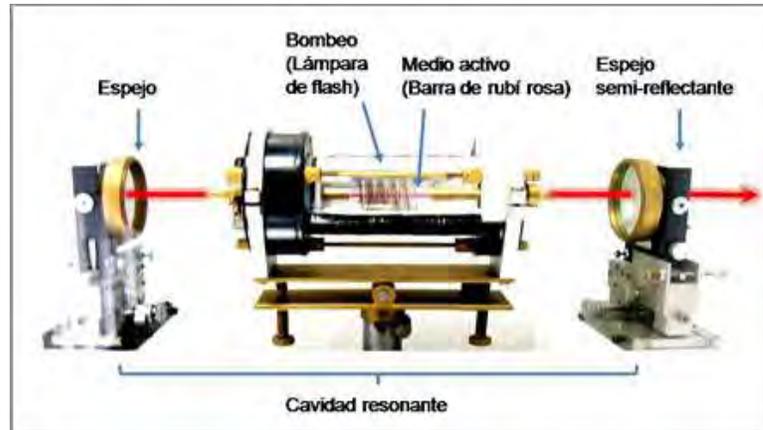
Para entender lo que es la emisión espontánea y la emisión estimulada hay que conocer un poco la física de la interacción de átomos con fotones. Tan solo diremos aquí que este particular mecanismo de emisión confiere a la luz unas propiedades muy interesantes, como son la alta potencia (y su capacidad para ser aplicada), la direccionalidad (emisión en forma de "rayos"), la frecuencia de emisión bien definida (color de la luz), la capacidad de emitirse en pulsos de muy corta duración, y una propiedad llamada coherencia que significa que las onda electromagnéticas que forma el haz de luz marchan "al paso".

### **¿Cómo funciona un láser?**

Cualquier láser contiene al menos tres elementos fundamentales: un medio activo, un sistema de bombeo y una cavidad resonante. El medio activo es el material (sólido, líquido o gaseoso) que emite la luz.

El sistema de bombeo puede consistir en otro láser, una lámpara convencional, o una corriente o descarga eléctrica, dependiendo del tipo de láser. El medio activo se coloca entre dos espejos que forman una cavidad resonante, esto es, la luz rebota entre los dos espejos y

ayuda a la amplificación del mismo modo que la caja de resonancia de una guitarra amplifica las ondas acústicas. Uno de los espejos es semi-reflectante por lo que parte de la luz amplificada sale de la cavidad resonante en forma de haz.



*Fig. 25 Láser de rubí mostrando los componentes básicos de un láser*

### **Corte de metales por CO<sub>2</sub>**

El principal uso del láser de dióxido de carbono es el corte de metales de distintos grosores y tamaños. Aunque el mayor potencial de esta tecnología se obtiene de su utilización para la soldadura, ya que la potencia del rayo es capaz de perforar de forma más profunda y a mayor velocidad en los materiales.

Estas características hacen que el láser de CO<sub>2</sub> sea una tecnología aplicada, sobre todo, en la industria del sector del automóvil, que también lo emplea para el marcado y tratamiento térmico de las superficies de aceros inoxidable o al carbono y aleaciones de aluminio. Otros usos son el grabado y marcado en el ámbito de la rotulación, publicidad, trofeos, joyería, etc.

Las principales ventajas que presenta el láser para el procesado de materiales frente a los métodos convencionales son muy numerosas: mayor flexibilidad en cuanto a dimensiones geométricas y tipo de material; menor efecto térmico sobre la pieza, debido a la abundante concentración de energía sobre el punto de trabajo; elevada calidad del procesado; velocidad alta de producción, ya que el tiempo se reduce por la disponibilidad inmediata del haz láser; y fácil integración en sistemas robóticos. [24]

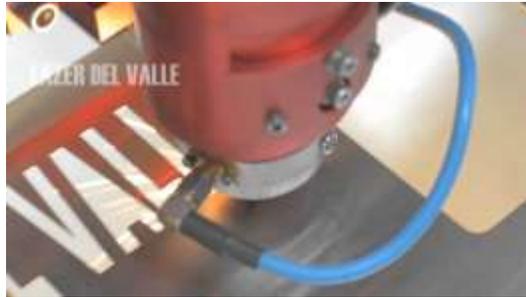


Fig. 26 Cortador Láser CO<sub>2</sub> ([http://esbuzz.net/trends/watch/vid883OHZ-pqfQ\\_4](http://esbuzz.net/trends/watch/vid883OHZ-pqfQ_4))

### **Corte por Fibra Laser**

Las tecnologías de corte están evolucionando continuamente y uno de los avances recientes más significativos en este campo es el láser de fibra. La tecnología de láser de fibra lleva disponible tan sólo de tres a cinco años; por ello, muchas compañías aún están familiarizándose con ella y sólo ahora están empezando a apreciar las diferencias entre la fibra y el más conocido proceso de láser de CO<sub>2</sub>

De entre los principales métodos de corte térmico, basados en tecnologías como el oxicorte, el plasma y el láser, el corte con láser ofrece la mejor calidad de corte, especialmente para las formas detalladas y los orificios con una relación de diámetro/espesor inferior a 1:1. Esto hace del láser el método más adecuado para las necesidades de corte de precisión más estrictas de cualquier industria.

Además, dentro de la categoría de corte con láser, el láser de fibra está recibiendo una atención considerable gracias a que ofrece la velocidad y la calidad de corte del láser de CO<sub>2</sub> pero con unos costes de mantenimiento y operación considerablemente menores. Esto hace del láser de fibra una tecnología de corte tan prometedora que numerosos expertos consideran que incluso adelantará a otros sistemas de láser. [1.2]

Finalmente podemos concluir que el sistema cortador de metales fibra láser presenta ventajas importantes frente a otros procedimientos, tal como lo muestra la figura siguiente:

### Ventajas de los procesos de corte térmico

#### Oxifuel

- Para chapa metálica de más de 75 mm de espesor.
- Adecuado para el acero al carbono; no resulta eficaz en el acero inoxidable ni el aluminio.

#### Plasma

- Adecuado para espesores de corte de entre pocos milímetros y 75 mm.
- Preferido respecto al CO<sub>2</sub> y el corte con láser de fibra en materiales de > 6 mm.
- Capaz de cortar una amplia gama de espesores de material y tipos de metales, incluidos los ferrosos y no ferrosos; puede usarse en metales oxidados, pintados o en malla.

#### Láser de CO<sub>2</sub>

- Excelente calidad de corte y productividad en materiales desde pocos milímetros a 12 mm.
- Una buena calidad en las formas detalladas en chapa delgada de alrededor de 6 mm.
- Los sistemas de alta potencia permiten cortar un amplio intervalo de espesores con buenas tolerancias.

#### Láser de fibra

- Mejor calidad de corte con la máxima eficiencia energética en materiales de menos de 6 mm.
- Idóneo para las formas detalladas en chapa delgada < 6 mm.
- Mejor calidad de corte que el plasma en orificios con una relación diámetro/espesor de menos de 1:1.
- Menores costes operativos y de mantenimiento que el láser de CO<sub>2</sub>; 86% más eficiente energéticamente que el láser de CO<sub>2</sub>.

*Fig. 27 Ventajas de los procesos de corte*

*[http://www.revistatope.com/182\\_art\\_HYPERTHERM\\_Nuevas\\_tecnologias.html](http://www.revistatope.com/182_art_HYPERTHERM_Nuevas_tecnologias.html)*

## **Soportes metálicos de aplicación biomédica.**

El sistema de posicionamiento para este proyecto, tendrá como fin, mantener en la posición deseada, el dispositivo médico a cortar para su uso posterior.

La consideración de dispositivo médico, que puede ser tratado en el proyecto, está basada en la siguiente ley:

**Ley N° 29459**  
**LEY DE LOS PRODUCTOS FARMACÉUTICOS, DISPOSITIVOS MÉDICOS Y**  
**PRODUCTOS SANITARIOS**  
(DEFINICIÓN DE DISPOSITIVOS MÉDICOS)

## ARTÍCULO 4

Cualquier instrumento, aparato, implemento, máquina, reactivo o calibrador in vitro, aplicativo informático, material u otro artículo similar o relacionado, previsto por el fabricante para ser empleado en seres humanos, solo o en combinación, para uno o más de los siguientes propósitos específicos:

- Diagnóstico, prevención, monitoreo, tratamiento o alivio de una enfermedad.
- Diagnóstico, monitoreo, tratamiento, alivio o compensación de una lesión.
- Investigación, reemplazo, modificación o soporte de la anatomía o de un proceso fisiológico.
- Soporte o mantenimiento de la vida.
- Control de la concepción.
- Desinfección de dispositivos médicos

Basándose en la Norma Oficial Mexicana NOM-241-SSA1-2012, Buenas prácticas de fabricación para establecimientos dedicados a la fabricación de dispositivos médicos, tenemos los siguientes puntos a considerar para el desarrollo de este proyecto:

En su sección 3.31 de esta norma se encuentra expresado que se considera un Dispositivo médico, a la sustancia, mezcla de sustancias, material, aparato o instrumento (incluyendo el programa de informática necesario para su apropiado uso o aplicación), empleado solo o en combinación en el diagnóstico, monitoreo o prevención de enfermedades en humanos o auxiliares en el tratamiento de las mismas y de la discapacidad, así como los empleados en el reemplazo, corrección, restauración o modificación de la anatomía o procesos fisiológicos humanos. Los dispositivos médicos incluyen a los productos de las siguientes categorías: equipo médico, prótesis, órtesis, ayudas funcionales, agentes de diagnóstico, insumos de uso odontológico, materiales quirúrgicos, de curación y productos higiénicos.

Y en la sección 5. Clasificación de los dispositivos médicos se puede apreciar la siguiente información:

**5.1** Los dispositivos médicos se clasifican, de acuerdo con el riesgo que representa su uso, de la siguiente manera:

**5.1.1 Clase I:** define a aquellos dispositivos médicos conocidos en la práctica médica cuya seguridad y eficacia están comprobadas y, que generalmente no se introducen en el organismo.

**5.1.2 Clase II:** define a aquellos dispositivos médicos conocidos en la práctica médica y que pueden tener variaciones en el material con el que están elaborados o en su concentración y, generalmente, se introducen al organismo permaneciendo menos de treinta días.

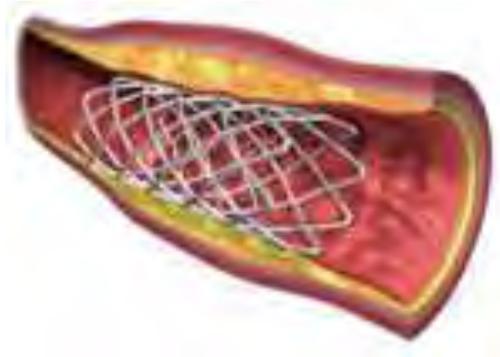
**5.1.3 Clase III:** define a aquellos dispositivos médicos nuevos o recientemente aceptados en la práctica médica, o bien que se introducen al organismo y permanecen en él, por más de treinta días.

Con lo cual podemos apreciar que el stent es un dispositivo médico de Clase III, sin embargo, no olvidemos resaltar que este proyecto tiene alcances de cualquier soporte de tipo médico, siendo el stent, un ejemplo de ello. [33]

## **Materiales metálicos.**

Se buscan nuevas técnicas de procesamiento para maximizar las propiedades mecánicas de las aleaciones actuales y lograr que sus superficies tengan texturas adecuadas para inducir la respuesta biológica deseada. Por ejemplo, está en estudio el desarrollo de micro electrodos para dispositivos neurológicos que resistan la corrosión y en particular, el fenómeno de tensión-corrosión (stress corrosión cracking) inducida por el medio biológico. También se está prestando atención a las propiedades super-elásticas de aleaciones de níquel y titanio, y al fenómeno de memoria de forma para "stents". Los "stents" son dispositivos tubulares expansibles que se usan en medicina para mantener abiertos a conductos tales como arterias, venas, uretra, tráquea y evitar su colapso. El término super-elásticos describe la capacidad de algunas aleaciones metálicas de sufrir grandes deformaciones y retornar a la forma original una vez que la fuerza que genera la deformación desaparece. Por ejemplo, un acero inoxidable común sufre deformaciones elásticas de un

0,5%, mientras que las aleaciones utilizadas en los stents, alcanzan deformaciones de hasta un 11%.<sup>2</sup>



*Fig.28 Ejemplo de Soporte biomédico: Dispositivo STENT*

### **Angioplastia y colocación de stent en el corazón**

La angioplastia es un procedimiento para abrir vasos sanguíneos estrechos o bloqueados que suministran sangre al corazón. Estos vasos sanguíneos se denominan arterias coronarias.

Un *stent* (endoprótesis vascular) de arteria coronaria, como ya se había mencionado anteriormente, es un pequeño tubo de malla de metal que se expande dentro de una arteria del corazón. Un stent a menudo se coloca durante o inmediatamente después de una angioplastia y ayuda a impedir que la arteria se cierre de nuevo. Un *stent* liberador de fármaco contiene un medicamento permanente que ayuda a evitar que la arteria se cierre a largo plazo. [27]

### **Descripción.**

Antes de que comience el procedimiento de la angioplastia, se le suministrará algún analgésico. Igualmente, a usted le pueden dar un medicamento relajante y anticoagulante para impedir que se forme un coágulo de sangre.

Usted se acostará sobre una mesa acolchada. El médico introducirá un tubo flexible (catéter) a través de una incisión quirúrgica en una arteria. Algunas veces, se colocará el catéter en el brazo o la muñeca, o en la parte superior de la pierna o en el área de la ingle. Usted estará despierto durante el procedimiento.

El médico utilizará imágenes de rayos X en vivo para guiar cuidadosamente el catéter hasta el corazón y las arterias. Se inyectará un tinte en el cuerpo para resaltar el flujo sanguíneo a través de las arterias. Esto le ayuda a los médicos a ver cualquier bloqueo en los vasos sanguíneos que llevan al corazón.

Se pasa un alambre guía hasta y a través del bloqueo. Asimismo, se pasa un catéter con un globo sobre el alambre guía hasta donde está el bloqueo. El globo que está en el extremo se infla, con lo cual se abre el vaso bloqueado y se restablece el flujo sanguíneo apropiado al corazón.



*Fig. 29 Stent colocado en arteria coronaria*

<https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/007473.htm>

**Por qué se realiza el procedimiento.**

Las arterias pueden resultar estrechas o bloqueadas por depósitos llamados placa. La placa se compone de grasa y colesterol que se acumula dentro de las paredes arteriales. Esta afección se denomina aterosclerosis. [27]

La angioplastia se puede emplear para tratar:

- Bloqueo en una arteria coronaria durante o después de un ataque cardíaco.
- Bloqueo o estrechamiento de una o más arterias coronarias que lo ponen a uno en riesgo de un ataque cardíaco.
- Estrechamientos que reducen la circulación y causan dolor torácico persistente (angina) que los medicamentos no controlan.

No todo bloqueo puede tratarse con angioplastia. Algunos pacientes que tienen varios bloqueos o bloqueos en ciertos lugares pueden necesitar cirugía de revascularización coronaria.

## Riesgos

La angioplastia generalmente es segura, pero pregúntele al médico por las posibles complicaciones. Los riesgos de angioplastia y colocación de *stent* son:

- Reacción alérgica al medicamento empleado en el *stent* liberador de fármaco, al material del *stent* o al medio de contraste radiográfico
- Sangrado o coagulación en un área donde se introdujo el catéter
- Coágulo de sangre
- Coagulación del interior del *stent* (re estenosis de la endoprótesis)
- Daño a una válvula o vaso sanguíneo del corazón
- Ataque cardíaco
- Insuficiencia renal (el riesgo es mayor en personas que ya tienen problemas renales)
- Latidos cardíacos irregulares (arritmias)

- Accidente cerebrovascular (poco común)

### **Antes del procedimiento**

La angioplastia se lleva a cabo a menudo cuando usted acude al hospital o al servicio de urgencias por un dolor torácico o después de un ataque cardíaco.

### **Después del procedimiento**

La hospitalización promedio es de dos días o menos. Algunas personas ni siquiera tienen que quedarse de un día para otro.

En general, las personas que se someten a una angioplastia pueden ser capaces de caminar más o menos al cabo de 6 horas después del procedimiento. La recuperación completa tarda una semana o menos. A usted se le dará información sobre cómo cuidarse después de la angioplastia.

### **Expectativas (pronóstico)**

Para la mayoría de personas, la angioplastia mejora enormemente la circulación a través de la arteria coronaria y el corazón. Puede ayudar a evitar la necesidad de una cirugía de revascularización coronaria (CABG). La angioplastia no cura la causa del bloqueo en sus arterias y éstas pueden estrecharse de nuevo.

### **Nombres alternativos**

Intervención coronaria percutánea; ICP; Angioplastia con globo (balón); Angioplastia coronaria; Angioplastia de arteria coronaria; Angioplastia coronaria transluminal percutánea; Dilatación de las arterias del corazón [27]

### **TAVI.**

La estenosis aórtica es la valvulopatía severa más frecuente en nuestro medio, en parte por el envejecimiento progresivo de la población. Cuando alcanza un grado importante de gravedad, es decir, se convierte en severa, y una vez que desarrolla síntomas, el pronóstico a corto plazo es malo.

Aunque la intervención quirúrgica, con circulación extracorpórea es una excelente opción con baja mortalidad en muchos casos, siendo considerada de elección hoy en día, para algunos pacientes, supone una técnica de muy alto riesgo, llegando a ser éste inasumible.

En los últimos años hemos asistido al desarrollo de la válvulas transcatheter (TAVI o *Transcatheter Aortic-Valve Implantation*; via transfemoral o transapical, generalmente) que están experimentando un desarrollo exponencial, gracias a los excelentes resultados que están cosechando, a pesar de la inevitable curva de aprendizaje de los operadores y la complejidad de los enfermos incluidos en los protocolos de investigación.

Tras el seguimiento, la tasa de mortalidad por cualquier causa (acontecimiento primario) fue del 30,7% en el grupo TAVI mientras que llegó al 50,7% en la otra cohorte (HR 0,55). La tasa en el evento compuesto fue de 42,5% con la TAVI y del 71,6% en los tratados médicamente. La clase funcional también fue mejor en el grupo TAVI. Además durante el seguimiento de un año no se mostraron signos de deterioro de la prótesis expandible. No obstante, se observaron más ictus (5% vs. 1,1%), en el grupo TAVI.

Por ello, los autores concluyen que en pacientes rechazados para cirugía cardíaca, la alternativa TAVI es un procedimiento que reduce significativamente las tasas de muerte de cualquier causa, ingresos y los síntomas cardíacos, a pesar de una mayor incidencia de complicaciones vasculares y de ictus. [28]

## **Antecedentes.**

En el mercado existen una gran variedad de sistemas de posicionamiento, ejemplo de ello es Rollon Group tecnocenter que en su página web muestra variedades de estos sistemas de diferentes marcas como son Aerotech, Schneeberger, Zaber, Leantechnik AG<sup>5</sup>.



Fig. 30 Sistema de posicionamiento con 3 ejes de Aerotech



Fig. 31 Sistema de posicionamiento de pórtico Marca Schneeberger



Fig. 32 Sistema de posicionamiento Multiaxial, Zaber 3 ejes



Fig. 33 Sistema de posicionamiento de 3 ejes

Existe un antecedente similar a este proyecto, la cual es una tesis de licenciatura en el área biomédica, que se presentó en el año 2010 en la Facultad de Ingeniería de la UNAM y que básicamente se trata del diseño e implementación de una interfaz máquina-usuario en LabView para el control de un sistema de posicionamiento automatizado<sup>4</sup>.



*Fig. 34 Proyecto de tesis presentado oficialmente en el año 2010*

Esta tesis es la que hasta el momento tiene mayor pertinencia en nuestro proyecto por la arquitectura que maneja para su implementación; desde el uso de motores a pasos como el uso de tecnología de National Instruments para su manejo más versátil y eficaz.

Siendo que maneja interfaces similares, realmente no es lo mismo. Ejemplo de ello podemos mencionarla diferencia que existe en la interconexión de dispositivos periféricos, ya que este proyecto de tesis hace uso de extensiones PCI<sup>1</sup> para instrumentación PXI de National Instruments o también llamada PXI (PCI eXtensions for instrumentation). Y en nuestro caso hacemos uso de la Tecnología UMI de National Instruments (Universal Motion Interface) que funciona, como su nombre lo dice, como nuestra interfaz de movimiento al conectar nuestros dispositivos periféricos entre sí.

## **WECKENMANN.**

La empresa Weckenmann desarrolló un nuevo sistema de posicionamiento robotizado de precisión con tecnología láser. Los robots de encofrado de Weckenmann se usan en todo el mundo para trazar, posicionar y retirar encofradores con el objetivo de que las piezas prefabricadas de hormigón puedan ser producidas de forma rápida y con alta precisión.

Los ingenieros han llevado así un diseño más que probado a otro nivel. El nuevo sistema de posicionamiento robotizado de precisión, que incluye tecnología láser, reemplaza una gran parte de los elementos mecánicos que se requerían previamente. El resultado es una mayor precisión y eficiencia.

"Nuestro nuevo sistema permite cumplir con los estrictos requisitos para obtener una mayor precisión en las piezas prefabricadas de hormigón", explica el director ejecutivo Hermann Weckenmann.

Los robots de encofrado suelen calcular la posición de la cabeza del robot mediante la medición de la distancia recorrida en cada desplazamiento y eje de rotación (x, y, z, d). El

---

<sup>1</sup> Peripheral Component Interconnect, consiste en un bus de PC estándar para conectar dispositivos periféricos directamente a su placa base

nuevo sistema de posicionamiento robotizado de precisión, sin embargo, mide la posición de la cabeza del robot en el recinto y es por lo tanto ligeramente más preciso que los sistemas anteriores. "Una leve mejoría como ésta será la que determine en el futuro cada vez más sobre la adjudicación de contratos."



*Fig. 35 El sistema de posicionamiento robotizado está patentado y es compatible con plantas nuevas y plantas ya existentes.*

El núcleo del nuevo sistema es un aparato guiado por láser que continuamente mide la cabeza del robot desde las cuatro esquinas de la mesa de encofrado, para que se puedan determinar sus coordenadas exactas.

El sistema de auto-calibración también compara su situación actual con los valores deseados previstos por el controlador, con lo que se mejora aún más la precisión del robot de encofrado. Además, el sistema permite reducir considerablemente los costes de mantenimiento. Como en el caso de cualquier sistema mecánico, las influencias ambientales pueden causar que los robots de encofrado convencionales se ensucien o se expandan marginalmente. Esto se puede contrarrestar realizando controles frecuentes y haciendo los ajustes necesarios. "Nuestro nuevo sistema de posicionamiento robotizado de precisión, sin embargo, elimina totalmente la necesidad de mantenimiento", afirma Weckenmann.

Las piezas prefabricadas de hormigón se pueden producir, por lo tanto, de manera más eficiente y el sistema puede ser utilizado para el mantenimiento preventivo gracias a una detección temprana de posibles defectos mecánicos.

### Láser Plotter

Existen infinidad de empresas que emplean esta tecnología para realizar cortes en diversos materiales. Generalmente los equipos constan de un sistema de posicionamiento del tipo robot cartesiano, es decir, constan de un sistema de 2 ejes que permite el movimiento del cabezal en eje X y eje Y (siendo perpendiculares estos dos ejes). [37]



Fig. 36 Esquema del Láser Plotter

(desventaja del láser plotter: que el sistema requiere el movimiento del cabezal que emite el láser, y en el sistema propuesto en esta tesis, el cabezal debe permanecer fijo por cuestiones de precisión y óptica)

### Escáner galvanométrico

Los escáneres o cabezales galvanométricos consisten en un sistema de guiado del haz láser basado en una serie de espejos móviles. Cada espejo representa un eje o grado de libertad, por lo que es habitual emplear escáner 2D para el guiado del haz en un plano XY.

Una de las principales aplicaciones industriales de estos equipos es el marcado láser, aunque su uso se extiende a otros procesos como algunos procesos de fabricación rápida, texturizado de superficies, procesos láser remotos, etc. La principal ventaja que aportan estos sistemas es la alta velocidad y agilidad de movimientos que se pueden conseguir, ya que el movimiento de los espejos se realiza directamente con un accionamiento digital de pequeño tamaño y que virtualmente no presente inercias. Sin embargo, como cualquier sistema mecánico, presenta una serie de errores de posicionamiento del haz láser debido a retrasos en respuesta, errores de montaje, etc.

Actualmente, los fabricantes emplean una serie de ensayos estandarizados destinados a la calibración de los escáneres de marcado, sin embargo, no proporcionan información acerca de la precisión de posicionamiento del escáner para distintas velocidades y trayectorias. En aplicaciones concretas de elevada precisión, tales como el marcado de vidrio [1], el microprocesado de polímeros [2], o cuando es importante conocer la velocidad real del haz, la información facilitada por los fabricantes resulta insuficiente.[39]

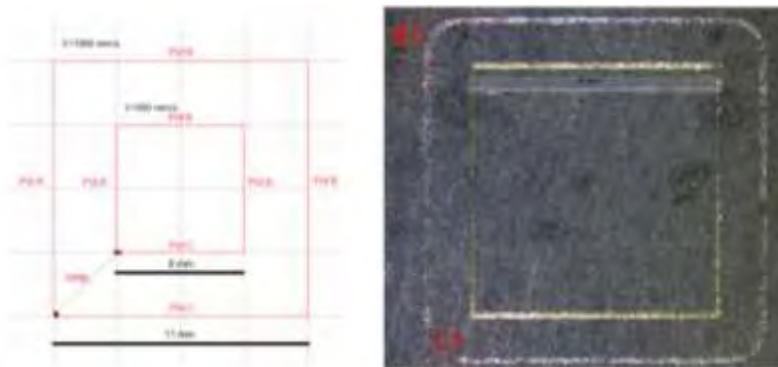


Fig. 37 trayectoria programa (izquierda) y trayectoria realmente ejecutada (derecha)

La desviación de la trayectoria real respecto de la teórica está directamente relacionada con los parámetros de control de movimiento del escáner, encargados de ajustar el movimiento en función de la velocidad de avance.

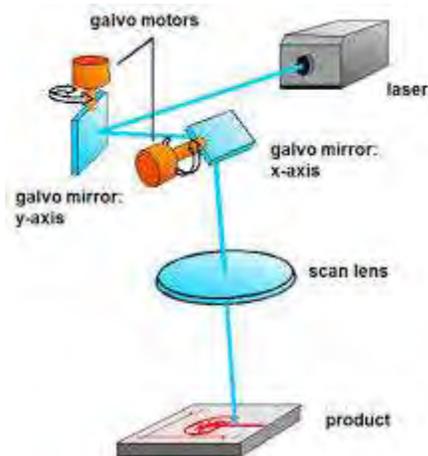


Fig. 38 Escáner galvanométrico. Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=U0Q4romu9bw>

---

## ***CAPÍTULO 2. Diseño Conceptual.***

### ***Necesidades, Requerimientos y Especificaciones***

---

#### ***Identificación de la necesidad.***

A lo largo de los últimos años en México, se ha registrado a los problemas cardiovasculares como la principal causa de defunción, motivo por el cual, es menester que nuevas iniciativas y proyectos vayan encausados a darle solución a un problema que está afectando de manera directa la calidad de las personas que habitan en el país.

El presente trabajo pretende contribuir a dicha causa, por lo que se pretende resolver la necesidad de tener un sistema que nos permita realizar un posicionamiento correcto y preciso de un cortador fibra láser, que a su vez, este pueda cortar diversos perfiles en metales que formarán y serán parte de dispositivos con aplicación biomédica.

Dicha aplicación biomédica es en dispositivos que en primera instancia se utilizaran para dar solución a problemas cardiovasculares en pacientes que así lo requieran; ejemplo de ello, son los dispositivos *Stents*.

#### ***Requerimientos y Especificaciones.***

Los requerimientos de un sistema son aquellos atributos, propiedades o características que expresan los deseos y expectativas del cliente o usuario para quien se está diseñando, ya que sirven como guía durante el desarrollo, pues establecen prioridades de diseño y proporcionan referencias para evaluar la medida en que el producto satisface la necesidad.

En el caso de este proyecto, se identificaron los siguientes requerimientos como parte fundamental para que éste pueda cubrir la necesidad para lo cual fue diseñado:

**Seguro:** El sistema debe ser capaz de brindar la seguridad e integridad de las personas que tendrán el papel de usuarios, así como las que no lo serán pero que de alguna manera podrán ser afectados por su funcionamiento o simplemente la instalación del mismo.

**Funcional:** Debe de ser un sistema que funcione correctamente de manera que no presente dificultades a la hora de operar ni desarrollar ningún problema en el proceso para el cual está diseñado.

**Resistente:** El sistema debe estar listo en todo momento para poder operar en las condiciones máximas o mínimas según se requiera, pudiendo abarcar estas: velocidad, potencia, frecuencia, torque, desplazamientos, etc.

**Durable:** Se necesita que el equipo sea hecho tanto de materiales como de equipo de alta calidad que nos permita tener un funcionamiento eficaz en periodos de trabajo considerablemente largos, sin o con poca intervención del mantenimiento del mismo.

**Móvil:** El sistema debe de ser de fácil transporte de un lado a otro sin complicadas maniobras de traslado o de desmontaje.

**Limpio:** Se requiere que el sistema opere en condiciones limpias, tanto antes como después del proceso que lleve a cabo, es decir, que emita los menos desperdicios posibles.

**Confiable:** Es necesario y fundamental que el equipo lea y monitoree las señales que emita y reciba y que sean éstas tanto en tiempo como en condiciones reales de operación, mostradas al usuario responsable de operar el equipo.

**Fácil manejo:** El sistema debe de ser capaz de ser operado por el usuario de manera sencilla y sin procedimientos largos y complejos que eviten accidentes o confusión a la hora de llevar a cabo una tarea específica.

Teniendo las necesidades, especificaciones y requerimientos necesarios para el desarrollo del sistema, se obtuvo la siguiente matriz:



Con las siguientes necesidades y requerimientos

Necesidad	Requerimiento
	La seguridad de sus usuarios
	Personas circundantes al mismo
	Funciona por medio de dos plataformas: la plataforma LabView y Match 3
	En la operación, cuenta con una sistema de swicheo que permite cambiar de plataforma de operación en cuestión de pulsar un botón
Funcional	Cuenta con una señal de corto directamente de la tarjeta de Match3 que permite que a su vez y al mismo tiempo se accione la electroválvula de gas de asistencia para el corto laser
	Sistema operando en tiempo real de manera satisfactoria
Resistente	Sistema que soporta el peso del fibra láser, más la estructura mecánica y eléctrica-electrónica, sin riesgo a la cedencia o ruptura de los materiales
Preciso	El sistema tiene una alta precisión en su operación, para que el perfil del dispositivo Stent, sea lo más fidedigno en su corte
Durabilidad	Los componentes y plataformas del sistema fibra láser están a la vanguardia y cuentan con una gran capacidad de trabajo y vida útil
Reconocido	Componentes principales del sistema son de tecnología National Instruments, empresa internacional que apoya y esta inmiscuida de esa manera en el proyecto
Espacio	Todo el sistema se encuentra montado en una estructura movable que permite su libre traslado de una lado a otro, según se requiera
Limpieza	Cuenta con una cubierta de neopreno que permite su desmontaje y limpieza fácilmente
Redistribución	Adaptación de todas las conexiones sueltas y de diversas medidas, a una que sea más manejable e impida desconexiones inoportunas
Calibración	las modificaciones realizadas para mejorar la redistribución deben ser probadas que funcione en las condiciones en las que estaba

Fig. 40 Necesidades y Requerimientos

Y especificaciones:

Especificaciones	
Voltaje	
Comenta carmelita	
Sistema que cuenta con un metal resistente a la radiación, de en su 100 por ciento	
Cuenta con una estructura de acero fijada con tornillos y espaldas que impidan y	
Cuenta con interface en LabView y en Match3 para la adquisición y monitoreo de	
Señales adaptadas a un puerto DB25 que permite su fácil desmontaje en caso de	
Tiene un error mínimo en miligramos para su operación	
Caracterizado el sistema de acuerdo a las especificaciones del manual	
monitoreo un sistema de control calibrado en escala milimétrica	
tema de la estructura dimensional de manera eficaz y práctica	
Uso de 2 tarjetas de 2 tarjetas con DB25 para la interacción de la tarjeta de los	
Módulos satisficados en número de pines y corriente de consumo con ayuda de	
Sistema de este montaje con tornillos de espaldas resistentes que permitan una r	
Configuración plataforma Match3 para realizar la operación en tiempo real de la p	
La conexión DB25 suelta en para	

Fig. 41 Especificaciones

Con base en los resultados anteriores, se puede apreciar que las necesidades del sistema fueron fundamentales para poder establecer cada uno de los

requerimientos, así como posteriormente las especificaciones respectivas que permiten el correcto funcionamiento de dicho sistema.

Cabe resaltar que no todas las necesidades y requerimientos obtuvieron un valor preponderante para la evaluación y diseño del sistema, sino sólo aquellas que se consideraron primordiales y que con base en el análisis de la matriz de decisión, se confirmó su importancia por encima de las demás. Ejemplo de ello, y de acuerdo a los resultados obtenidos por la matriz de decisión, tenemos que la seguridad de los usuarios y la precisión que debe de tener el sistema de posicionamiento en el proyecto, son los requerimientos principales que deben cumplirse en primera instancia.

De igual manera las especificaciones que, de acuerdo al análisis, son prioritarias cumplir para el correcto funcionamiento del sistema, son las relacionadas con el monitoreo e interfaz de las señales de movimiento de los 3 ejes de posicionamiento y el atraso que dicha interfaz tiene durante la trayectoria del corte de manera física, con respecto a la simulación que se hace en la plataforma de Mach3.

---

## **Capítulo 3. Diseño de Configuración.**

---

El diseño conceptual toma la definición del producto y sus especificaciones para establecer aspectos de funcionamiento, componentes principales, materiales, procesos generales y características del producto a un grado en el cual se puedan estimar costos, y la factibilidad de llevarlo a producción y tener una comercialización exitosa.

El diseño conceptual se divide esencialmente en dos componentes cíclicos:

1. La generación de conceptos que den soluciones a los requerimientos del producto.
2. La evaluación de dichas soluciones, para seleccionar los conceptos que más satisfagan a las especificaciones de diseño anteriormente expuestas. Es conveniente dividir el problema, es decir, el desarrollo del producto y de esta manera facilitar el resolver problemas complejos dividiéndolos en partes. Esto también facilita la planeación y control del trabajo.

### **Análisis funcional del sistema**

Existen algunos casos, como el del presente trabajo, en que la necesidad que se busca satisfacer resulta demasiado compleja para resolverse como un sólo problema, ya sea por la cantidad de variables involucradas o por la tecnología necesaria para lograrlo, entre otros factores. En tales casos se recomienda utilizar el método de *descomposición*, el cual consiste en la división de un problema en sub problemas o problemas más sencillos.

La *función* es la actividad propia u objetivo de un producto o sistema, es decir, aquello que debe hacer, su finalidad. Dentro de la descomposición funcional es necesario identificar dos tipos de funciones:

- *Funciones primarias, generales o globales:* se refieren al trabajo específico que el sistema o producto está diseñado para cumplir.

- *Sub-funciones o funciones secundarias*: son todas aquellas funciones o actividades adicionales necesarias para que se logre realizar la función primaria o las que resulten de la realización de ésta.

Para realizar el análisis del sistema con respecto a su función se emplean distintos tipos de herramientas gráficas, o diagramas, los cuales se muestran a continuación.

## Diagrama de caja negra

La primera herramienta, denominada *diagrama de caja negra*, permite una visión más clara del sistema como un conjunto, ya que representa la forma en que éste interactúa con el medio que lo rodea, en función de *qué hace*, sin dar importancia al *cómo lo hace*.

En este diagrama, como su nombre lo dice, representa al sistema como una *caja negra*, describiendo su función general o principal desde el punto de vista de las entradas que recibe y las salidas o respuestas que produce, sin considerar el funcionamiento interno (lo que se encuentra dentro de la caja).

Es necesario definir muy bien la interfaz o conexión que existe entre el sistema y el entorno, a través de los flujos de material, energías y señales que ingresan a la caja negra (entradas) y los que resultan o se producen en ella (salidas). A continuación se muestra el esquema de caja negra del sistema propuesto en este trabajo.



Fig. 42 Esquema de Caja Negra

### Diagrama de caja Transparente o diagrama de subsistemas.

Para generar una descripción más específica de lo que cada elemento del producto puede hacer para lograr la función general del producto se elabora un *diagrama de caja transparente* o *diagrama desubfunciones*, el cual, como dice el nombre, representa la relación entre las funciones primarias y las subfunciones, estableciendo una estructura funcional más completa.

A continuación se describen dichos subsistemas de manera independiente pero que en el sistema interactúan entre sí para poder realizar la tarea para la cual fue planteado este proyecto.

- a) Sistema de Etapa de Potencia (Motor-Etapa de Potencia)
- b) Sistema de Interfaz (Etapa de Potencia-Interfaz)
- c) Sistema de Adquisición de Señales (Interfaz-Tarjeta de control)
- d) Sistema de Simulación de Trayectoria (Tarjeta de Control-Software)

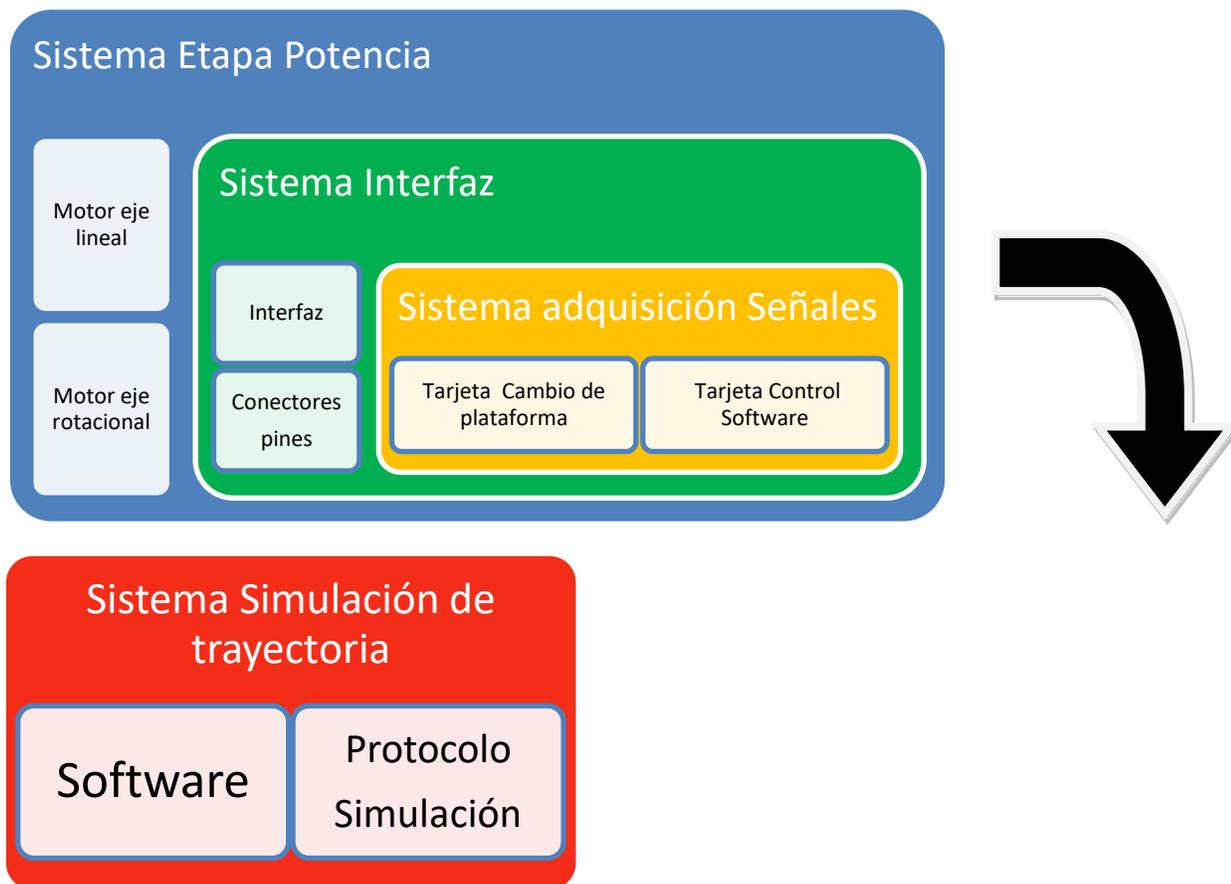


Fig. 43 Diagrama de caja transparente o diagrama de subsistemas

A continuación se describen cada uno de los siguientes subsistemas de manera particular:

**a) Sistema de Etapa de Potencia (Motor-Etapa Potencia):**

Este subsistema es el encargado de permitirle a los motores poder tener movimiento cuando se alimenten, esto se hace por medio de las etapas de potencia para cada motor y así evitar el mal funcionamiento del sistema por demanda de corriente extra que requieren dichos dispositivos.

**b) Sistema de Interfaz (Etapa Potencia-Interfaz)**

Este subsistema es el encargado de hacer la conexión entre las etapas de potencia de cada motor hacia la tarjeta de control. Eso se plantea hacer por medio de una tarjeta que permita la interconexión de estas dos partes fundamentales para el correcto funcionamiento del sistema.

**c) Sistema de Adquisición de Señales (Interfaz-Tarjeta de control)**

El subsistema es el encargado de tomar las señales que se necesitan para poder tener el control y monitoreo respectivo del movimiento de cada uno de los ejes. Estas señales son procesadas por la tarjeta de control y desde ahí se regresan hacia la interfaz de conexión entre la misma tarjeta y la etapa de potencia de cada motor y realizan una retroalimentación cíclica cada vez que el movimiento se da en algún eje del sistema.

**d) Sistema de Simulación de Trayectoria (Tarjeta de Control-Software)**

En esta parte del subsistema se tiene la conexión de la tarjeta de control con el software en la computadora que no permite ver la simulación en conjunto del movimiento de los tres ejes: Eje "X", Eje "Y" (Dos ejes lineales) y Eje "Z" (Eje Rotacional).

## **Diagrama de medios y funciones**

En el proceso de creación de los diagramas de caja negra y subsistemas se determinaron los distintos sistemas que conformarán el producto final. Asimismo se describieron dichos sistemas, mencionando sus funciones y los medios a través de los cuales se buscará lograr que dichas funciones subfunciones se realicen.

Para complementar el análisis, se recomienda organizar y visualizar la relación de funciones y subfunciones con sus respectivos medios o implementos, empleando una herramienta gráfica conocida como diagrama o árbol de funciones y medios. En este diagrama, se presentan las funciones en orden de jerarquía, empezando por la función principal en el nivel más alto del diagrama, ubicando las subfunciones en los niveles subsecuentes y alternando en cada nivel los medios necesarios para implementarlas.

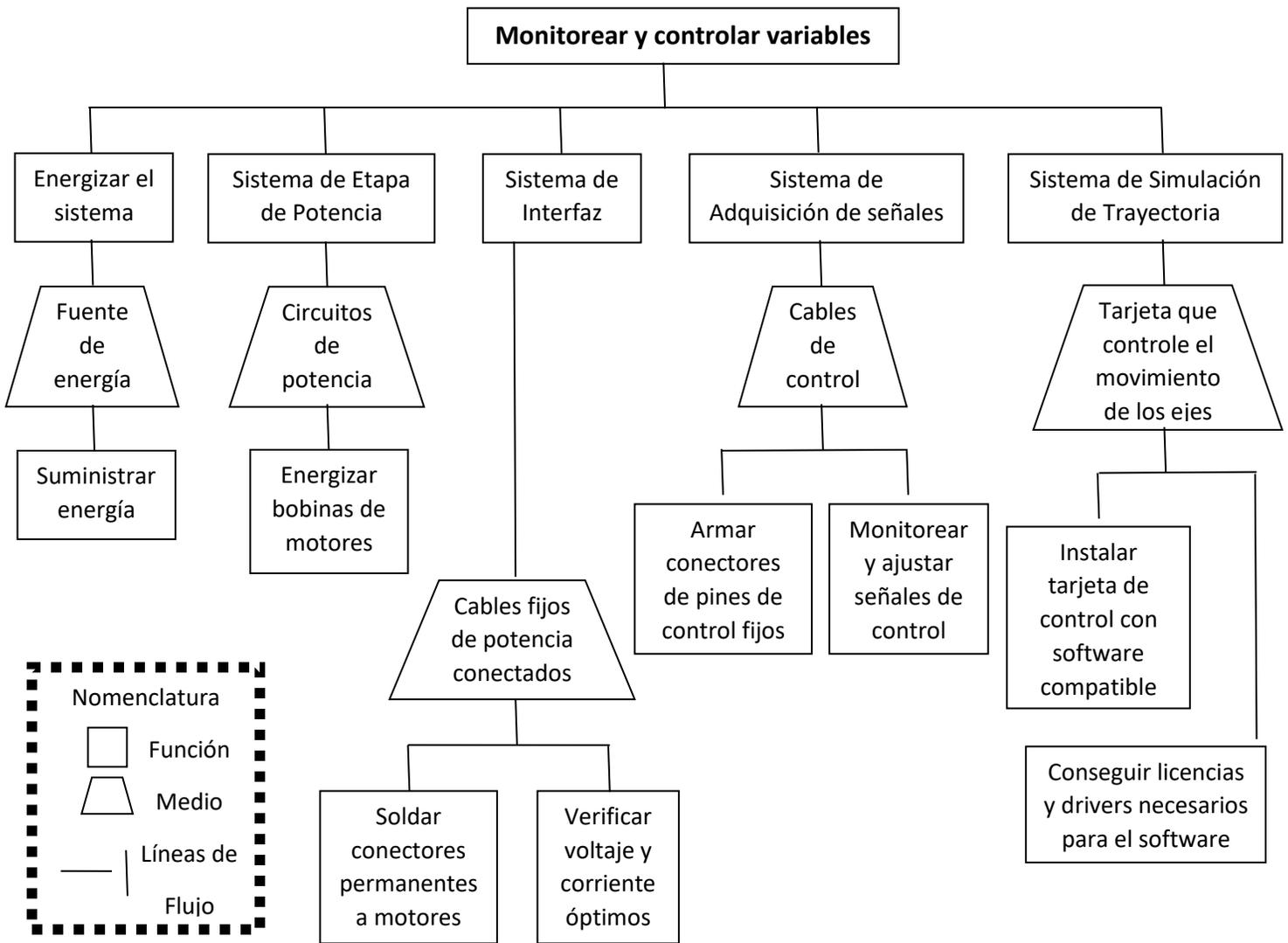


Fig. 44 Diagramas de medios y funciones

Las necesidades, requerimientos y especificaciones del producto, así como las funciones y subfunciones que se describieron anteriormente, sirven como entradas para la generación de conceptos de solución del problema, a través del planteamiento de medios, procedimientos o herramientas que puedan lograr las funciones de cada sistema. A continuación se presentan algunas soluciones posibles para cada subsistema.

<i>Sistema de suministro de Energía</i>			
<i>Elemento</i>	<i>Voltaje de entrada</i>	<i>Voltaje de salida</i>	<i>Corriente máxima de salida</i>
<i>Fuente de laboratorio</i>	AC 100-240 [V]	DC 0 a +30 [V]	10 [A]
<i>Fuente conmutada</i>	AC 100-240 [V]	<b>DC +54 [V]</b>	<b>10 [A]</b>
<i>Eliminador de corriente</i>	AC 100-240 [V] @ 0.8 [A] máx.	DC +12 [V]	8.3 [A]

**Tabla 2. Propuesta de solución para el sistema de suministro de energía**

<i>Sistema de Etapa de Potencia</i>			
<i>Elemento</i>	<i>Voltaje de entrada</i>	<i>Voltaje de salida</i>	<i>Corriente máxima de salida</i>
<i>Drivers National Instruments</i>	<b>Variable</b>	<b>Variable</b>	<b>2 [A]</b>
<i>Puente H L293D (4 circuitos)</i>	<b>4.5 [V] – 36 [V]</b>	<b>4.5 [V] – 36 [V]</b>	<b>6 [mA]</b>
<i>Arreglo de transistores ULN2003</i>	<b>30 [V]</b>	<b>50 [V]</b>	<b>500 [mA]</b>

**Tabla 3. Propuesta de Solución para el sistema de Etapa de Potencia.**

<b>Sistema de Interfaz (Etapa de potencia-Interfaz)</b>
<i>Elemento</i>
<i>Conversor Analógico Digital</i>
<i>NI UMI</i>

**Tabla 4. Propuesta de Solución para el Sistema de Interfaz**

<b>Sistema de Adquisición de Señales (Interfaz-Tarjeta)</b>
<i>Elemento</i>
<i>Conversor Analógico Digital</i>
<i>NI UMI</i>

**Tabla 5. Propuesta de Solución para el Sistema de Adquisición de Señales**

En los últimos dos rubros, tanto la propuesta de solución para el sistema de interfaz como para el de adquisición de señales, es necesario que exista un puente de conexión entre la etapa de potencia de los motores y la tarjeta de control ya que no los podemos hacer directamente debido al voltaje, corriente y características particulares de las señales de cada sistema.

<b>Sistema de Simulación de Trayectoria (Tarjeta de Control-Software)</b>	
<i>Elemento</i>	<b>Aplicación</b>
<i>LabView</i>	<b>Geometrías Simples</b>
<i>Mach3</i>	<b>Geometrías Complejas</b>

**Tabla 6. Propuesta de Solución para el Sistema de Simulación de Trayectoria**

En cuanto a la propuesta de simulación para la trayectoria de posicionamiento tenemos dos opciones para elegir, en cuanto a software; la primera de ellas es la plataforma de LabView que nos permitiría poder vectorizar perfiles simples (círculos, cuadrados, triángulos, figuras regulares, etc.) en el software y guardarlos en un subVI para poderlo ejecutar en la programación dentro del mismo LabView.G

Para la segunda propuesta, tenemos la plataforma de Mach3, en la cual podemos ejecutar la trayectoria de cualquier perfil (perfiles complejos por ejemplo), previamente vectorizada y ejecutada en LazyCam, que es un complemento de Mach3 que nos permite obtener el código G que finalmente podrá ser ejecutado en la plataforma.

---

## **Capítulo 4. Diseño de Detalle**

---

A continuación se enuncia la configuración a detalle del sistema completo para el posicionamiento del cortador fibra láser.

En primer lugar se tocará el punto de la alimentación para el sistema; cómo se mencionó en el capítulo anterior, se decidió implementar dicha alimentación por medio de fuentes conmutadas independientes para cada driver y componente que formará parte del diseño final.

### ***Fuente conmutada y lineal.***

#### ***Lineal.***

La corriente eléctrica que llega a los edificios e industrias tiene unas características determinadas. La mayoría de receptores que se conectan a la red eléctrica no pueden trabajar directamente con esta corriente, es necesario modificarla.

La red eléctrica suministra **corriente alterna**, que invierte su polaridad unas 100 o 120 veces por segundo, dependiendo del estándar seguido en cada país. Los **equipos electrónicos** trabajan con **corriente continua**, que tiene un valor fijo, siempre con la misma polaridad.

Para convertir la corriente alterna en corriente continua es necesario **rectificarla y estabilizarla**. La **tensión** de la red eléctrica puede ser de entre 110V y 400V, dependiendo del país. Los equipos conectados pueden trabajar a cualquier tensión, dependiendo de su aplicación. Por ejemplo, un televisor trabaja internamente con varias tensiones, que pueden ir desde poco más de 1Vdc hasta más de 50000V en el caso de los televisores CRT (los de tubo de rayos catódicos, que ya han sido sustituidos por las pantallas planas).

El ejemplo más básico de fuente de alimentación que todos conocemos sería el cargador para el teléfono móvil (celular). Éste convierte la corriente de la red eléctrica, que puede ser de 100, 240Vac a un valor que en la mayoría de los casos es de 5Vdc.

Los primeros cargadores para teléfonos pesaban mucho más que los actuales. Los **más pesados** utilizaban **fuentes de alimentación lineales**, mientras que los **más ligeros** usan **fuentes de alimentación conmutadas**.

En una **fente de alimentación lineal** se reduce la tensión mediante un transformador, y seguidamente se rectifica con diodos. Para que la corriente sea más estable se filtra con condensadores electrolíticos, y en algunos casos se añaden estabilizadores para que la tensión de salida tenga un valor exacto [41].

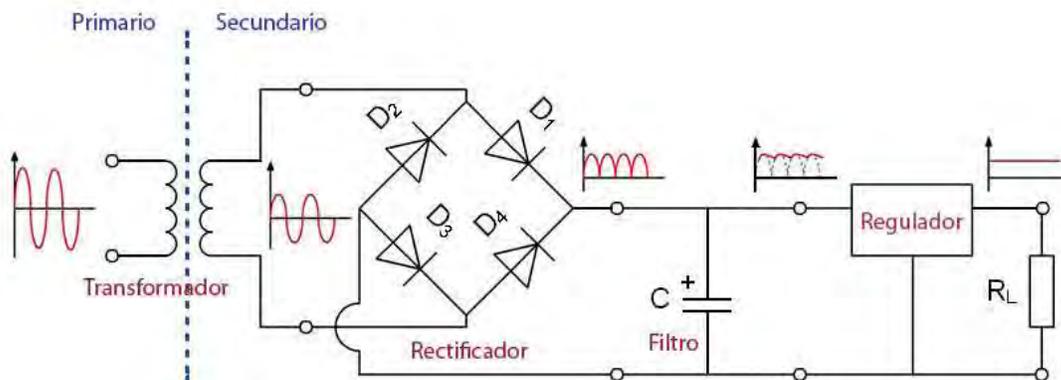


Fig. 45 Fuente de alimentación Lineal

**Transformador:** Es el encargado de adaptar los niveles de tensión entre el primario y el secundario, además de proporcionar aislamiento galvánico entre estas dos zonas.

**Rectificador:** Está compuesto por 4 diodos (pueden ir separados o encapsulados en un mismo elemento), la función de este rectificador es la de convertir la corriente alterna que sale del transformador en una corriente pulsante.

**Filtro:** El filtro está constituido por uno o varios condensadores (normalmente condensadores polarizados), cuya función es la de suavizar el rizado de la señal que sale del rectificador, quedando una señal prácticamente continua.

**Regulador de tensión:** En la etapa final se colocará un elemento que asegure que la tensión a la salida va a ser siempre constante, y que no va a superar el valor de tensión para el que ha sido diseñado, esto puede conseguirse de varias maneras, podría colocarse un diodo zener polarizado en inversa que limite dicha tensión a la salida, pero lo más común es colocar un circuito integrado comercial en cuyo interior tenemos integrados tanto elementos de protección como de regulación de la tensión (según sea el modelo).

Este regulador no es más que un sistema de control en lazo cerrado o realimentado, que ajustará una especie de resistencia interna variable para dar siempre una salida constante. Debido a la forma de trabajar de este integrado, parte de la potencia que suministra la disipará en forma de calor, esto hace que este tipo de fuentes sea menos eficiente que las fuentes de alimentación conmutadas, además de tener que colocar a dicho integrado un disipador para que no alcance temperaturas excesivas que dañarían al propio integrado.

En la imagen de la derecha, podemos ver el ejemplo de una fuente de alimentación lineal básica, en esta podemos diferenciar cada uno de los elementos nombrados anteriormente. Como podemos observar, el rectificador ha sido encapsulado en un mismo elemento, aunque es muy común encontrar los 4 diodos que componen este rectificador por separado.

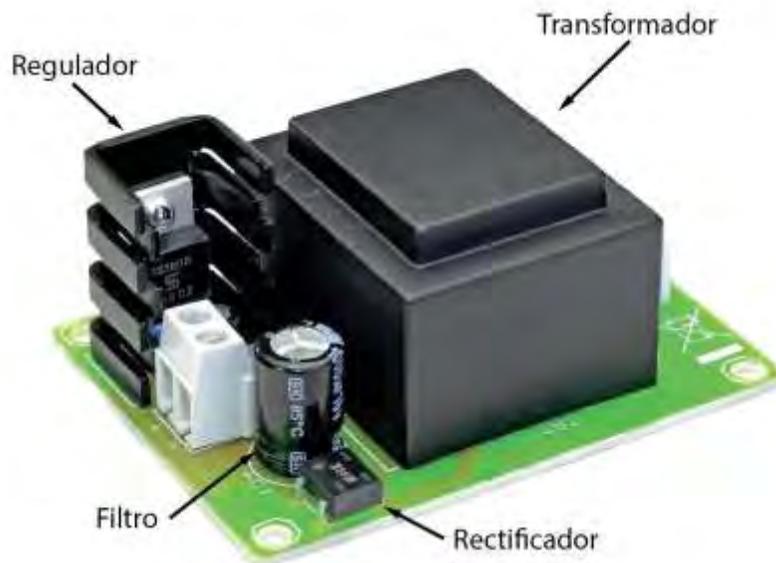


Fig. 46. Fuente de Alimentación Lineal

El regulador es un "7805", **la familia "78XX" es la más común en cuanto respecta a reguladores de tensión, las dos últimas cifras indicarán el voltaje de salida**, que en nuestro caso "7805" será de 5 voltios. También podemos ver que al regulador se le ha colocado un disipador de calor, esto no es necesario, pero si **MUY RECOMENDABLE** sobre todo cuando trabajamos con corrientes cercanas a los límites de trabajo de nuestro regulador. [42]

Este tipo de fuentes tiene una **gran pérdida de energía** en el transformador. Además, para conseguir corrientes de salida muy altas, el transformador debe tener estar bobinado con hilo de cobre muy grueso, lo que hace que sea muy **grande y pesado**.

### **Conmutada.**

Las **fuentes de alimentación conmutadas** utilizan un principio similar, pero con diferencias muy importantes. Básicamente, **aumentan la frecuencia** de la corriente, que pasa de oscilar 50/60Hz a más de 100kHz, dependiendo del sistema utilizado.

Al aumentar tanto la frecuencia, **reducimos las pérdidas** y conseguimos reducir el **tamaño del transformador**, y con ello su peso y volumen. En este tipo de fuentes, la corriente se convierte de alterna a continua, después otra vez a alterna con una frecuencia distinta a la anterior, y seguidamente vuelve a transformarse en continua. Por eso muchos equipos basados en fuentes conmutadas son conocidos como **inversores**.

Un claro ejemplo serían las máquinas de **soldadura al arco**. Los equipos que usan transformadores lineales (prácticamente han desaparecido) pesan muchísimo más que los de tipo **inversores**, que no es más que una **fente de alimentación conmutada**, adaptada a las características de este tipo de máquinas.

En un **variador de velocidad**, el funcionamiento es muy similar. Regulando la **frecuencia** del modificamos la **velocidad** del motor [41].

**Rectificador:** El primer rectificador que nos encontramos cogerá la señal alterna de la entrada y la transformará en una señal continua, esto lo hará por medio de un rectificador de media onda o de onda completa (en la figura aparece uno de media onda).

**Conmutador:** El conmutador estará compuesto por uno o varios transistores mosfet o bipolares (lo normal es que sean mosfet), estos transistores trabajaran en corte-saturación, es decir, darán "todo o nada" (trabajarán como un interruptor normal). El conmutador lo que hará será cerrar y abrir el circuito y dejar pasar o no la corriente que llega del rectificador a través del transformador, esta operación de dejar pasar o no dejar pasar la corriente, normalmente se realiza entre 20KHz y 100KHz, o lo que es lo mismo, entre 20.000 o 100.000 veces por segundo.

**Transformador:** El transformador tendrá la misma función que en las fuentes de alimentación lineales, su función es la de adaptar los niveles de tensión entre el primario y secundario y aislar galvánicamente las dos partes del circuito. La diferencia con la fuente de alimentación lineal, es que en la fuente conmutada, el transformador va a trabajar con una señal cuadrada en lugar de senoidal y lo va a hacer a frecuencias mucho mayores.

**Segundo rectificador:** La función del segundo rectificador será la de transformar la señal cuadrada que sale del transformador en una señal totalmente continua y estable.

**Salida:** En las fuentes de alimentación conmutadas, podemos ver la salida como otra parte más de la fuente, ya que TODAS las fuentes de alimentación conmutadas trabajan en lazo cerrado o con realimentación, pero... ¿qué quiere decir esto?, pues que son fuentes que están constantemente viendo que niveles entregan a su salida y en función de los requerimientos del sistema trabajaran más o menos, y es aquí cuando se introduce el concepto de "Duty Cycle" o ciclo de trabajo.

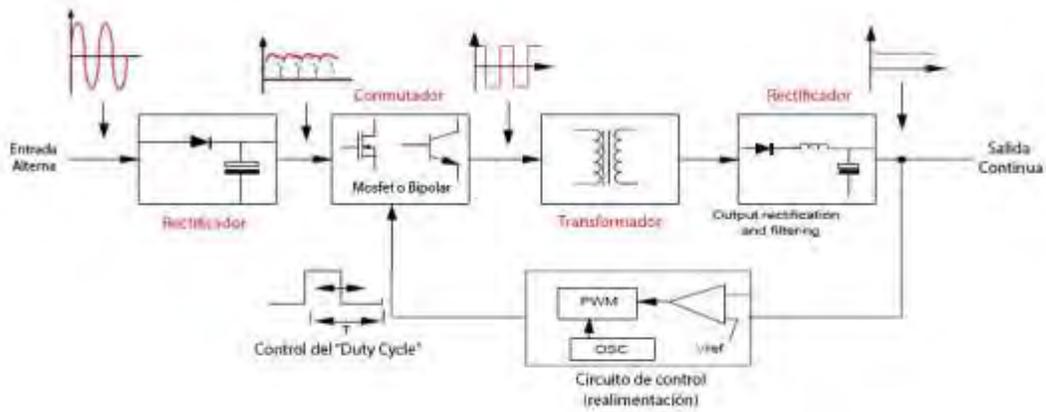


Fig. 48. Fuente de alimentación conmutada.

## Sistema de suministro de energía

Las fuentes de alimentación que se usarán son las siguientes:

Equipo de alimentación	Voltaje [V]	Corriente nominal [A]
Fuente Conmutada	27.1 (30)	5.8
Fuente Conmutada	31	10
Fuente Conmutada	54	5.8
Fuente Conmutada	5 y 12 (Apéndice A)	2

Tabla 7. Propuesta de fuentes de alimentación



Fig. 49. Fuentes de alimentación

Dichas fuentes de alimentación fueron obtenidas en la empresa AG Electrónica. A manera de ejemplo se anexa en el apéndice A, la hoja de especificaciones de la fuente de 5 y 12 [V]. En este caso es la misma hoja de especificaciones porque en la compañía de AG estas fuentes trabajan a 15 [W] de potencia, tal como a continuación se muestra.

de Mayoría y Sobre Pedido:  
 www.agelectronica.com  
 www.agelectronica.com.mx

Catálogo

- Adaptadores USB
- Antenas
- Bases
- Baterías electrónicas
- Baterías recargables
- Baterías para circuitos impresos
- Buzones
- Cables planos
- Cargadores de baterías
- Circuitos Decodificadores y Reflexiones
- Cintas aislantes
- Circuitos integrados
- Computadoras Embebidas
- Condensadores
- Conectores

Mult = Producto vendido en múltiplos del número mostrado

Existencia = Cuando el valor es de color azul, coloque el puntero sobre la cantidad para conocer la cantidad y fecha de arribo estimada

Q = Cuando veas la lupa en lugar de la casilla CANTIDAD, da clic sobre ella y te mostraremos los posibles sustitutos relacionados con tu búsqueda

Se encontraron 16 PRODUCTOS en la página. Pág. 1

Cantidad	Mult	Parte	Descripción	Existencia	Escalas	Precio
1		3A1550	FUENTE DE POTENCIA PARA FUENTES COMUTADAS	17	1-2	\$59.491
1		AM7142	CONTROLADOR PWM 12V 3A A FUENTE COMUTADA	47	1-2	\$36.597
1		WTS-15-12	FUENTE COMUTADA 15W 12 8V6-1.3A	346	1-2	\$236.346
1		WTS-15-5	FUENTE COMUTADA 15W 5.2V6-3A	490	1-2	\$234.490

Fig. 50 Fuentes conmutadas de 15 [W]

## Sistema de Etapa de Potencia

En el caso de la Etapa de Potencia se utilizaron Drivers para Motor a pasos como los siguientes:



Fig. 51 Driver para motor a pasos

Estos drivers tienen la capacidad de poder ajustarla corriente de salida de los mismos y así poder adaptarse a el dispositivo al cual estén conectados. Además se pueden configurar para que el motor trabaje a distintos pasos por revolución, con resolución de 400 hasta 2000 pasos dependiendo del driver.

En la imagen anterior se puede visualizar que en cada driver esta visible en la carcasa del mismo dos tablas, la primera de ellas es una tabla que especifica en un código binario, magnitud de corriente a la que es capaz de obtenerse de esta etapa de potencia, este rango va de los 0.5 a los 4 [A] dependiendo el driver.

La segunda tabla nos muestra de la misma manera, con unos y ceros, la forma de configurar el driver para obtener determinada cantidad de micro pasos por revolución para el motor a pasos al cual esté conectado.

La forma de traducir el código binario de las dos tablas, a una manipulación física en el componente para lograr la configuración deseada, es por medio de un dip swich. Dicho dispositivo se puede encontrar de manera lateral en el driver o en la parte inferior del mismo. Su configuración se basa en que el estado de alto y bajo son diferenciados por medio del movimiento hacia arriba o debajo del dip swich, tomando en cuenta el sentido preestablecido de cualquiera de los dos estados, pudiendo así deducir el otro no especificado, tal y como se muestra en la imagen siguiente.



*Fig. 52. Dip switch del driver para motor a pasos*

Como actuadores se utilizaron motores a paso NEMA conectados a los drivers anteriormente expuestos y que permitieron ser adaptados a las necesidades que el sistema de

posicionamiento requería para funcionar correctamente. Se utilizaron tres motores a pasos, uno para el Eje X, otro para el Eje Y y uno más para el eje rotacional.

### Sistema de interfaz de adquisición de señales.

Para esta etapa se optó con usar de la tecnología National Instruments, una interfaz universal de movimiento de 4 ejes, conocido como UMI 7774. Con esta interfaz es posible interconectar las etapas de potencia de cada motor con la tarjeta de control de movimiento, que en este caso es la PCI 7344. A continuación se muestra el esquema general de la interconexión del control de un sistema de movimiento, con base en el uso de la tecnología del UMI 7774 y la tarjeta de control PCI 7344.



Fig. 53. Esquema de conexión de una interfaz de movimiento



Fig. 54 Interfaz Universal de Usuario (UMI 7774)

Esta interfaz Universal de Usuario soporta la conexión de hasta 4 ejes. Tiene dos alimentaciones en su tarjeta, una de 5 [V] y otra de 24[V].



Fig. 55. Conexión DB25

El UMI 7774, de acuerdo a su hoja de especificaciones, tiene una configuración predeterminada para sus conexiones en cuanto a alimentación, señales y control externas se refiere. A continuación se muestra un esquema que lo representa de manera general.

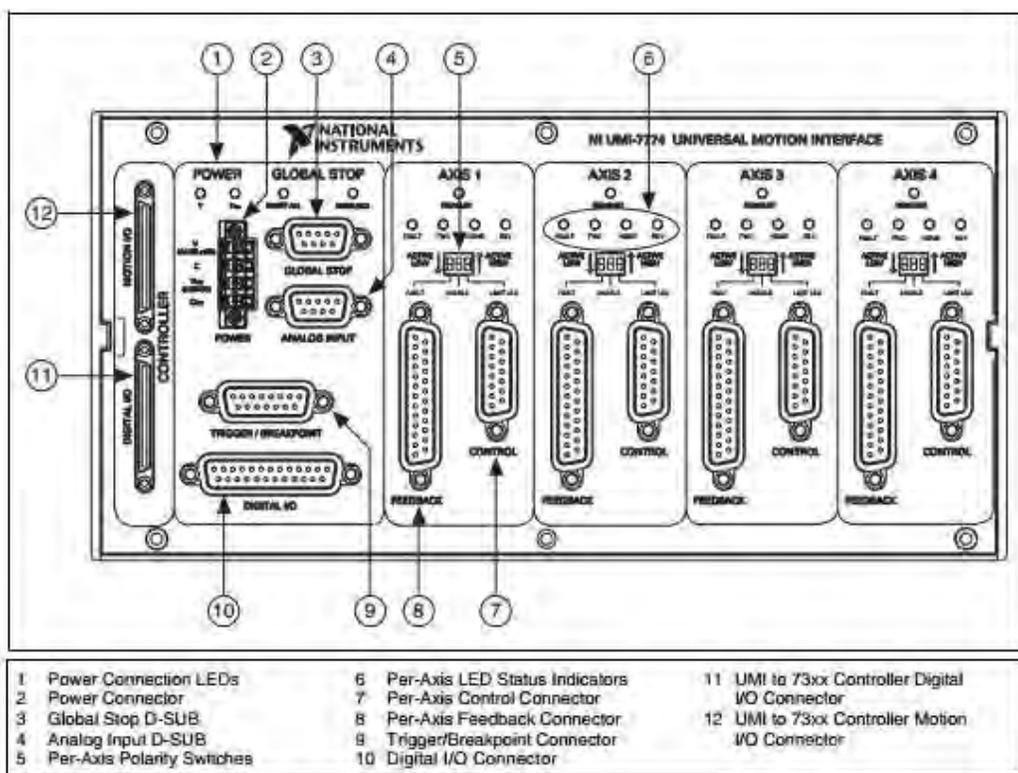
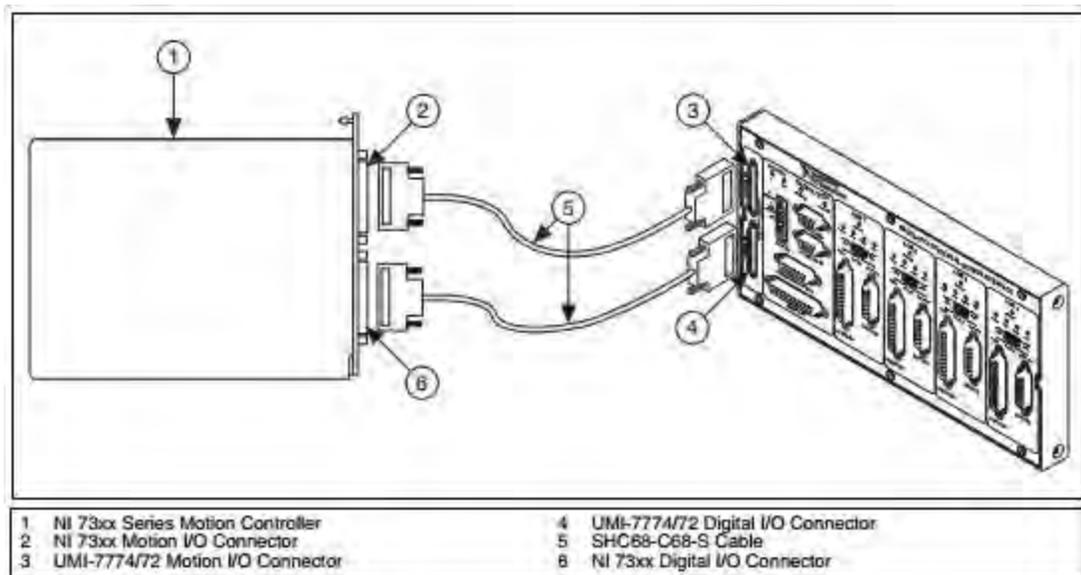


Fig. 56. Conectores de interfaz UMI7774 y localización de switch y LEDs

La UMI-7774 incluye las siguientes características:

- Conectividad D-SUB, que proporciona conectividad fácil y duradera a los dispositivos de terceros.
- 5 a 30 V de límite y de referencia, además de tener compatibilidad con sensores.
- Entradas globales de stop en todos los ejes.
- Aislamiento óptico de señales de inhibición. Permite 24 VDC de capacidad de señalización. Además, el aislamiento puede ayudar a romper los lazos de tierra en el sistema y reducir los efectos de los transitorios de ruido y de tensión.
- LEDs indicadores del estado global en cada eje.
- El acceso a ocho entradas digitales y ocho salidas digitales.

Físicamente la tarjeta de control de movimiento se puede conectar al UMI 7774 de acuerdo a como se muestra en el siguiente esquema.



*Fig. 57 Conexión de la tarjeta de control de movimiento.*

Teniendo un panorama más externo sobre las conexiones de esta interfaz, se puede visualizar un sistema formado por los siguientes elementos para un montaje más completo.

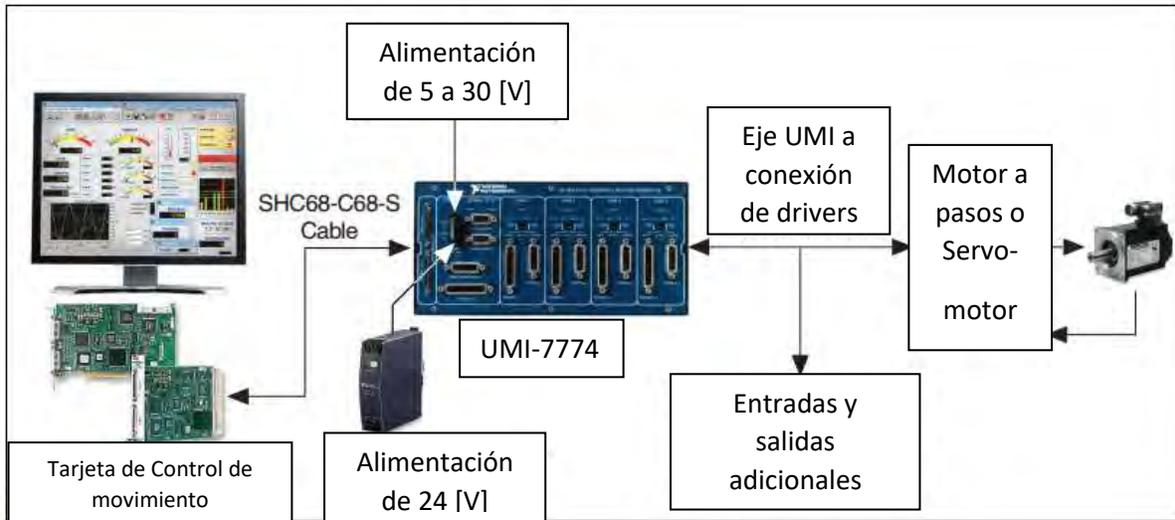


Fig. 58 Diagrama general de conexiones.

Para el control de cada eje, en el UMI 7774 debe conectarse por medio de un conector DB-15 el motor a pasos, que en este proyecto, fungirá como actuador del sistema como tal. Dicho conector DB-15 debe ir en el apartado que se muestra a continuación:

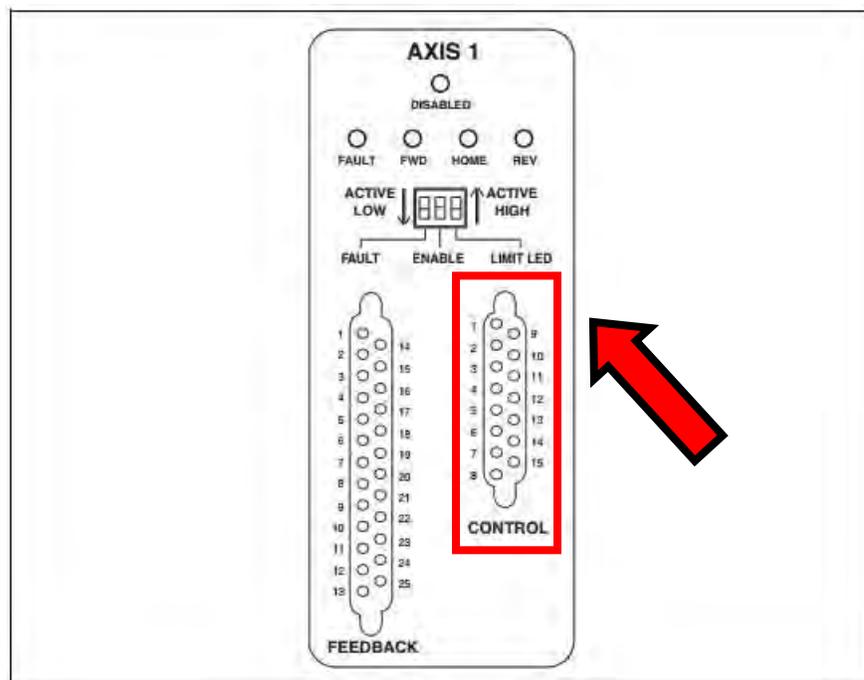


Fig. 59 Conexiones para control de cada eje y su respectiva retroalimentación; Localización de LEDs indicadores y Switches.

Para saber que pines van conector al actuador y cuáles no, se tiene que tomar en cuenta la siguiente tabla que nos permite visualizar estas características.

Pin	Signal	Optically Isolated
1	Analog Output	No
2	NC	No
3	+5 V <sup>†</sup> (Output)	No
4	Step (CW)	No
5	NC	No
6	Enable	Yes
7	Fault +	Yes
8	V <sub>iso</sub> (Output)	Yes
9	Analog Output Ground	No
10	Digital Ground	No
11	Digital Ground	No
12	Dir (CCW)	No
13	NC	No
14	Fault -	Yes
15	C <sub>iso</sub>	Yes

*Tabla 8. Pines del conector DB-15 Control de Movimiento*

**Las señales que se necesitan para lograr hacer funcionar los actuadores, en este caso motores a pasos, son las siguientes:**

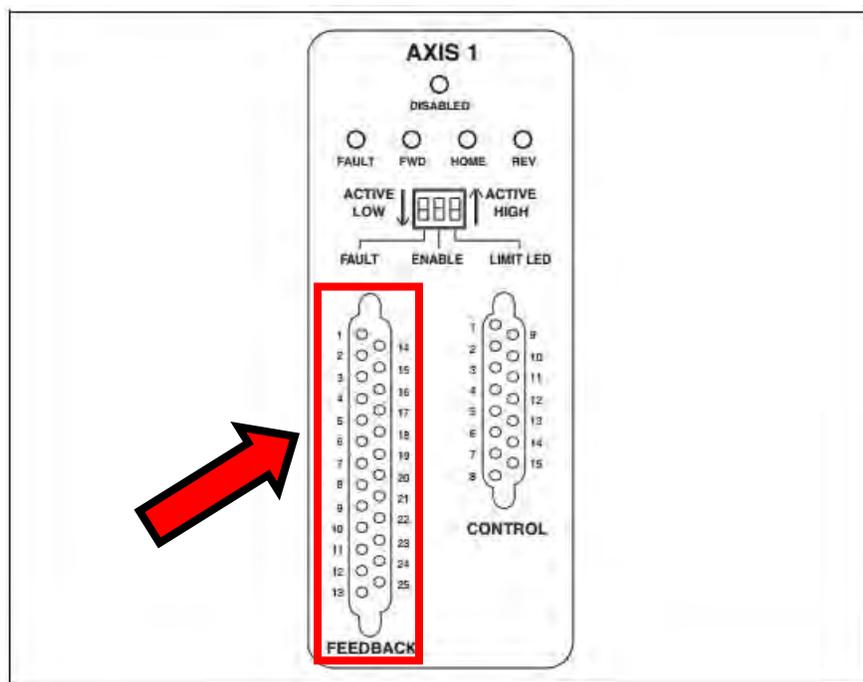
**Enable:** Habilita y deshabilita el actuador

**Power:** Esta es la señal de alimentación del actuador.

**Modo Pulse/Dir:** El driver paso a paso recibe pulsos de tensión como señal de paso y niveles de tensión como señales dirección. El desplazamiento depende del número de pulsos, la velocidad es proporcional a la frecuencia de los pulsos. El sentido de giro depende del nivel de tensión en la entrada DIR. (<http://stepmotor.biz/es/smsd.htm>)

## Retroalimentación.

En la interfaz UMI 7774 se tiene una conexión DB-25 que funciona como conector de retroalimentación para cada eje. Cada eje conectado al UMI-7774 tiene un conector DB-25 a la que se puede cablear codificadores incrementales, límites y sensores. Retomando la figura siguiente podemos ver donde se conecta dicha retroalimentación.



*Fig. 59 Conexiones para control de cada eje y su respectiva retroalimentación; Localización de LEDs indicadores y Switches.*

Para visualizar que representa cada pin en esta conexión DB-25 de la retroalimentación, tenemos que tomar en cuenta la descripción en la tabla que se muestra a continuación. Es importante recordar que la parte que a este proyecto le interesa es la de movimiento, por lo cual nos concentraremos en la parte de habla sobre los límites.

<b>Pin</b>	<b>Signal</b>	<b>Optically Isolated</b>
1	Encoder Phase A	No
2	Encoder Phase B	No
3	Encoder Index	No
4	+5 V (Output) <sup>†</sup>	No
5	Reserved	No
6	Reserved	No
7	Reserved	No
8	+5 V (Output) <sup>†</sup>	No
9	NC	No
10	Forward Limit	Yes
11	Home Input	Yes
12	Reverse Limit	Yes
13	V <sub>ss</sub> (Output)	Yes
14	Encoder Phase A-	No
15	Encoder Phase B-	No
16	Encoder Index-	No
17	Digital Ground	No
18	Digital Ground	No
19	Digital Ground	No
20	Digital Ground	No
21	NC	No
22	C <sub>ss</sub>	Yes
23	C <sub>ss</sub>	Yes
24	C <sub>ss</sub>	Yes
25	C <sub>ss</sub>	Yes

Tabla 9. Pines Conexión DB-25 Control de Movimiento

## **Entradas de referencia y límites de carrera.**

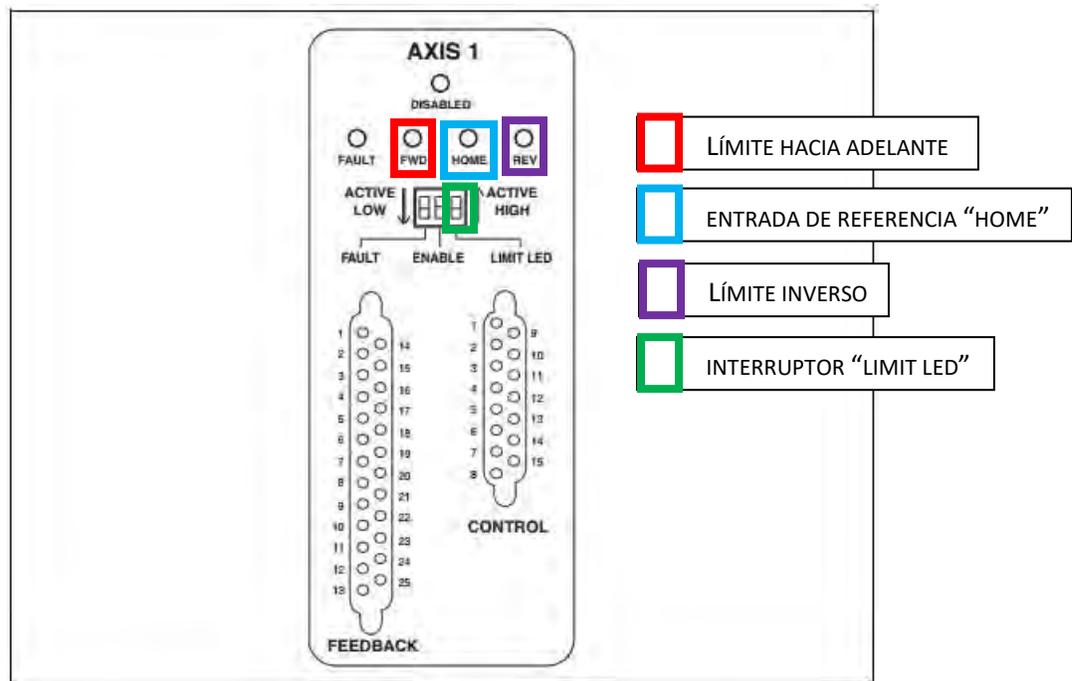
La UMI-7774/72 tiene conexiones disponibles para el límite hacia adelante, marcha atrás, límite y sensores caseros o interruptores. Los sensores o interruptores de límite normalmente se encuentran en los extremos físicos de los carriles o vías de un sistema determinado. El sensor de inicio o interruptor puede estar situado en cualquier posición de referencia dentro de la gama de desplazamiento.

Es importante tomar en cuenta que para hacer que la corriente fluya a través de la entrada, el voltaje aplicado al límite debe ser mayor que 3,5 V y menos de 30 V. Cuando el voltaje aplicado está por debajo de 2 V, la entrada resultó en una condición de apagado.

Para que los límites de final de carrera funcionen correctamente, el límite hacia adelante debe estar ubicado en el final de la marcha, y el límite inverso debe estar ubicado en el extremo negativo de la marcha o inicio (referencia) del desplazamiento que va a realizar.

## **Indicadores del estado de referencia y límites.**

La interfaz UMI-7774 tiene LEDs amarillos de estado para el límite hacia adelante, límite inverso, y las señales de entrada de referencia. En la Figura 14 se puede ver la ubicación de estos LED' s; además, es posible configurar estos LEDs indicadores mediante el interruptor para el eje marcado LIMIT LED. La posición inferior del interruptor corresponde a la posición de activo bajo y la posición hacia arriba del interruptor corresponde a una configuración de activo alto. Lo anterior se muestra en la siguiente imagen:



*Fig. 59 Conexiones para control de cada eje y su respectiva retroalimentación; Localización de LEDs indicadores y Switches.*

El UMI-7774 tiene un solo conector D-SUB de 9 pines para la conexión de parada global (o STOP GLOBAL). Este conector incluye la inhibición de todas las señales de apagado de entrada. En la Figura 26 se localizan las ubicaciones de las clavijas del conector Global de parada y en la Tabla 6 las señales para cada pin correspondiente. Además en la Figura 1 se puede localizar el conector Global Stop en el UMI-7774.

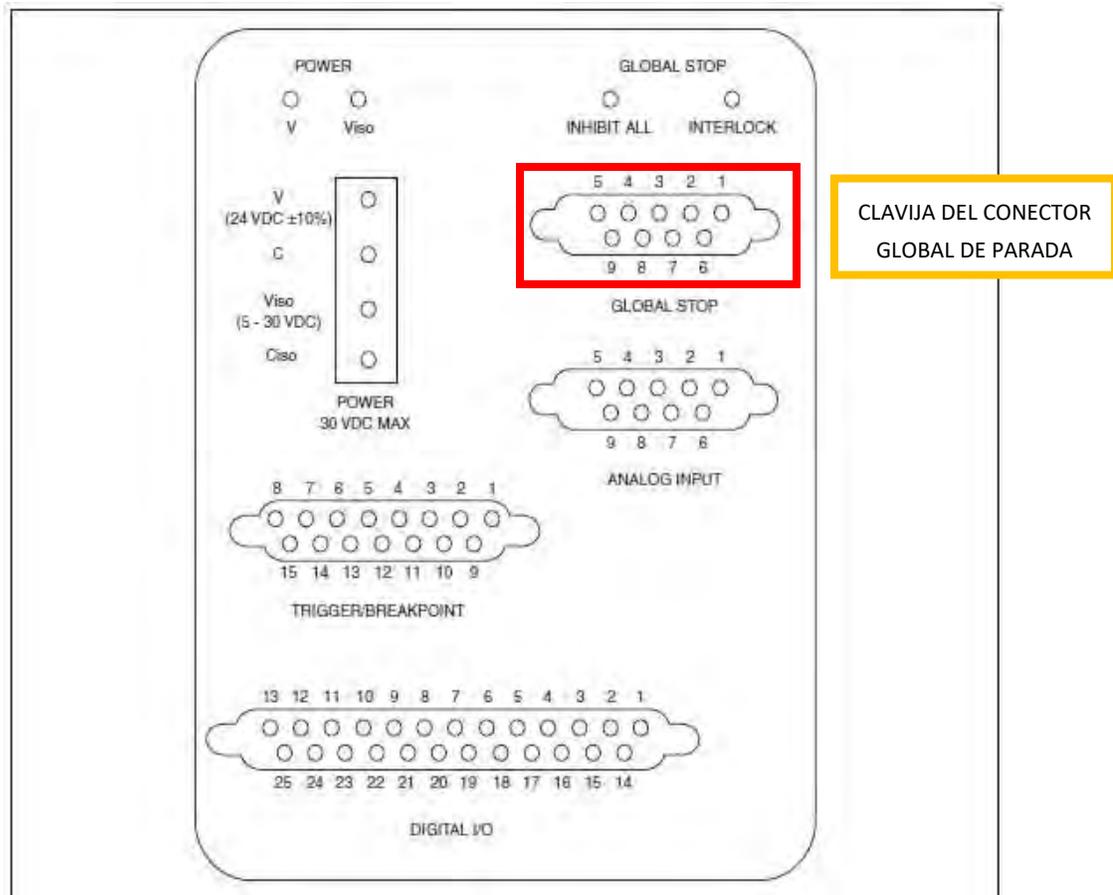


Fig. 60. Localización del Paro Global, entradas analógicas, disparo/punto de interrupción y conexiones de entradas y salidas digitales

Table 6. Global Stop Connector Pin Assignment

Pin	Signal	Optically Isolated
1	Shutdown	Yes
2	Inhibit All	Yes
3	NC	No
4	NC	No
5	V <sub>iso</sub> (Output)	Yes
6	C <sub>iso</sub>	Yes
7	C <sub>iso</sub>	Yes
8	C <sub>iso</sub>	Yes
9	C <sub>iso</sub>	Yes

Tabla 10. Pines de Paro Global

Basándonos en la Tabla número 6, se puede leer lo siguiente:

**Inhibit All (Todo inhibir):** Esta señal es como una inhibición global, y cuando éste está activado, desactiva todas las salidas de todos los ejes que están conectados a la interfaz UMI-7774.

### **Apagar (Shutdown):**

La señal de apagado se pasa a través del controlador de movimiento y por lo general se utiliza para desactivar al controlador.

**Nota:** No se deben olvidar las siguientes condiciones:

- ✓ El voltaje aplicado para inhibir Todas las entradas debe ser mayor que 3,5 V y menos de 30 V. Además
- ✓ La fuente debe ser capaz de proporcionar al menos 7,2 mA
- ✓ Cuando el voltaje aplicado está por debajo de 2 V, la de entrada resulta en una condición OFF.

### **Tarjeta de Control TB6560AHQ**

Esta tarjeta de control por medio de relevadores es utilizada en el proyecto para poder hacer el swicheo entre el uso de la plataforma de Mach 3 y el uso de Motion Assistant de National Instruments-

La tarjeta cuenta con drivers ya predeterminados que permiten el uso de los motores a pasos conectados directamente a ella, además permite controlar hasta 4 ejes por medio de estos actuadores. Cabe mencionar que esta tarjeta es usada para máquinas CNC pero en este proyecto se adaptó para que pudiera cumplir el proyecto con los requerimientos de precisión y posicionamientos deseados.

Además la tarjeta cuenta con dos pines que actúan como corto circuito, que en la aplicación de CNC sería para accionar o no el husillo; sin embargo en este sistema permite

activar o no la emisión láser, así como el accionamiento de electroválvulas que controlan el suministro de gas nitrógeno para auxiliar al corte en metales.

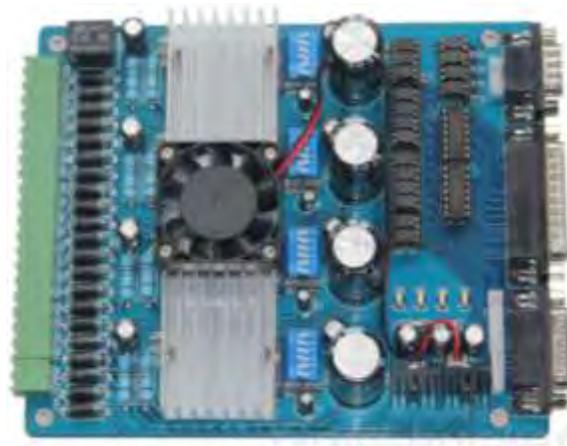


Fig. 61 Tarjeta Control de 4 Ejes CNC TB6560AHQ.

### Sistema de simulación de trayectoria.

El sistema de simulación de la trayectoria está a cargo de la plataforma para máquinas CNC de Mach 3, que permite leer una trayectoria trazada en el software de Solid Works y con ayuda de la plataforma de Lazy Cam traduce dicho dibujo de trayectoria en código G que el sistema lee y traduce en el movimiento de los actuadores para posicionar correctamente la pieza que se va a cortar con el fibra láser.

El protocolo de generación del código G a partir de una trayectoria dibujada cualquiera se enuncia en el capítulo 5 de este presente trabajo.



Fig. 62 Código G en Plataforma Mach 3

---

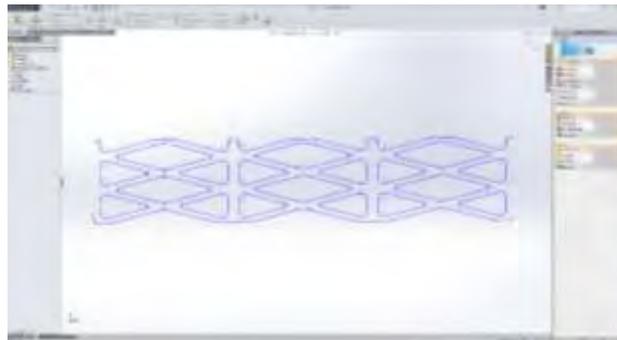
## Capítulo 5. Pruebas y Resultados

---

### Sistema de Simulación de Trayectoria (Tarjeta de Control Software).

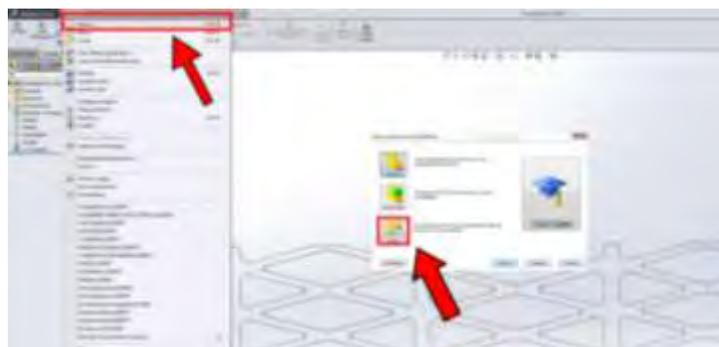
En esta etapa se implementó todo un protocolo para poder llevar a cabo la comunicación del hardware y del software del sistema de posicionamiento como tal; dicho protocolo se muestra a continuación:

En primer lugar se realiza el CAD del perfil deseado. En este caso se realiza con ayuda del software Solid Works en su configuración de dibujo de pieza.



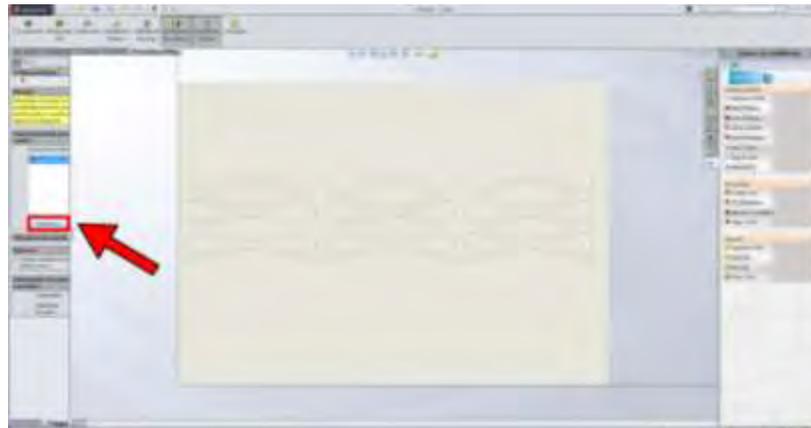
*Fig. 63 Perfil dibujado en Solid Works.*

Teniendo ya el perfil dibujado en el software se elige la opción << Nuevo >> que se encuentra en el menú Archivo; posteriormente se selecciona la opción de dibujo.



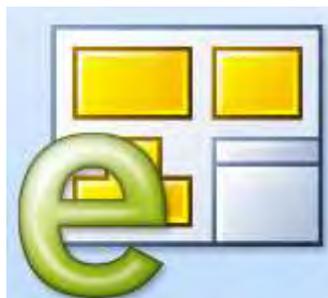
*Fig. 64. Modo de dibujo en Solid Works*

Se selecciona examinar y se abre el archivo que se tenía previamente



*Fig. 65. Perfil de SolidWorks en dibujo*

Después se selecciona la opción de “Guardar cómo”, en el menú Archivo, y en tipo la extensión .dxf, y finalmente nos genera el archivo .dxf listo para el siguiente paso, que es procesarlo en el software LazyCam.



*Fig. 66. Icono de archivo .dxf*

Se utiliza un software para máquinas CNC (Máquinas de Control Numérico) con el cual se va a seguir procesando el archivo para el control de hardware ya establecido anteriormente.

Se abre la plataforma de Mach 3 en su modo de plasma; para ello ingresamos en el icono que se muestra y posteriormente seleccionamos la opción de plasma que nos permite hacer la analogía del funcionamiento del sistema del corte láser con el del funcionamiento de la emisión de un plasma.

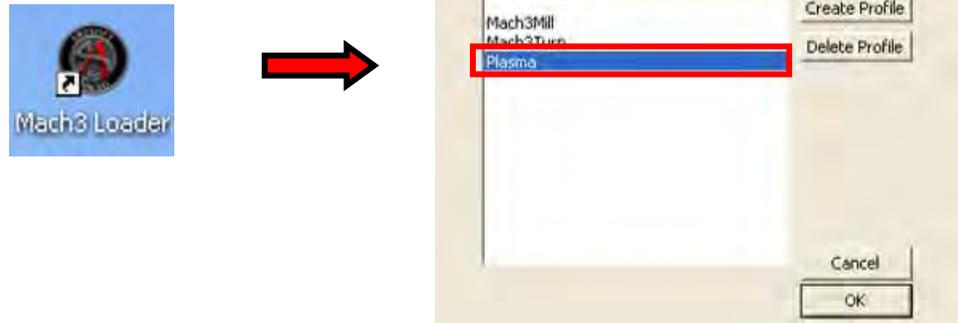


Fig 67. Sesión en plataforma Mach 3, en su modo Plasma.

Cuando es programa abre, aparece una pantalla como la que se muestra a continuación y en la cual se selecciona en la parte del menú la opción de archivo y posteriormente Lazy Cam

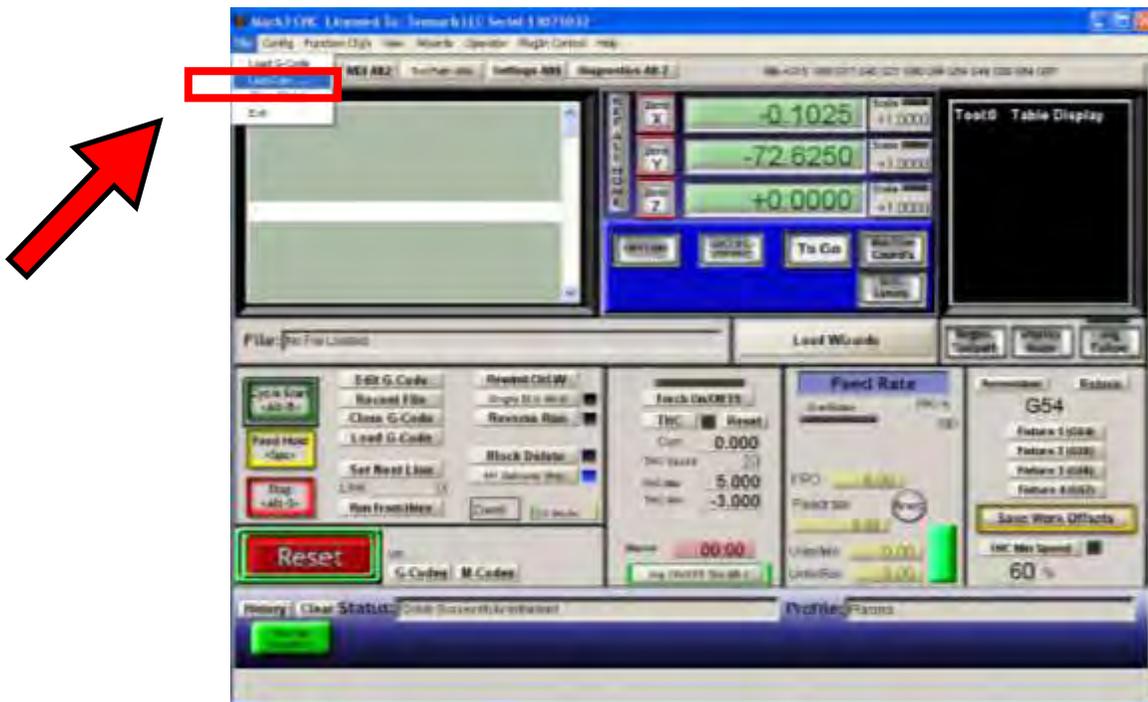


Fig. 68. Pantalla principal de Mach 3

Posteriormente ya en Lazy Cam nos vamos al menú File y se selecciona abrir nuestro archivo con extensión .dxf

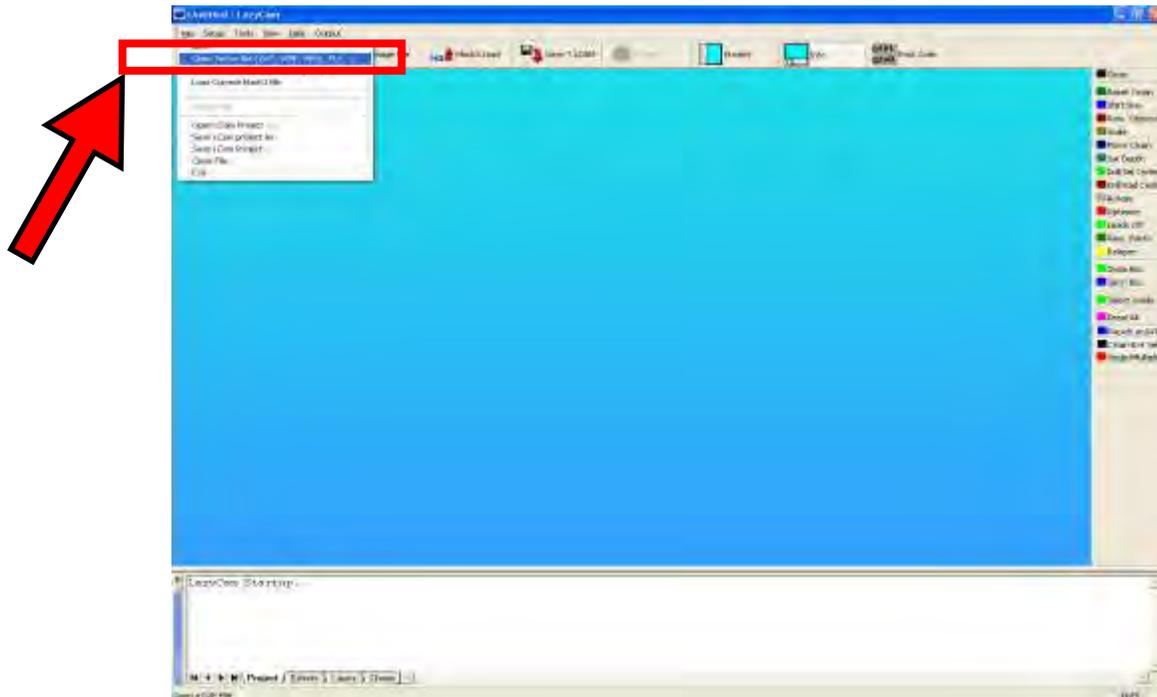


Fig 69. pantalla de Lazy Cam

Después se busca el archivo .dxf y se abre

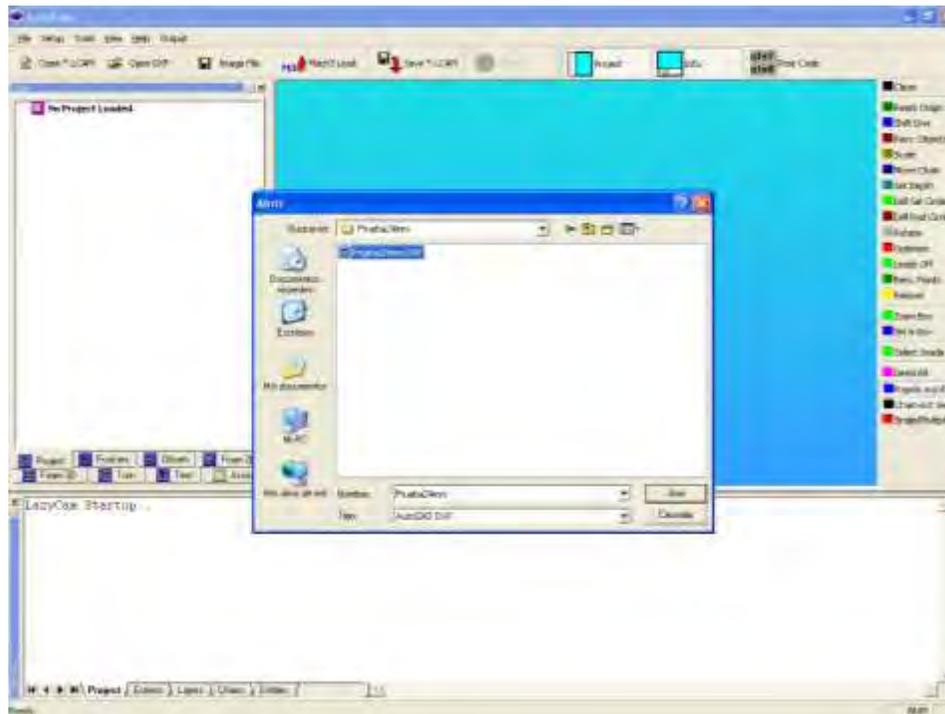


Fig. 70 Inicio de Generación del Código G

Se selecciona la opción de plasma de las tres que nos muestra la pantalla.

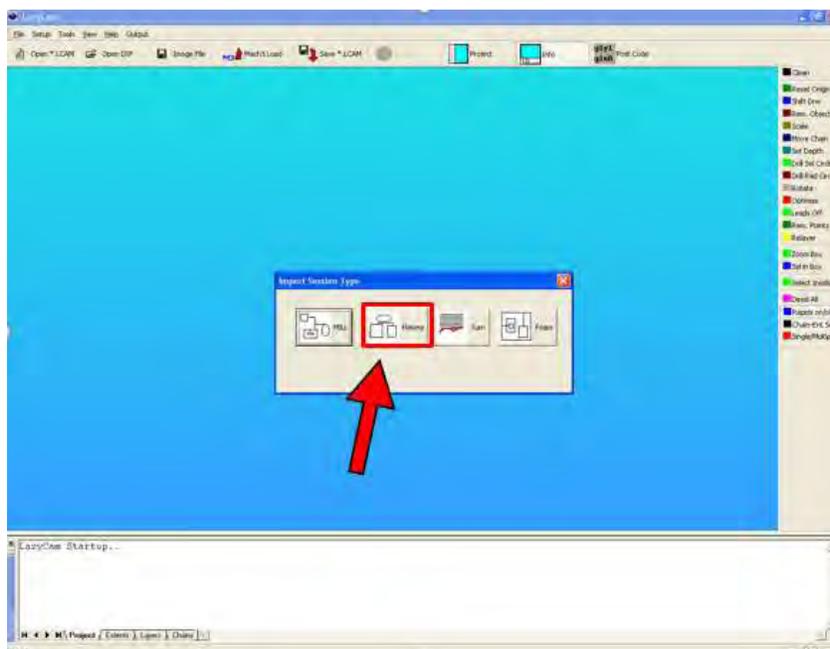


Fig. 71. Selección del Modo Plasma en Lazy Cam

Una vez abierto nuestro archivo, se visualizará en la pantalla el perfil que previamente se había dibujado.

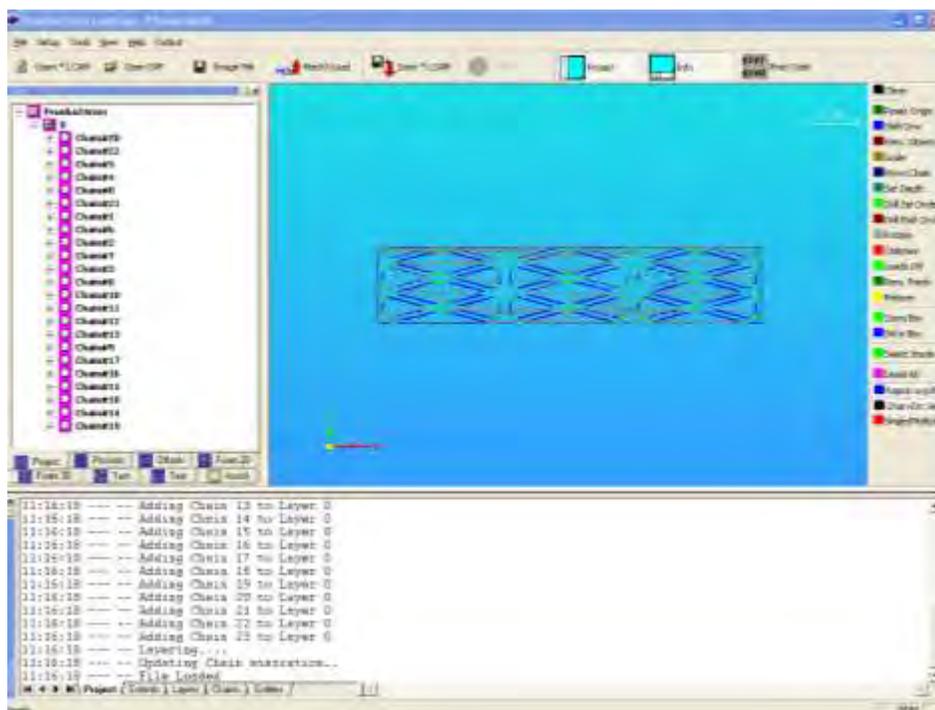


Fig. 72 Perfil exportado de Solid Works a Lazy Cam

Las líneas punteadas son trayectorias de posicionamiento, para poder realizar la operación que se pide en el programa y generar el perfil. Es posible optimizar estas trayectorias en tiempo y forma, para lo cual se comienza con “limpiar” este proceso, y para ello se selecciona “Clean”.

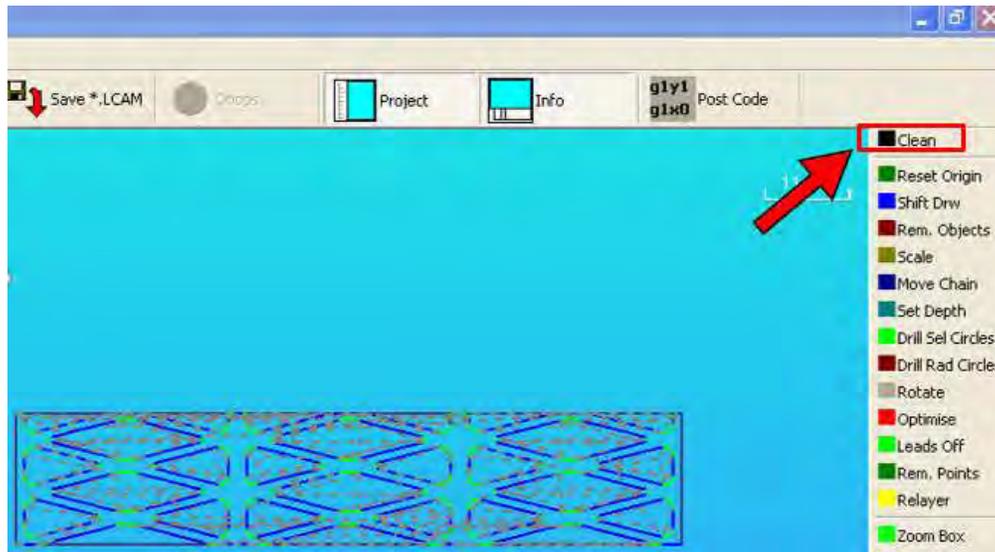


Fig. 73. Limpieza de Líneas de trayectoria

Realizando la limpieza quedara el perfil de la siguiente manera, con menos líneas de trayectoria.

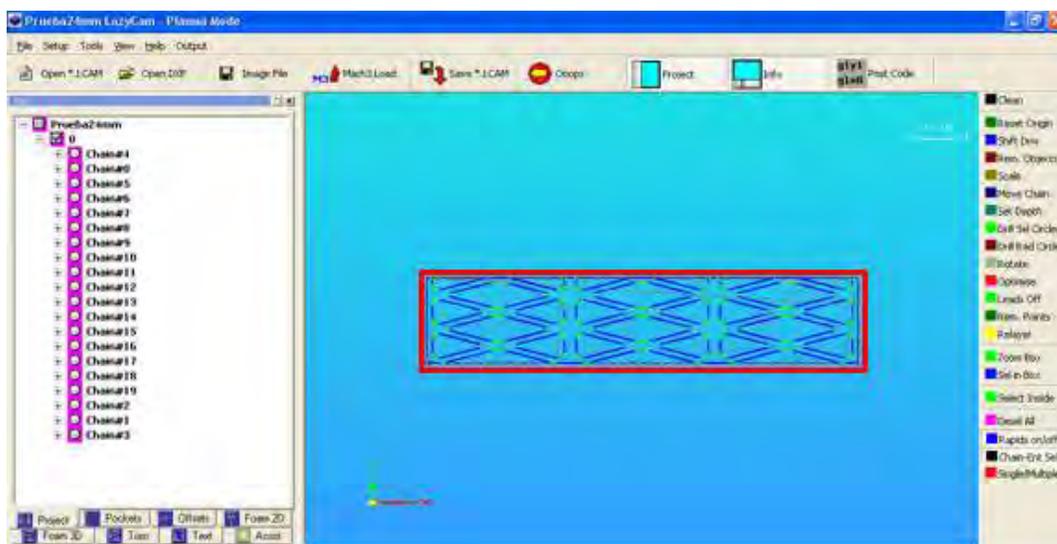


Fig. 74 Trayectorias generadas en Lazy Cam

Del lado izquierdo se tienen todas las curvas del perfil ordenadas de manera aleatoria, por lo que se necesita optimizar tiempo al ordenarlas de una manera continua y menos dispersa. Esto se lleva a cabo seleccionando las curvas (chain) y arrastrándolas con el mouse ordenándolas del lado izquierdo.

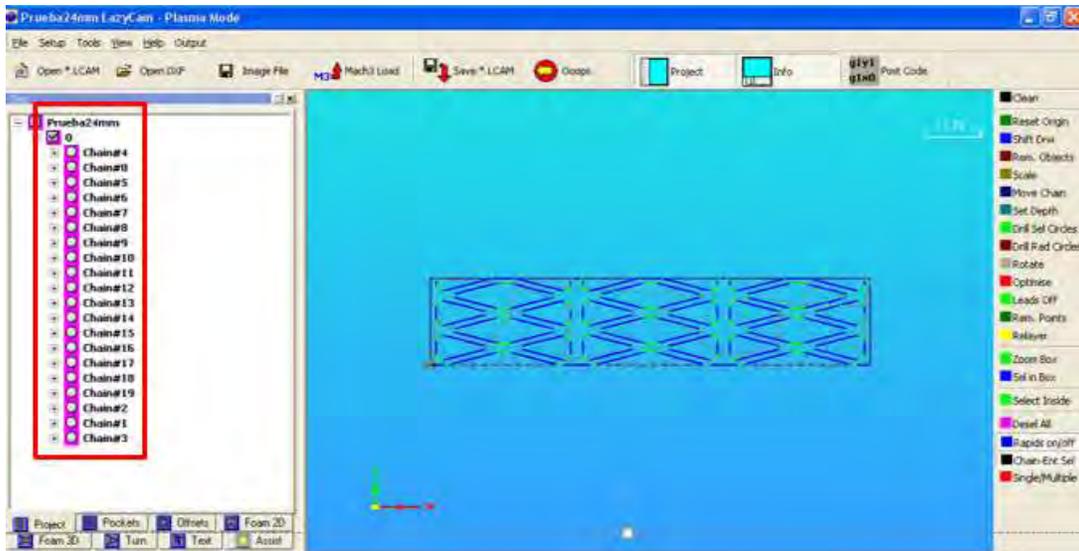


Fig. 75. Re-orden de trayectorias para optimizar tiempo

Realizando lo anterior, la secuencia de la operación queda de la siguiente manera:

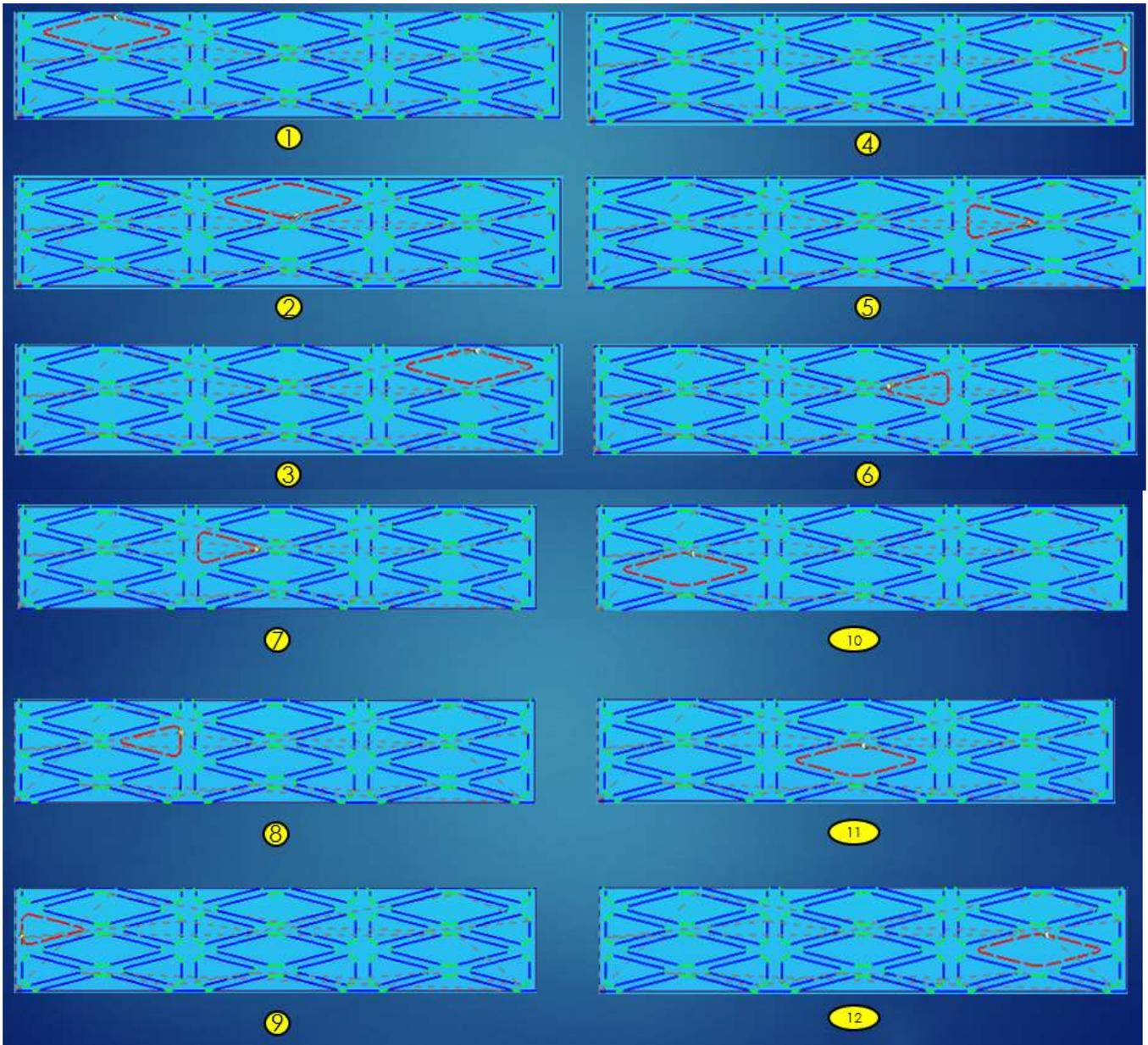


Fig. 76. Secuencia de trayectoria final de movimiento en Lazy Cam

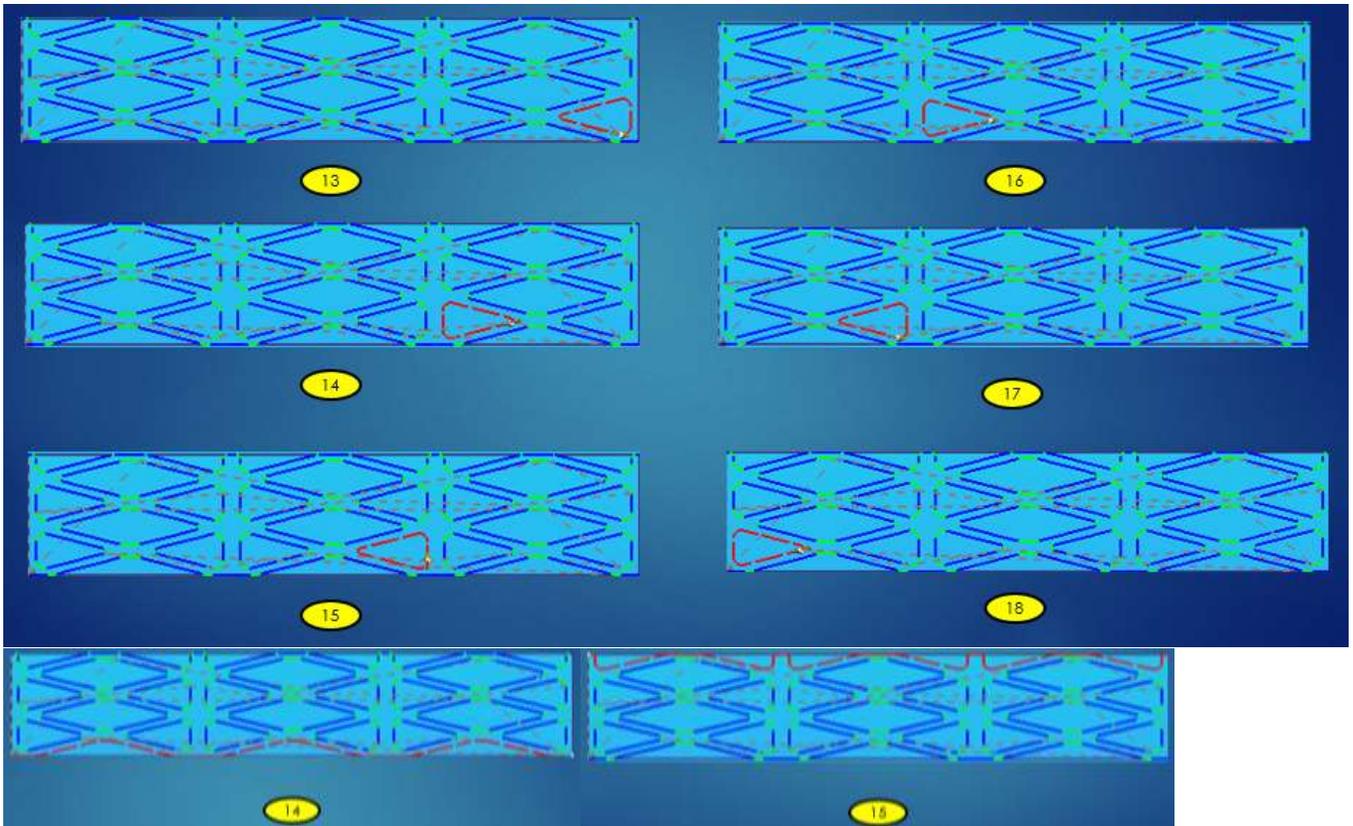


Fig. 76. Secuencia de trayectoria final de movimiento en Lazy Cam

Y así queda finalmente ordenado de acuerdo al patrón que se eligió, sin importar la numeración de las curvas

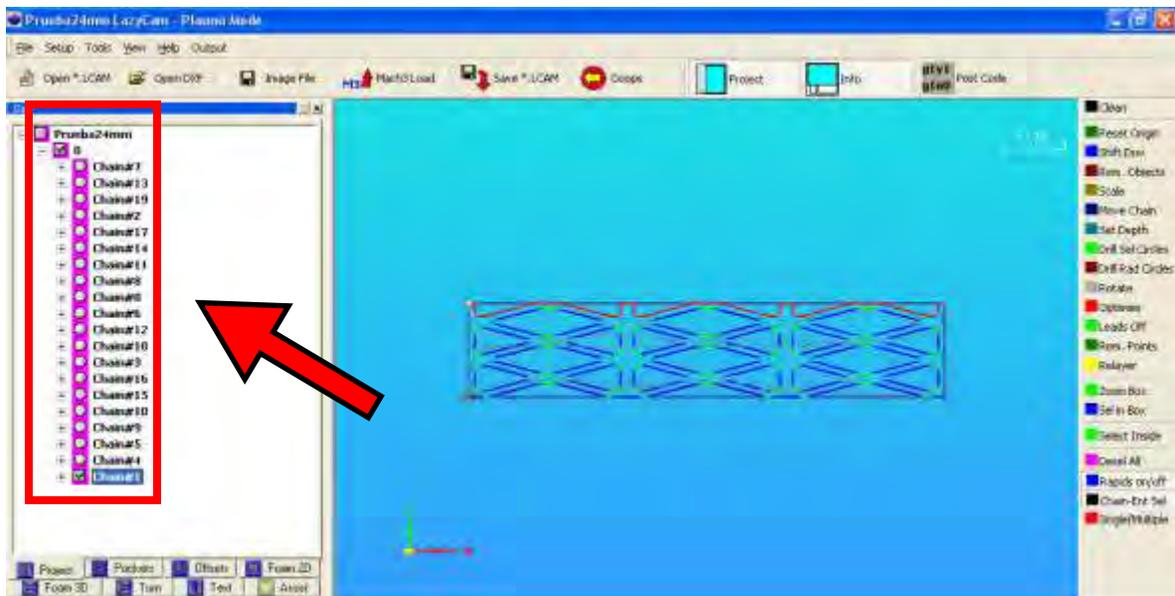


Fig. 77. Patrón final de simulación en Lazy Cam

Es necesario modificar algunos parámetros antes de generar el código G para el sistema del Fibra Láser, recordando que esto permitirá caracterizar dicho código para su correcto funcionamiento.

En la pestaña inferior de “layers” se modifican los valores de

- Cut Hight
- Start Height
- Rapid Height
- Plunge Feed
- FeedRate

Como se muestra a continuación:

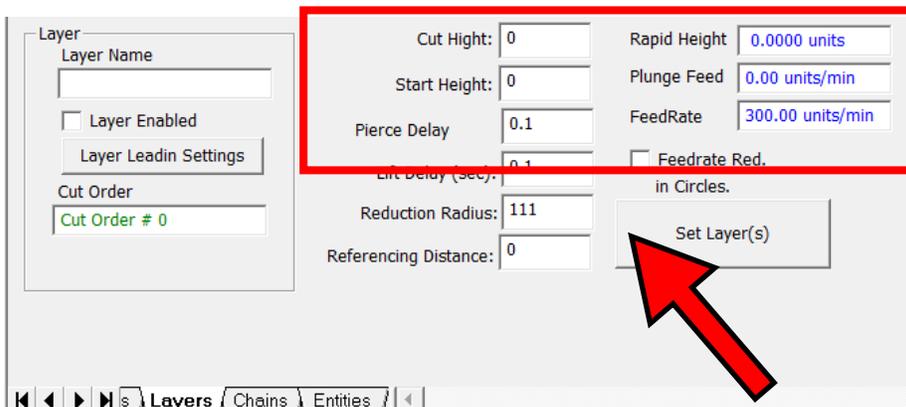


Fig. 78 Parámetros para generación de Código G.

Es importante guardar el trabajo que se acaba de terminar de hacer en LazyCam, así que se procede a hacerlo en la parte del menú que se indica y guardarlo en donde se requiera dicho archivo.

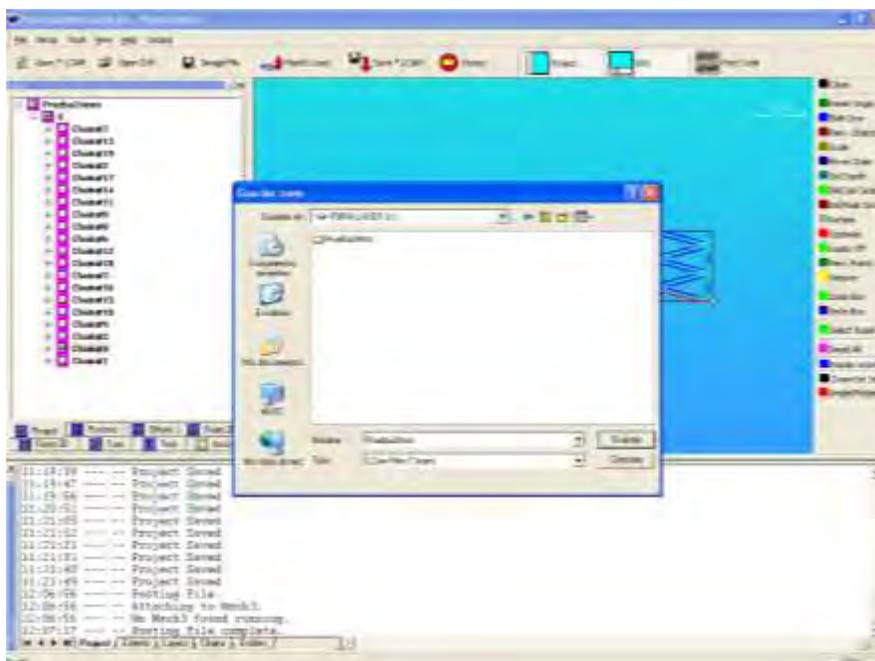


Fig. 79 Guardado del proyecto generado en Lazy Cam

Para generar finalmente el código G seleccionamos el botón indicado y a continuación el software nos dirá que realizó el código y en que dirección lo guardó.

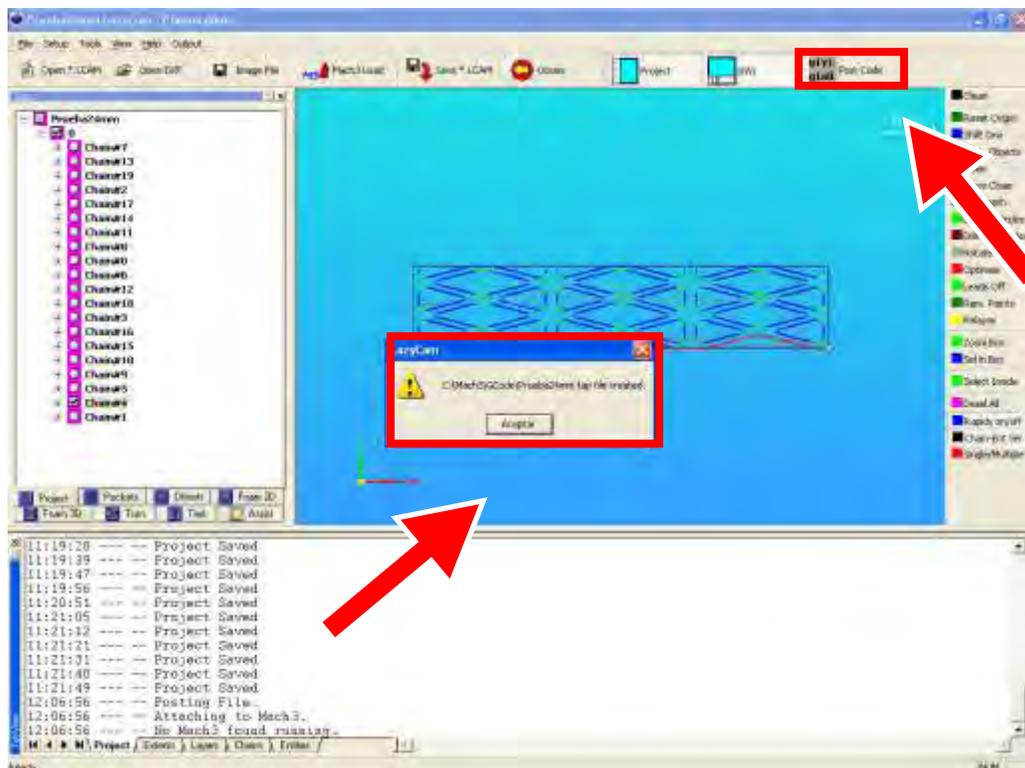


Fig 80. Código G generado y guardado en la dirección mostrada

Para realizar las pruebas del sistema de posicionamiento, se realizó el protocolo para la generación de la trayectoria arriba expuesta.

En dichas pruebas que se realizaron con el sistema de posicionamiento del cortador fibra láser, se tuvieron los siguientes parámetros en cuanto a los ejes:

Eje	Pasos por revolución (pasos/rev)	Velocidad (mm/min)
Eje X	257	694.2
Eje Y	320	646.8
Eje A	320	799.8

Tabla 11. Parámetros finales de movimiento para los motores a pasos

Y para los drivers se tuvieron también parámetros preestablecidos, los cuales se muestran a continuación:

Driver	Modelo	Configuración (Pulsos/rev)
Eje X	<b>DQ420MA 2H Microstep driver</b>	<b>400</b>
Eje Y	<b>DM860A 2H Microstep driver</b>	<b>400</b>
Eje A	<b>DM542A 2H Microstep driver</b>	<b>400</b>

Tabla 12. Parámetros finales de los drivers

Las pruebas consistieron en realizar el corte de un perfil determinado en metal (Acero 316L) con el fin de poder determinar la precisión y calidad del corte de acuerdo al sistema de posicionamiento. A continuación se muestra la fotografía de la última prueba que se realizó con el sistema completo y con el perfil trazado y mostrado en el protocolo de prueba.



*Fig. 81. Fotografía tomada en el Instituto Nacional de Cardiología “Ignacio Chávez”*

## Conclusiones:

En base al proyecto realizado aquí expuesto se obtuvieron nuevos conocimientos y herramientas desde el punto de vista de ingeniería, permitiéndonos así una formación más sólida como profesionistas y dándonos la oportunidad de aportar al país un impulso importante en esta nueva faceta de su historia y en un área tan fundamental como es la biomédica.

Además de ello, se tuvo la oportunidad de trabajar con tecnología de última generación de National Instruments, ampliando así un horizonte cada vez más tangible de nuevas aplicaciones, como en la ingeniería biomédica, para poder resolver problemas de mortalidad que tanto afectan a la población y reducen su calidad y esperanza de vida.

El aprendizaje de las plataformas de LabView y Match 3 no se queda atrás, ya que es una forma en la que la ingeniería nos muestra su versatilidad y aplicación insustituible a la hora de enfrentar problemas de la escala que sea y que permite un impulso realmente importante para la formación de cualquier profesionista y del área en el que se aplique.

En la cuestión mecánica se pudo observar que en el sistema de tres ejes lineales resultó obsoleto para la cumplir con los alcances de este proyecto, así que con la implementación de los dos ejes lineales (Eje X y Eje Y) y el Eje Rotacional, resultó satisfactorio el resultado obtenido.

Los motores fueron parte importante de este sistema, ya que fue necesario dentro de su etapa de potencia (Drivers), incluir un control para el número de pasos y corriente que cada uno de ellos necesitaba para funcionar correctamente.

En la parte de software, resultó importante el poder adaptar el sistema para perfiles complejos por medio de la plataforma de Mach 3, ya que así no importó que tan específico fuera el perfil que se iba a correr en el sistema de posicionamiento, si tenía o no líneas curvas o rectas, o si necesitaba figuras regulares o relativamente complejas, al final por medio de la vectorización del perfil de Solid Works en LazyCam y la generación del Código G que se corría en Mach 3 como una secuencia en una máquina de control numérico, se lograron obtener los perfiles de manera satisfactoria y precisa.

Durante el proceso de este proyecto fue necesario la adopción del uso de nuevas tecnologías para su correcta construcción y terminación de una manera satisfactoria. Estas tecnologías abarcan desde el uso de motores NEMA, que anteriormente no se habían usado en el transcurso de la carrera, así como el uso una plataforma en máquinas de control numérico, que, cabe mencionar, fueron necesarias adaptar para la implementación de los dos ejes lineales y el eje rotacional.

Además de lo anterior fue necesario el uso de tecnología de National Instruments que nunca se había visto y mucho menos usado (Interfaz Universal de Usuario), pero que al final resultó muy satisfactoria el adaptarse a una nueva manera de trabajar y manejar la tecnología que no se tenía conocimiento de su existencia para poder realizar este proyecto.

Es importante destacar esta aplicación de posicionar la fibra láser y realizar un corte en metales, ya que permitirá a México en un futuro producir sus propios dispositivos y soportes con aplicación biomédica para beneficio de la sociedad, y con ello, aportar un granito de arena en la prevención y tratamiento de enfermedades cardiovasculares en el país.

## Trabajo a Futuro

En este trabajo se presenta el proyecto de manera funcional y eficiente, ya que cumple con el objetivo planteado al inicio de este escrito. Sin embargo, existen posibles mejoras que se pueden implementar en el sistema en un futuro, como se enumerar a continuación:

- ✓ Reducción de la masa total de la estructura que soporta al sistema láser, pudiendo mejorar el proyecto con la utilización de nuevos materiales más ligeros y resistentes.
- ✓ La implementación de motores con mayor potencia, menores dimensiones y masa.
- ✓ La extrapolación de la programación de las trayectorias que se ejecutan en la plataforma de Mach 3, a un sub VI que se podría ejecutar con la ayuda del software de LabView.
- ✓ La implementación de la trayectoria no sólo en el corte de perfiles tubulares, sino en perfiles planos o en cuerpos irregulares de geometría compleja.

## Referencias.

[1].

Angioplastia con stent vs. Cirugía de revascularización coronaria en enfermedad multivaso (ACIRE).

Andrés Fernández, MD. Instituto Cardio Neuro Vascular CORBIC.

Versión electrónica consultada 06/03/16

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-56332009000200002](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56332009000200002)

1.

Centro de Láseres Pulsados

Láseres

España

Versión Electrónica Revisada 08/02/16

<http://www.clpu.es/divulgacion/bits>

2.

Centro de computación de Chile, ID42A Ciencia de los materiales II.

Implantes Óseos

Chile, 2002

Versión electrónica revisada 09/02/16

[http://www.cec.uchile.cl/~mpilleux/id42a/link\\_main.html](http://www.cec.uchile.cl/~mpilleux/id42a/link_main.html)

3.

[Ingeniería de Control Moderna, Katsuiko Ogata, Edit. Pearson, 2003](#)

4.

Diseño e implementación de una interfaz máquina-usuario en LabView para el control de un sistema de posicionamiento automatizado.

William Hidber Cruz

México, 2010

5.

Rollon Group tecnocenter.

Versión electrónica revisada 15/02/16

<http://www.directindustry.es/prod/tecno-center/product-27794-204173.html>

6.

WECKENMANN

Versión electrónica revisada 16/02/16

<http://www.weckenmann.com/es/temas-y-tecnolog%C3%ADa/t%C3%A9cnica-y-procedimiento/nuevo-sistema-de-posicionamiento-robotizado-de-precisi%C3%B3n-con-tecnolog%C3%ADa-l%C3%A1ser/>

7.

Universidad de la Laguna. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil e Industrial.

Kevin Mínguez Olivero

Sistema de posicionamiento XYZ

Septiembre, 2014

8.

Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico – mecánicas

Olga Andrea Mateus Peñaloza

Control y caracterización para un sistema de posicionamiento de 4 grados de libertad. Diseño e implementación.

Bucaramanga, 2004

9.

Versión electrónica revisada 17/02/16

<http://www.todorobot.com.ar/tutorial-sobre-motores-paso-a-paso-stepper-motors>

10.

Schneider Electric

Versión electrónica revisada 18/02/16

[http://www.equiposdidacticos.com/img/desarrollos/MESAXY\\_WEB.pdf](http://www.equiposdidacticos.com/img/desarrollos/MESAXY_WEB.pdf)

11.

Giis Ingeniería. Inteligencia para la industria.

Versión electrónica revisada 18/02/16

<http://www.giis.com.ar/distribucion/control%20mov.htm>

12.

Gobierno de Perú. Ministerio de Salud

Versión electrónica revisada 18/02/16

<http://www.digemid.minsa.gob.pe/Main.asp?Seccion=760>

13.

Versión electrónica revisada 27/02/16

<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/203937>

14.

Versión electrónica revisada 27/02/16

<http://factorelectrico.blogspot.mx/2014/01/que-significa-nema.html>

15.

Versión electrónica revisada 27/02/16

<http://www.piclist.com/techref/io/stepper/nemasizes.htm>

16.

Versión electrónica revisada 27/02/16

[http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso2/Temario2\\_IV.html](http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso2/Temario2_IV.html)

17.

Versión electrónica revisada 27/02/16

<https://www.toolmex.com/customer/docs/MegaCatalog/2012/Spanish/Herramienta%20de%20Sujeci%C3%B3n%20BISON-BIAL.2014.05.28.pdf>

18.

Versión electrónica revisada 27/02/16

[http://www.agelectronica.com/Virtual\\_Shop/index.asp?tags=INSTRUMENTACION,FUENTE,5V#](http://www.agelectronica.com/Virtual_Shop/index.asp?tags=INSTRUMENTACION,FUENTE,5V#)

19.

Versión electrónica revisada 27/02/16

<http://www.softwarecadcam.com.mx/software/mach3.html>

20.

Versión electrónica revisada 27/02/16

<http://www.peu.net/syil/mach3.pdf>

21.

Versión electrónica revisada 28/02/16

<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/11091>

22.

Versión electrónica revisada 28/02/16

<http://www.kmt-waterjet.es/cortar-metales-01.aspx>

23.

Versión electrónica revisada 29/02/16

<http://www.arlam.com.mx/corte-por-plasma/>

24.

Versión electrónica revisada 29/02/16

<http://www.mecalux.com/external/magazine/40972.pdf>

25.

Versión electrónica revisada 29/02/16

<http://www.artinaid.com/2013/04/que-es-el-oxicorte/>

26.

Versión electrónica revisada 29/02/16

<http://perezcamps.com/blog/index.php/ventajas-del-laser-de-fibra-respecto-otros-para-el-corte-de-metales/>

27.

Versión electrónica revisada 01/03/16

<https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/007473.htm>

28.

Versión electrónica revisada 01/03/16

<http://secardiologia.es/multimedia/blog/2871-protisis-transcateter-pacientes-no-operables-con-estenosis-aortica-severa>

[32].

Versión electrónica revisada 06/03/16

<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn44.html#seccion32>

[33]

Versión electrónica revisada 06/03/16

[http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5272051&fecha=11/10/2012](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5272051&fecha=11/10/2012)

[34]

[Ulrich, K. T., Eppinger S. D., “Diseño y desarrollo de productos”, 4ª edición, Edit. Mc Graw-Hill, México, 2009.](#)

[36] Versión electrónica revisada 13/05/16

[https://makeblock.es/que\\_es\\_makeblock/](https://makeblock.es/que_es_makeblock/)

[37] Versión electrónica revisada 13/05/16

<http://www.avanceytec.com.mx/equipos/plotter-de-corte-cama-plana-de-alta-velocidad-trazus/>

[38] Versión electrónica revisada 13/05/16

<http://www.videojet.es/content/dam/pdf/Spain%20-%20Spanish/White-Paper/wp-pharmaceutical-packaging-serialization-evaluating-coder-technologies-to-print-high-quality-alphanumeric-and-datamatrix-codes-es.pdf>

[39] Versión electrónica revisada 13/05/16

<http://www.xixcnim.uji.es/CDActas/Documentos/ComunicacionesOrales/07-08.pdf>

[40] Ulrich, K. T., Eppinger S. D., “Diseño y desarrollo de productos”, 4ª edición, Mc Graw-Hill, México,2009.

[41] Versión electrónica revisada 17/06/16

<http://fidestec.com/blog/fuentes-de-alimentacion-conmutadas-01/>

[42] Versión electrónica revisada 17/06/16

<http://www.zonamaker.com/electronica/intro-electronica/instrumentacion/fuente-de-alimentacion>

➤ [1.1] Versión electrónica revisada 29/08/16

<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn44.html>

➤ [1.2] Versión electrónica revisada 29/08/16

[http://www.revistatope.com/182\\_art\\_HYPERTHERM\\_Nuevas\\_tecnologias.html](http://www.revistatope.com/182_art_HYPERTHERM_Nuevas_tecnologias.html)