



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA EN AUTOMATIZACIÓN

PEFOV | Plataforma Experimental de Fibra Óptica de Vidrio

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Ingeniería en Automatización

Presenta

Josué Martínez Tello

Dirigido por

Dr. José Marcelino Gutiérrez Villalobos

Santiago de Querétaro, Querétaro

2022



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA EN AUTOMATIZACIÓN

PEFOV | Plataforma Experimental de Fibra Óptica de Vidrio

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Ingeniería en Automatización

Presenta

Josué Martínez Tello

Dirigido por

Dr. José Marcelino Gutiérrez Villalobos

Dr. José Marcelino Gutiérrez Villalobos
Presidente

Firma

Dr. Dimas Talavera Velázquez
Secretario

Firma

Dr. Carlos Miguel Torres Hernández
Vocal

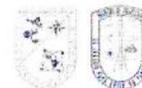
Firma

M. C. José Luis Avendaño Juárez
Sinodal

Firma

Dr. Manuel Toledano Ayala
Director de la Facultad

Santiago de Querétaro, Querétaro
Julio de 2022



Centro Universitario, 24 de julio de 2022

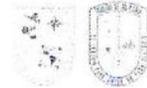
Dr. Manuel Toledano Ayala
Director de la Facultad de Ingeniería
Presente:

Por este medio me permito comunicar a Usted, que una vez revisada la tesis individual titulada: **“PEFOV | Plataforma Experimental de Fibra Óptica de Vidrio”**, del alumno **Martínez Tello Josué**, de la carrera de **Ingeniería en Automatización (INA-14)** y de acuerdo al artículo 95 numeral IX del reglamento de Titulación vigente.

Emito mi Voto Aprobatorio.

Atentamente,

Dr. José Marcelino Gutiérrez Villalobos
Presidente



Centro Universitario, 24 de julio de 2022

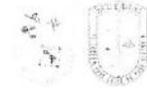
Dr. Manuel Toledano Ayala
Director de la Facultad de Ingeniería
Presente:

Por este medio me permito comunicar a Usted, que una vez revisada la tesis individual titulada: **“PEFOV | Plataforma Experimental de Fibra Óptica de Vidrio”**, del alumno **Martínez Tello Josué**, de la carrera de **Ingeniería en Automatización (INA-14)** y de acuerdo al artículo 95 numeral IX del reglamento de Titulación vigente.

Emito mi Voto Aprobatorio.

Atentamente,

Dr. Dimas Talavera Velázquez
Secretario



Centro Universitario, 24 de julio de 2022

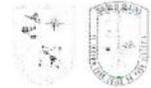
Dr. Manuel Toledano Ayala
Director de la Facultad de Ingeniería
Presente:

Por este medio me permito comunicar a Usted, que una vez revisada la tesis individual titulada: **“PEFOV | Plataforma Experimental de Fibra Óptica de Vidrio”**, del alumno **Martínez Tello Josué**, de la carrera de **Ingeniería en Automatización (INA-14)** y de acuerdo al artículo 95 numeral IX del reglamento de Titulación vigente.

Emito mi Voto Aprobatorio.

Atentamente,


Dr. Carlos Miguel Torres Hernández
Vocal



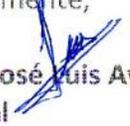
Centro Universitario, 24 de julio de 2022

Dr. Manuel Toledano Ayala
Director de la Facultad de Ingeniería
Presente:

Por este medio me permito comunicar a Usted, que una vez revisada la tesis individual titulada: **“PEFOV | Plataforma Experimental de Fibra Óptica de Vidrio”**, del alumno **Martínez Tello Josué**, de la carrera de **Ingeniería en Automatización (INA-14)** y de acuerdo al artículo 95 numeral IX del reglamento de Titulación vigente.

Emito mi Voto Aprobatorio.

Atentamente,


M. C. José Luis Avendaño Juárez
Sinodal

1 Dedicatoria

A Dios, mi familia, profesores y amigos.

2 Agradecimientos

A Dios, por la vida y esta oportunidad.

A mi familia y amigos, quienes estuvieron siempre ahí, en este proceso de formación y más importante, de mi vida.

A mis profesores, pues llevaron la tarea de guiarme, no solo en lo académico, si no, también en lo personal.

A la Universidad, por darme bases de formación profesional.

A las Coordinaciones de la Carrera y del Laboratorio de Automatización, que, sin su apoyo en este trayecto, no se hubiera completado esta tarea.

3 Índice

1	Dedicatoria.....	8
2	Agradecimientos.....	9
3	Índice	10
4	Índice de figuras	13
5	Introducción.....	16
6	Antecedentes.....	17
6.1	Equipos comerciales Empalmadoras de fibra óptica de vidrio por fusión.....	18
6.2	Desarrollo en México.....	19
6.2.1	Plataforma para el análisis experimental de la resonancia de plasmón superficial en fibra óptica	20
6.2.2	Plataforma para la fabricación de microcavidades Fabry-Perot en fibra óptica	20
6.2.3	Sistema para fabricación de dispositivos fotónicos cilíndricos con recubrimientos poliméricos delgados	21
6.2.4	Microposicionadores	22
7	Justificación	23
8	Descripción del problema.....	24
9	Fundamentación teórica.....	24
9.1	Fibra óptica	25
9.2	Fibras ópticas de vidrio estrechadas	26
9.3	Arco eléctrico.....	27
9.4	Convertidores electrónicos	28

9.5	Arduino	30
9.5.1	Arduino Mega.....	31
10	Comité de bioética	31
11	Hipótesis	32
12	Objetivos.....	32
12.1	Objetivo General	32
12.2	Objetivos Particulares	32
13	Metodología.....	32
13.1	Diseño de la plataforma.....	32
13.2	Sistema electrónico para control de motores.....	35
13.2.1	Arduino Mega.....	35
13.2.2	Motores a pasos	36
13.3	Sistema electrónico para generación de arco eléctrico.....	37
13.4	Sistema de medición de tensión	38
13.5	Interfaz de usuario.....	39
13.6	Integración de sistema	39
13.6.1	Algoritmo	40
14	Resultados.....	42
14.1	Estructura y mecanismos para fibra óptica de vidrio y electrodos.....	42
14.2	Sistema electrónico de control para control de motores	44
14.3	Sistema electrónico para generación de arco eléctrico.....	47
14.4	Sistema de medición de tensión	49
14.5	Interfaz de usuario.....	50
14.6	Integración de sistemas	51

14.7	Pruebas	54
15	Conclusiones.....	55
15.1	Trabajos futuros.....	55
16	Bibliografía.....	56
17	Anexo	61
17.1	Código para prueba de driver L293D y motores	61
17.2	Código para prueba de driver TB6560.....	62
17.3	Código para prueba de celda de carga.....	62
17.4	Código para prueba de disparo de arco eléctrico	64
17.5	Código para prueba de recepción por comunicación serial.....	64
17.6	Código para disparo de arco eléctrico	65
17.7	Código de PEFOV	66
17.8	Códigos de interfaz en Visual Studio 2019 v16.10.4 C# v3.10.0	71
17.8.1	Form1.cs	71
17.8.2	Program.cs	77
17.8.3	Assembly.cs.....	77
17.8.4	Form1.Designer.cs.....	78

4 Índice de figuras

Figura 1. Empalmadora Fujikura 70 S+.	18
Figura 2. Partes de los dispositivos para el trabajo de caracterización de la fibra óptica de vidrio como parte del trabajo de análisis experimental [10].	20
Figura 3. Modelo de plataforma de fabricación de cavidades FP deseado [11-12].	21
Figura 4. Fotografía del sistema de recubrimiento fabricado. Se observan los sujetadores magnéticos de fibra óptica (1), placas ranuradas y sus soportes (2), placa de depósitos de polímero (3), platina de desplazamiento lineal (4), método de ajuste de altitud (5), sensor de vibración e interruptores optoelectrónicos (6) [13].	21
Figura 5. Microposicionador de tres ejes presentado en 2016 en la FI UAQ [17].	23
Figura 6. Componentes de una fibra óptica.	26
Figura 7. Fibra óptica estrechada [13].	27
Figura 8. Temperatura del arco respecto al radio del arco.	28
Figura 9. Diagrama de convertidor elevador (<i>Boost</i>).	29
Figura 10. Diagrama general de un convertidor flyback.	30
Figura 11. Arduino Mega.	31
Figura 12. Imagen conceptual de la plataforma. (1) y (2) son los electrodos, (3) y (4) son los sujetadores de la fibra óptica.	33
Figura 13. Primer diseño para la plataforma.	33
Figura 14. Vista superior de la plataforma.	34
Figura 15. Punto de inicio de aplicación.	34
Figura 16. Punto final de aplicación.	35
Figura 17. Posición de electrodos para aplicación de arco eléctrico sobre la fibra óptica de vidrio.	35
Figura 18. Esquema de control del Arduino.	36
Figura 19. Driver TB6560.	36

Figura 20. Aplicación típica para motores de dos fases según hoja de datos de fabricante. [35]	37
Figura 21. Diagrama electrónico de sistema de generación de arco eléctrico.....	38
Figura 22. Driver de circuito ZVS.....	38
Figura 23. Diagrama de conexión de celda de carga.....	39
Figura 24. Diagrama general para la lectura de la tensión.	39
Figura 25. Esquema de integración de plataforma.	40
Figura 26. Diagrama de flujo de algoritmo de funcionamiento de plataforma.	41
Figura 27. Foto del primer prototipo para emulación de movimiento de eje.	42
Figura 28. Primera parte de la estructura para el movimiento de la fibra óptica de vidrio. .	43
Figura 29. Segunda parte de la estructura para el movimiento del arco eléctrico. También se observan los ejes para electrodos sobre plataforma.....	43
Figura 30. En la parte inferior de la imagen, se puede observar la parte uno de la estructura dedicada a la sujeción de la fibra óptica de vidrio; en la parte superior se puede observar la placa para el soporte de los ejes de los electrodos.....	44
Figura 31. Vista superior de plataforma construida.	44
Figura 32. Gabinete para control de motores.	45
Figura 33. Motores a pasos Nema 17. (1). Motor dedicado a eje para fibra óptica de vidrio. (2). Motor dedicado a eje para electrodos.	46
Figura 34. Motores a pasos para electrodos durante la etapa de construcción.	46
Figura 35. Salida de voltaje de fuente de alimentación sin carga, es decir, no se realizó la conexión con el circuito resonador y los transformadores <i>flyback</i> . (Voltaje en azul. Corriente en amarillo).....	47
Figura 36. Salida de voltaje de fuente de alimentación con carga, es decir, se realizó la conexión con el circuito resonador y los transformadores <i>flyback</i> , además de que las salidas para la generación del arco eléctrico se encontraban a una distancia aproximada de 10 mm (Voltaje en azul. Corriente en amarillo).	47

Figura 37. Arco eléctrico utilizando un solo transformador *flyback*. Se observa una mancha negra en las terminales, a lo cual es el daño interno en las salidas del transformador. 48

Figura 38. Integración de dos transformadores *flybacks* con salidas en serie para la generación del arco eléctrico..... 49

Figura 39. Sistema de medición de tensión integrado en estructura de la plataforma. (1). Celda de carga. (2). Sujetador para estirar la fibra óptica..... 49

Figura 40. Interfaz de usuario desarrollada en Visual Studio..... 51

Figura 41. Plataforma Experimental de Fibra Óptica de Vidrio..... 51

Figura 42. Electrodo de cobre para aplicación de arco eléctrico. 53

Figura 43. Arco eléctrico sobre fibra óptica de vidrio con electrodos de carburo de tungsteno. 53

5 Introducción

La fibra óptica (FO) es definida como una guía de onda, que en este caso es una fibra flexible, transparente, hecha al extruir material plástico o vítreo en un diámetro más grueso alcanzando dimensiones diminutas, que es ligeramente más gruesa que un cabello humano promedio (este está entre los 60 μm y los 90 μm de diámetro) [1]. Esta es el resultado del constante avance en tecnologías de comunicación. Su funcionamiento se basa en el envío de señales electromagnéticas que son guiadas a través de la fibra óptica de vidrio (FOV) lo que ofrece mayores ventajas sobre otros tipos de sistemas de comunicación alámbricos, ya que el cobre tiene coeficientes de atenuaciones de más de 29 dB/km y las FOVs unimodales tienen coeficientes de atenuación de aproximadamente 0,19 dB/km. Sus aplicaciones principales son sistemas de comunicación, desarrollo de sensores, aplicaciones en equipos médicos, sistemas de instrumentación, entre otras cosas.

Una de las características de la FOV es que no trabaja de la misma manera que los sistemas de comunicación basados en cobre. Esto nos lleva a la creación de nueva tecnología acorde a las nuevas necesidades, como es en la forma de manipulación, desarrollo de equipos de medición, etc.

Los dispositivos que se están desarrollando tienen como propósito el seguir estudiando las fibras ópticas. Actualmente en México, centros de investigación han construido equipos con este fin, como es el Centro de Investigaciones en Óptica (CIO) y el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE). Sus aplicaciones han permitido desarrollar diversas investigaciones como es la caracterización de rejillas inducidas en fibra óptica (llamadas rejillas de Bragg), fabricación de microcavidades, fabricación de optosensores y optobiosensores, etc. En el ámbito comercial, los equipos relacionados a las necesidades de investigación son muy diversos además de que su costo es elevado, sin tomar en cuenta equipo e insumos que se llegaran a requerir.

Es por ello que, ante esta necesidad, se busca desarrollar tecnología adecuada que facilite trabajos de investigación enfocada a la aplicación de la óptica y la óptica no lineal.

6 Antecedentes

Desde la década de 1950, la fibra óptica de vidrio ha sido de interés para los científicos. En 1952, el físico Narinder Singh Kapani, teniendo en cuenta los estudios de John Tyndall, realizó experimentos que condujeron a la invención de la fibra óptica. Poco después de 1970, Panish y Hayashi, de los laboratorios Bell, mostraron un láser (del acrónimo inglés LASER, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation; amplificación de luz por emisión de radiación estimulada) de semiconductores que podía funcionar continuamente a temperatura ambiente. Para 1978 ya se transmitía a 10 Gb km/segundos. Además, John MacChesney y sus colaboradores, también de los laboratorios Bell, desarrollaron independientemente métodos de preparación de fibras [2].

Actualmente, existe una diversidad de equipos para el manejo de este material, como son las empalmadoras. Las empalmadoras de fibra de vidrio de vidrio tienen como propósito unir dos fibras que se quieran unir y extender la longitud. Estos tipos de empalmes se clasifican de la siguiente manera: por fusión, adhesión y mecánico. Algo que es clave en los empalmes son las pérdidas que puede haber por la inserción, resistencia mecánica de la fibra, así como la estabilidad térmica [3].

Los empalmes por fusión consisten en la unión permanente de las fibras mediante la fusión y unión de las mismas, para esto las fibras se calientan previamente para eliminar impureza que no permitan una unión correcta, llevándose a cabo con un disparo del arco eléctrico de aproximadamente unas decenas de milisegundos. El empalme se realiza cuando se alcanza una temperatura de fusión en la fibra. Usualmente en estos procesos la duración llega a ser de unos milisegundos y terminado estos, la unión se recubre con una fibra termo-contráctil. Dentro de los métodos de fusión encontramos aquellos que mediante la aplicación de una antorcha de gas se logra la fusión.

El empalme por medio de arco eléctrico funciona aplicando una descarga eléctrica a la fibra de vidrio para llegar al punto de fusión y lograr la unión. De forma comercial, las empalmadoras eléctricas son populares debido a que son de uso práctico y fáciles de transportar.

Existen otro tipo de dispositivos a los cuales se les denominan estrechadoras, que permiten la elongación de una fibra para que esta pueda ser usada con otro tipo de aplicaciones. En la actualidad, estos se encuentran en su mayoría en centros de investigación, ya sea que los hayan adquirido o los hayan desarrollado.

Los sistemas electrónicos para la generación de arco eléctrico han sido ampliamente estudiados debido a sus múltiples aplicaciones y las diferentes condiciones en las que se producen. De manera cotidiana, podemos asociar los arcos eléctricos en procesos de soldadura.

6.1 Equipos comerciales | Empalmadoras de fibra óptica de vidrio por fusión

Las empalmadoras o fusionadoras de FOV sirven para unir dos hilos de fibra por medio de una pequeña descarga eléctrica que se realiza a través de sus electrodos. Estos equipos deben tener un especial cuidado con las distancias a fin de que la fusión o unión se realice de forma correcta. Para lograr estos se realiza un proceso de alineación que se realiza por revestimiento o por núcleo [4].



Figura 1. Empalmadora Fujikura 70 S+.

En el mercado existen diversos fabricantes como es Fujikura, ver Figura 1, que es el fabricante más reconocido en el mundo por el desarrollo de este tipo de equipos, Sumitomo, INNO, ICOPTIKS, GREENLEE Communications, entre otras. La variedad de equipos se basa principalmente en cómo realizan la unión, la cual puede ser mediante una llama de gas, láser o arco eléctrico [5-6]. El costo económico es uno de los aspectos más interesantes de estos equipos, ya que, según la forma de operación, así como los aditamentos que tiene, uno

puede encontrar equipos accesibles en \$1000 USD; sin embargo, los equipos de alta gama tienen un precio superior a los \$25000 USD [7-8].

Existen otros equipos en el mercado que no solamente sirven para realizar conexiones entre fibras ópticas. Estos equipos están dedicados principalmente al estudio y análisis de las fibras de distintos materiales a fin de poder estudiar la óptica o el comportamiento de la luz a través de éstos. Principalmente en las pruebas de fibras ópticas se basan en algo referido como las Tres C's: núcleo, revestimiento y corte (en inglés "*Three C's*": *Core, Cladding, Coating*) [33]. De forma simple enumeramos algunos equipos [34]:

- *Optical Spectrum Analyzer (OSA)*
- *Optical Time Domain Reflectometer (OTDR)*
- *Optical Wavelength Meter*
- *Modular Manufacturing Test System*
- *Portable Power Meters and Light Sources*
- *Portable Ethernet Testers*

También existen otros equipos auxiliares que permiten un mejor estudio como son los posicionadores, láseres, equipos de difracción, equipos de microscopio, cámaras especiales, entre otros; sin embargo, requieren una alta inversión económica lo que los hace menos accesibles [35].

6.2 Desarrollo en México

La necesidad de crear equipo no solamente para hacer el análisis de la fibra óptica de vidrio ha llevado a centros de investigación al desarrollo de esto. Estos dispositivos permiten un mayor campo de acción en la investigación y aplicación, lo que motiva a la innovación tecnológica en nuevos campos de la óptica.

En México existen instituciones dedicadas al estudio de la física y óptica, entre los más destacados está el Centro de Investigaciones de Óptica (CIO), el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) y Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE); además, podemos mencionar alguna otras instituciones como es la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), la

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Instituto Politécnico Nacional (IPN), Universidad de Sonora, entre otras muchas más [9].

6.2.1 Plataforma para el análisis experimental de la resonancia de plasmón superficial en fibra óptica

En la Figura 2, se muestra un equipo que permite trabajar con FOV, este dispositivo se diseñó y construyó para realizar un análisis experimental de la respuesta de dispositivos de fibra óptica de vidrio, los cuales son resultado de una metodología experimental propuesta y verificada para fabricar dispositivos de fibra óptica de vidrio, de manera simple y repetible, en los que se produce la SPR (resonancia de plasmón superficial, en inglés: Surface Plasmon Resonance) [10].

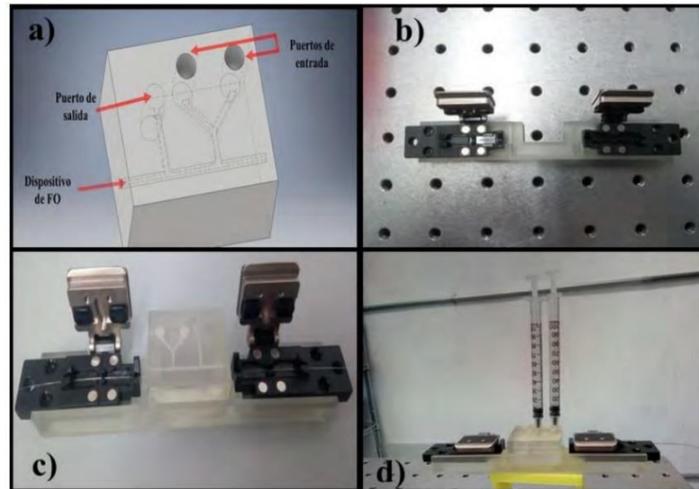


Figura 2. Partes de los dispositivos para el trabajo de caracterización de la fibra óptica de vidrio como parte del trabajo de análisis experimental [10].

6.2.2 Plataforma para la fabricación de microcavidades Fabry-Perot en fibra óptica

Se diseñó y construyó una plataforma semiautomática, modular y reconfigurable para la fabricación de interferómetro Fabry-Perot de fibra óptica (en inglés: *Fiber Fabry-Perot Interferometer*, FFPI) con una o dos cavidades utilizando únicamente el corte y fusión de fibras ópticas, como se observa en la Figura 2. Se fabricaron FFPI con cavidades de 5 μm hasta 500 μm de manera fácil, rápida, repetible y con una desviación de $\pm 0.97 \mu\text{m}$ del valor deseado [11-12].

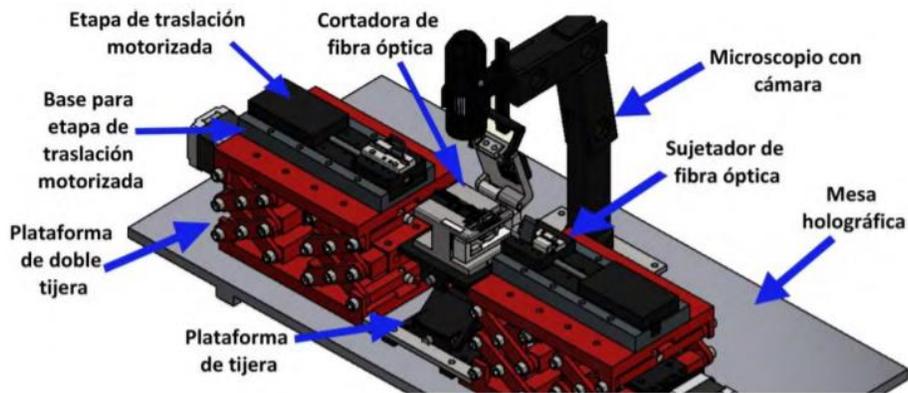


Figura 3. Modelo de plataforma de fabricación de cavidades FP deseado [11-12].

6.2.3 Sistema para fabricación de dispositivos fotónicos cilíndricos con recubrimientos poliméricos delgados

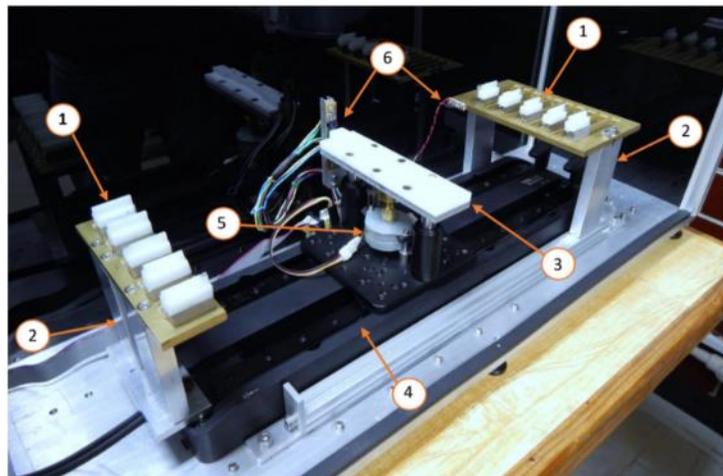


Figura 4. Fotografía del sistema de recubrimiento fabricado. Se observan los sujetadores magnéticos de fibra óptica (1), placas ranuradas y sus soportes (2), placa de depósitos de polímero (3), platina de desplazamiento lineal (4), método de ajuste de altitud (5), sensor de vibración e interruptores optoelectrónicos (6) [13].

Este desarrollo muestra un sistema capaz de realizar recubrimientos poliméricos uniformes sobre elementos cilíndricos. Como se puede apreciar en la Figura 4, el sistema consta de un método de sujeción, control de velocidad, procesos de curado y transporte de las fibras ópticas de vidrio; además, es un sistema automatizado, con el objetivo de que su

uso sea confiable y fácil de utilizar. Este sistema reemplazó una plataforma de trabajo manual, y en el cual destaca que logró el objetivo, pero hace mención de la necesidad de implementar un sistema de visión para realizar supervisiones o estudios de una mejor manera [13].

6.2.4 Microposicionadores

Una parte muy relevante en este trabajo es trabajar con la posición a la que será sometida la fibra óptica para generar así el estrechamiento de la FOV. Es decir, no sólo basta tener el dispositivo para fundir la fibra, sino que se requiere un dispositivo que la pueda estirar de forma controlada, con desplazamientos en el orden de los micrómetros.

Es por ello que es necesario ahondar un poco en estos sistemas de movimientos lineales, ya que en el mercado podemos encontrar sistemas coordinados de alta precisión pero que no pueden ser adquiridos por su costo.

Usualmente, estos sistemas de movimiento lineal son impulsados por tornillos diseñados para lograr una gran fuerza de empuje, rigidez y alta precisión en aplicaciones con cargas pesadas y velocidad moderada; los microposicionadores pueden disponer de tres tornillos micrométricos para el ajuste de los 3 ejes (X, Y, Z), como se muestra en la Figura 5, con total independencia entre ellos. A diferencia de otros fabricantes, el movimiento en cada eje es totalmente lineal sin afectar la posición de los otros ejes [14]. Caso contrario sucede cuando son impulsados por correas, ya que se usan en aplicaciones donde la aceleración y la velocidad son los criterios más importantes [15]. Dentro de la tendencia del desarrollo de nuevos equipos, se utiliza tecnología basada en la composición de diferentes sensores, por ello se han creado nuevas técnicas en las que se realizan combinaciones entre sensores, por lo cual permite tener mejores señales de retroalimentación, dando como resultado la mejora a un controlador de posición [16]

Específicamente en las actividades de investigación sobre fibras ópticas y láseres son utilizados estos dispositivos microposicionadores XYZ, con el fin de realizar alineaciones y acoplamientos de altas resoluciones, en el orden de nanómetros, de las señales ópticas a fibras ópticas de vidrio, con el fin de que se puedan llevar a cabo estas actividades a realizar, ya que los diámetros de los núcleos de las fibras para telecomunicaciones utilizadas van desde los 6 μm hasta los 9 μm , y para las FOVs especiales en matrices de fluorozirconatos dopadas

especiales dopadas con tulio, holmio, erbio, etc., tienen diámetro de aproximadamente 3.6 μm [17].

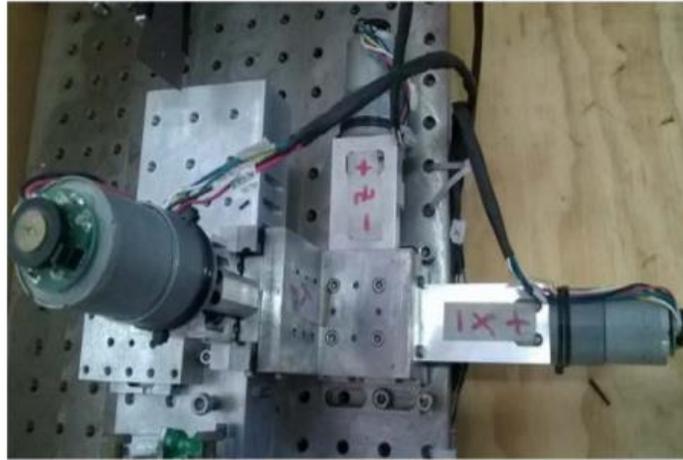


Figura 5. Microposicionador de tres ejes presentado en 2016 en la FI UAQ [17].

7 Justificación

La necesidad de contar con dispositivos o sistemas que permitan la manipulación de FO reside en los beneficios para la docencia, investigación académica y sector privado, pues se tendrá la oportunidad de estudiar y visualizar los comportamientos de la luz a través de la FO, permitiendo el desarrollo de nuevas tecnologías útiles en áreas afines a la óptica.

Por lo anterior, es necesario el desarrollo de este dispositivo en esta institución, asegurando que se cumplirá con los requisitos necesarios para llevar a cabo las pruebas de laboratorio deseadas; contar con la tecnología y desarrollo universitario, así como la reutilización de equipos nos permite disminuir los costos de elaboración.

Se diseñará un sistema experimental para estudio de la fibra óptica de vidrio controlada mediante lazo abierto, permitiendo la aplicación libre de un arco eléctrico o de gas, sobre la fibra óptica de vidrio para estrecharla, estudiar su comportamiento y desarrollar nuevas tecnologías.

8 Descripción del problema

La falta de tecnología propia a para trabajar con fibra óptica es un problema grave, ya que no permite un desarrollo pleno en esta área en nuestro país. Solamente aquellas instituciones con una solvencia monetaria pueden invertir recursos para su adquisición. Es por ello que centros de investigación han impulsado la construcción de estos dispositivos para contar con la infraestructura necesaria para las investigaciones.

El uso de la fibra óptica hizo posible tener mayores avances en los sistemas de comunicaciones lo que permitió un mayor avance tecnológico en esta área. Pero no sólo podemos limitar el uso de la fibra óptica a sistemas de comunicaciones, sino que se han encontrado nuevas aplicaciones de la fibra óptica. De esta manera, contar con plataformas disponibles para el estudio nuevas aplicaciones permitiría a investigadores desarrollar nuevas técnicas y tecnologías basadas en fibra óptica, ejemplo de ello es en el área de la salud.

El desarrollo de la plataforma permitirá a la Universidad Autónoma de Querétaro posicionarse como una institución líder en la investigación y aplicación de tecnologías ópticas, pues pocas instituciones mexicanas muestran interés por el desarrollo de nuevas tecnologías y aplicaciones de la fibra óptica.

9 Fundamentación teórica

La plataforma estrechadora de FO plantea distintos retos que se tiene que resolver para que se concrete el proyecto. Como parte de la fundamentación teórica de este proyecto podemos dividirlo en dos grandes partes: electrónica de potencia y plataforma móvil.

Para el caso de la electrónica de potencia, se busca generar un sistema electrónico capaz de generar un arco eléctrico el cual se pueda aplicar a la FO. La generación del arco eléctrico es uno de los elementos más importantes, de manera que se debe idear un método para tener mayor control sobre él y disminuir los riesgos de aplicación. Cabe destacar que, una característica de los arcos eléctricos es que no tienen un comportamiento lineal y que existen muchos factores que influyen en su desempeño [18].

La plataforma móvil busca que se tenga micromovimientos lineales principalmente en los porta-fibras y electrodos para el arco eléctrico. El objetivo de poder movilizar los porta-fibras es debido a que se alinee la FOV en el caso de que se busque empalmar; también se busca

que la FOV se puede elongar mediante el movimiento lineal mientras se aplica el arco eléctrico o la antorcha de gas sobre ésta con el propósito de fabricar microfibras ópticas de vidrio.

Algo semejante ocurre con los electrodos, ya que se puede ajustar la distancia entre las puntas a fin de experimentar con distintas distancias el funcionamiento del arco eléctrico. Al mismo tiempo existe un segundo factor, el cual posibilita el movimiento de los electrodos de forma paralela a la fibra óptica.

9.1 Fibra óptica

La fibra óptica es un medio de transmisión que hoy en día es utilizado comúnmente en redes de datos; un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de radiación electromagnética, en este caso dentro del espectro visible, que representan los datos a transmitir. El haz de luz queda completamente confinado y se propaga por el interior de la fibra donde la fuente de luz puede ser láser o un led [1-19].

Las FOVs se utilizan de forma extendida en los sistemas de telecomunicaciones, ya que permiten enviar grandes cantidades de datos a largas distancia, con velocidades similares a las de radio o cable, pero con velocidades mucho mayores. Una de sus bondades es que al momento de realizar la transmisión es que es inmune a las interferencias electromagnéticas, dado que no son señales eléctricas.

Como se muestra en la Figura 6, la fibra óptica de vidrio está constituida por [20-21]:

- Un núcleo que tiene el mayor índice de refracción, con respecto al revestimiento, teniendo un cambio de índice de refracción de aproximadamente 1×10^{-4} , la luz se propaga a través de él siempre y cuando no exceda el ángulo de incidencia del haz sea igual o menor al ángulo crítico, esto para que se lleve a cabo y se conserve la reflexión total interna, proceso por el cual esta señal se mantendrá acoplada al núcleo de las FOVs. El diámetro máximo especificado en estándares ANSI para los núcleos de aproximadamente 9 μm para fibras unimodales y de 62,5 μm para fibras multimodales..
- Una fibra óptica es un medio demasiado frágil para ser manipulado directamente durante el proceso de fabricación por ello se aplica un revestimiento de plástico de 250 micras para aumentar la resistencia mecánica de la fibra.

- La cubierta que recubre el núcleo y evita que la luz salga de la fibra, esta es fabricada con vidrio de menor índice de refracción, que con el índice de refracción del núcleo hay un cambio del mismo de aproximadamente de 1×10^{-4} y el diámetro especificado de los estándares ANSI es de $125 \mu\text{m}$ para todos los tipos de fibras.

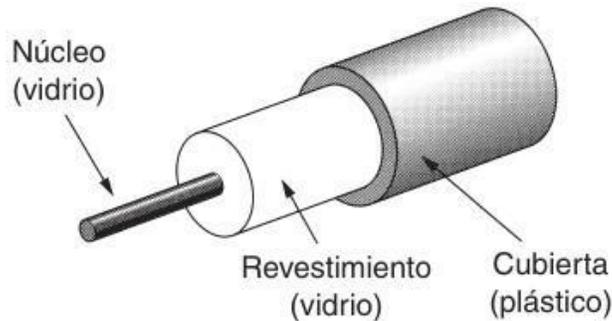


Figura 6. Componentes de una fibra óptica.

Su implementación en la vida diaria permite una mejor conectividad, por lo que en estos últimos años se ha emprendido la tarea de modernizar la infraestructura dedicada a la comunicación; un ejemplo de esta modernización es nuestra institución universitaria [22-23]. Las aplicaciones de esta tecnología no se limitan a las comunicaciones, sino que podemos encontrar el diseño de nuevos sensores para la instrumentación y electrónica; iluminación de espacios; y un campo muy interesante son las aplicaciones médicas, como en: biosensores, en sistemas endoscópicos, en sistemas de cirugías, rehabilitaciones entre otros, los cuales se siguen desarrollando [24].

9.2 Fibras ópticas de vidrio estrechadas

Las fibras ópticas de vidrio estrechadas, FOVE, son denominadas de esta forma debido a que son estiradas mientras se les aplica una fuente calor para provocar una elongación y se “estreche” la fibra, quedando con un diámetro de menor tamaño en comparación al diámetro original. De esta manera tanto el núcleo como el revestimiento reducen en igual proporción sus dimensiones. La fibra óptica adelgazada se compone de tres distintas secciones como se muestra en la Figura 7.

- Uniforme sin adelgazar (1) donde el diámetro exterior del revestimiento no es modificado y mantiene su valor.

- De transición (2) donde el valor del diámetro exterior es reducido gradualmente.
- Central adelgazada (3) donde se tiene el menor diámetro de manera constante.

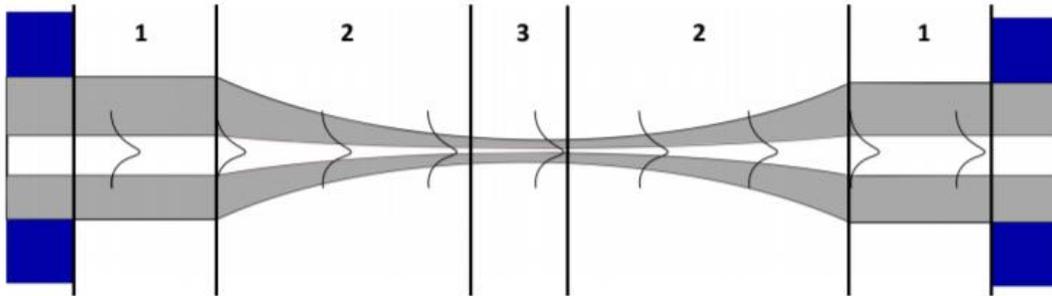


Figura 7. Fibra óptica estrechada [13].

Al adelgazar a cierto grado una FOV, el núcleo es reducido de forma considerable y se vuelve incapaz de guiar la totalidad de la luz en su interior. De esta manera, el revestimiento sirve de nueva guía para la luz. Por consiguiente, el revestimiento es el nuevo núcleo por el que se guía la luz y la onda evanescente queda expuesta al medio exterior [25].

El método más común para adelgazar la fibra óptica es por medio de una fuente de calor muy localizada. Esta fuente de calor puede ser una flama proveniente de un gas o algún calentador eléctrico. Este calor ablanda el vidrio y simultáneamente se tira de ambos extremos de la fibra para estirarla y adelgazarla hasta cierta longitud determinada. En este caso se está utilizando un arco eléctrico para reblandecer la FOV y poderla estrechar.

9.3 Arco eléctrico

El fenómeno del arco eléctrico es una tendencia en el área de investigación para su aplicación en el campo industrial. Ejemplo de ello está en áreas de soldadura en circuitos cerrados o en algunas aplicaciones muy específicas.

Como tal el arco eléctrico es un fenómeno muy complejo debido a toda la interacción que tiene a su alrededor desde su formación, mantenimiento hasta su interrupción en un tiempo muy corto. Es decir, podemos hablar que influye la dinámica de los fluidos, fenómenos electromagnéticos y térmicos [26].

La formación de un arco eléctrico depende principalmente de la separación de las terminales de contacto de aplicación de la corriente y de la ionización del medio encapsulado. Cuando la separación de los contactos empieza, el arco eléctrico aparece y se mantiene si la temperatura en el circuito es lo suficientemente alta para ionizar el medio aislante, si la corriente es suficiente para derretir y volatilizar el metal y si la distancia entre los electrodos es lo suficientemente cercana para retener el arco. Al momento de hacerse el arco eléctrico en medio aislante, qué puede ser aire o un gas, el fluido se convierte en un medio conductor.

Una de las principales características de un arco eléctrico es que hay una propiedad que hace decrementar la relación entre voltaje y corriente lo que es diferente a lo que pasa en los conductores metálicos. En un conductor metálico existe la relación donde el voltaje es proporcional a la corriente a la que conocemos como la ley de Ohm. En contraste el voltaje entre los electrodos del arco disminuye cuando la corriente incrementa hasta su valor límite. Este comportamiento es explicado debido a que incrementa la temperatura con el arco eléctrico, lo que intensifica la ionización, es decir, la conductividad del medio incrementa y consecuentemente el arco de voltaje disminuye [27].

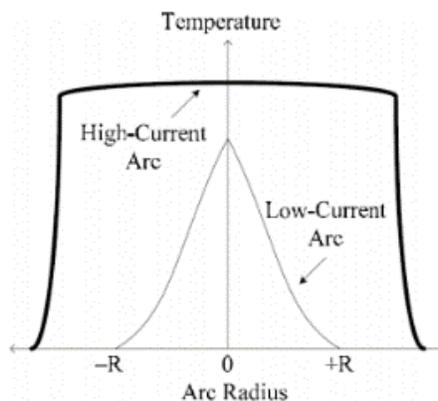


Figura 8. Temperatura del arco respecto al radio del arco.

9.4 Convertidores electrónicos

Los convertidores son elementos que nos permiten que la energía pueda fluir a través de ellos sin que ésta sea almacenada o disipada. De forma general, están constituidos por una entrada y una salida, a los cuales podemos denominar como puertos. Principalmente, los convertidores modifican las variables de esfuerzo y de flujo de la salida con respecto a la

entrada; este proceso confirma la ley de la conservación de la energía, es decir, la energía de entrada es igual a la de la salida. En este trabajo se utilizarán convertidores de corriente directa a corriente directa.

Un convertidor electrónico de potencia de CD/CD es un circuito que en su entrada recibe un voltaje de CD y en su salida entrega otro voltaje de CD pero de valor diferente al recibido en su entrada [28]. Existen diferentes topologías de estos tipos de convertidores, estas dependerán de la aplicación que se tenga preparada, como es: elevadores, reductores, reductores-elevadores, reguladores Cúk [29]; además, es importante mencionar la variación en el tipo de tecnología de los conmutadores: MOSFET, BJT, tiristores, etc.

En un convertidor elevador, Figura 9, el voltaje de salida es mayor que el voltaje de entrada. Este tipo de convertidor también es llamado convertidor *Boost*. Es una variante de fuente de alimentación conmutada que está compuesta de al menos dos interruptores semiconductores (diodo y transistor), y al menos un elemento para almacenar energía (capacitor, inductor o combinación de éstos). Usualmente se añaden filtros pasivos basados en inductores y condensadores para mejorar el rendimiento [29].

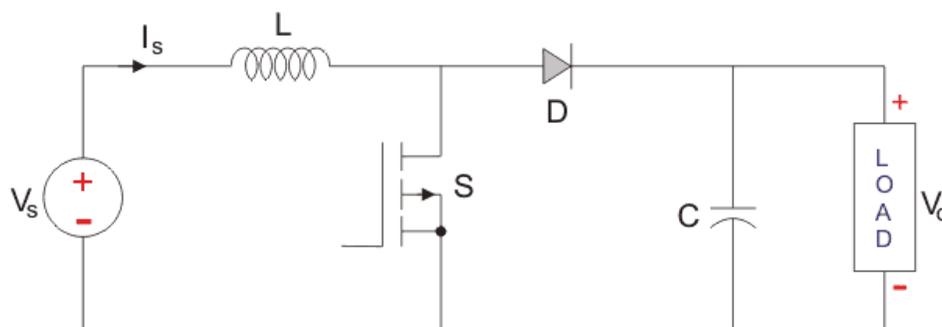


Figura 9. Diagrama de convertidor elevador (*Boost*).

El funcionamiento del circuito puede describirse de dos modos. El modo 1 (*on-state*) empieza cuando se activa el transistor, el inductor L almacena energía de la fuente, al mismo tiempo la carga se alimenta por el capacitor. El modo 2 (*off-state*), empieza cuando se desactiva el transistor, por lo que la corriente circula a través del diodo para alimentar el capacitor y a la carga.

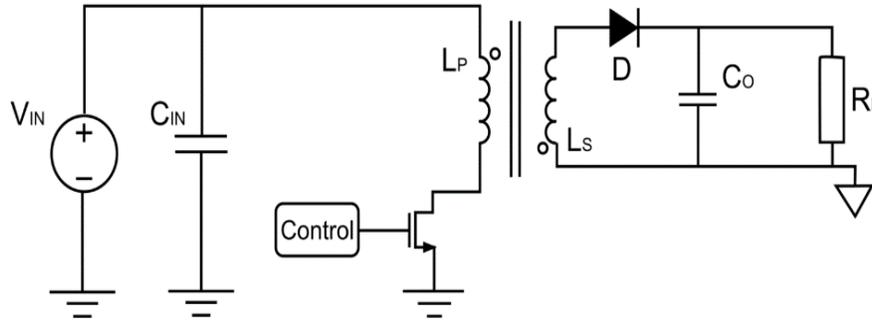


Figura 10. Diagrama general de un convertidor flyback.

Un convertidor flyback es un convertidor reductor-elevador, también conocido como *buck-boost*, en el que la corriente eléctrica está aislada, evitando que la energía se transfiera entre las entradas y salidas. Típicamente, se utiliza en aplicaciones de corriente alterna y corriente continua. El convertidor *flyback* al ser un derivado de la topología *buck-boost* y comparte la misma desventaja: la energía es solo recogida desde la fuente durante el tiempo en estado de encendido del transistor. Después, durante el tiempo de apagado, esta energía del devanado primario es enviada desde el inductor hacia la salida. Esta es una característica única de las topologías *flyback* y *buck-boost*. El transformador *flyback* no funciona como un transformador común, donde la corriente primaria y la secundaria fluyen al mismo tiempo, y solo una pequeña parte de esta energía es almacenada en el transformador. Un transformador *flyback* se parece más a múltiples inductores en el mismo núcleo [31-32].

9.5 Arduino

Arduino es una plataforma de creación de productos electrónicos de código abierto, basada en hardware, gratuita, flexible y fácil de usar para creadores y desarrolladores. La plataforma permite la creación de diferentes tipos de dispositivos de placa única que la comunidad de creadores puede utilizar para diferentes propósitos. Su concepto se basa en el software y hardware libre, permitiendo el desarrollo de otras aplicaciones por terceros [33].

Arduino proporciona la plataforma Arduino IDE (*Integrated Development Environment*), un entorno de programación en el que cualquier persona puede crear aplicaciones para placas Arduino que les pueden proporcionar todo tipo de utilidades.

9.5.1 Arduino Mega

El Arduino MEGA 2560 es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega2560. Esta placa pertenece a la amplia familia de placas Arduino, junto con la Arduino UNO como una de las más representativas.

Sus características son las siguientes [34]:

- Microcontrolador ATmega2560.
- Voltaje de entrada de 7 V a 12 V.
- Conexión USB
- 54 pines digitales de Entrada/Salida (14 de ellos son salidas PWM).
- 16 entradas análogas.
- 256k de memoria flash.
- Velocidad del reloj de 16 MHz.
- Dimensiones: 102 mm x 53 mm

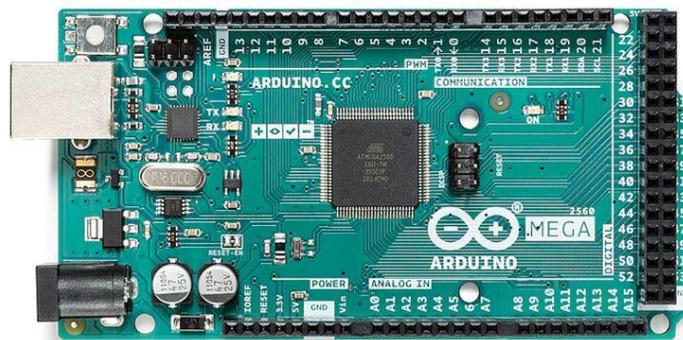


Figura 11. Arduino Mega.

10 Comité de bioética

El proyecto del sistema de generación de arco eléctrico aplicado a una plataforma no tiene afectaciones directas con personas, pues se busca que sea utilizado para el estudio de nuevas aplicaciones, así como el comportamiento de la FO. Por lo tanto, el comité de bioética no es requerido para el proceso de esta tesis, pues ningún ser vivo es afectado por dicho sistema.

11 Hipótesis

Se puede construir un sistema para trabajar con FOV, que puede estrechar, separar y unir la fibra óptica, utilizando una plataforma mecánica controlada por una tarjeta de rápida implementación y un convertidor CD/CD que produce un arco eléctrico.

12 Objetivos

12.1 Objetivo General

Desarrollar una plataforma experimental de bajo costo para estrechar, calentar y reblandecer FOVs (fibras ópticas de vidrio) hasta convertirlas en micro y nano fibras por medio de un mecanismo con movimientos lineales longitudinales colineales al eje de la FOV y movimiento lineal transversal al eje de la FOV, donde estarán los electrodos de un sistema de generación de arco eléctrico

12.2 Objetivos Particulares

1. Desarrollar una mesa de trabajo capaz de estrechar la FOV. Utilizando herramientas de diseño CAD y su mecanizado en una maquina CNC para funcionar como plataforma del sistema.
2. Generar un sistema electrónico para la generación del arco eléctrico regulado para fundir la FOV utilizando un convertidor CD-CD.
3. Integrar un sistema electrónico de control que integre los sistemas anteriores y de esta forma implementar la plataforma experimental.

13 Metodología

13.1 Diseño de la plataforma

De manera conceptual, se definen dos puntos de partida para el funcionamiento básico de la plataforma: sujeción de la fibra óptica de vidrio y uso del aro eléctrico como aplicador. Por ello, se plantea una estructura base como se ve en la Figura 12:

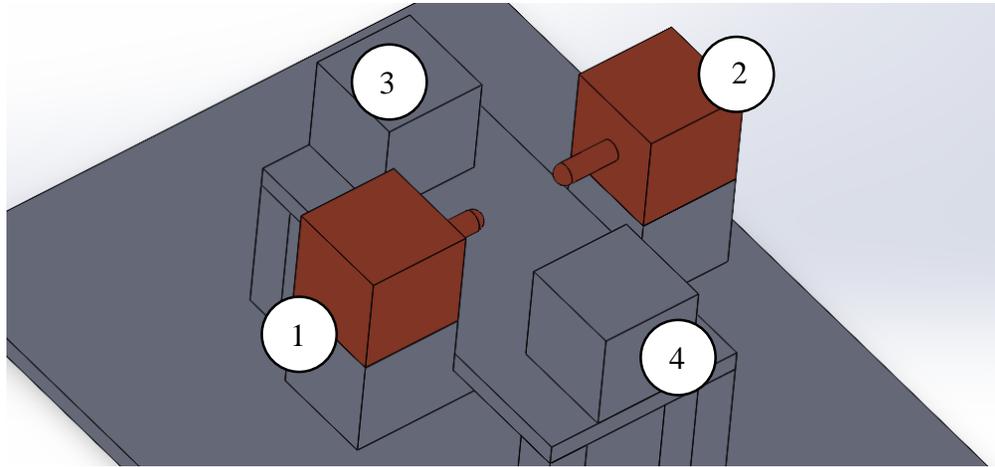


Figura 12. Imagen conceptual de la plataforma. (1) y (2) son los electrodos, (3) y (4) son los sujetadores de la fibra óptica.

Desarrollando la idea, se crea un primer diseño en el cual se toma en cuenta la aplicación de estrechamiento de la fibra óptica, es decir, estirar la fibra hasta lograr su deformación para hacerla más delgada, por lo que se realizó este primer diseño, Figura 13.

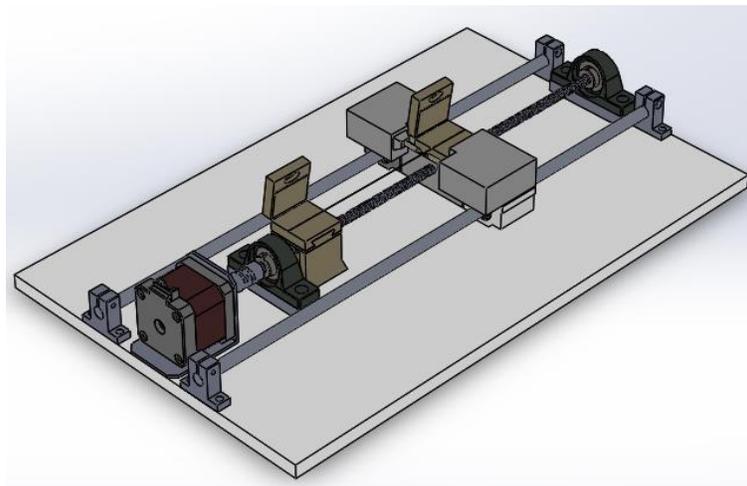


Figura 13. Primer diseño para la plataforma.

De manera general, se cuenta con un solo eje, el cuál haría la función de estrechamiento, así de aplicador de los electrodos.

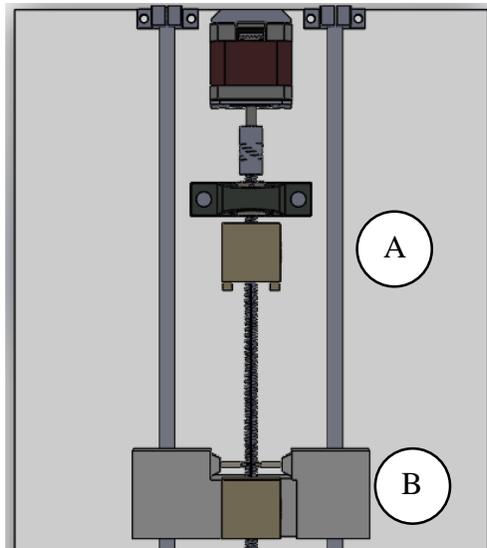


Figura 14. Vista superior de la plataforma.

En esta vista de la Figura 14, podemos apreciar que en el punto A, se tiene una base fija para sujetar la fibra. En el punto b, encontramos el punto de aplicación y el soporte para la sujeción de la fibra.

El modo de funcionamiento consta de sujetar la fibra óptica en el punto A y B a una distancia cercana, Figura 15, para que una vez que empieza la aplicación del arco eléctrico, y se empiece a accionar el motor que moverá los electrodos y se caliente la FOV y que su reblandecimiento sea homogéneo, y llegada a la distancia establecida, se tenga por terminado el producto deseado, Figura 16.

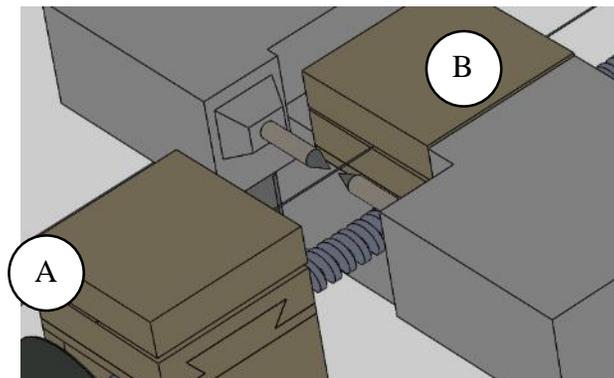


Figura 15. Punto de inicio de aplicación.

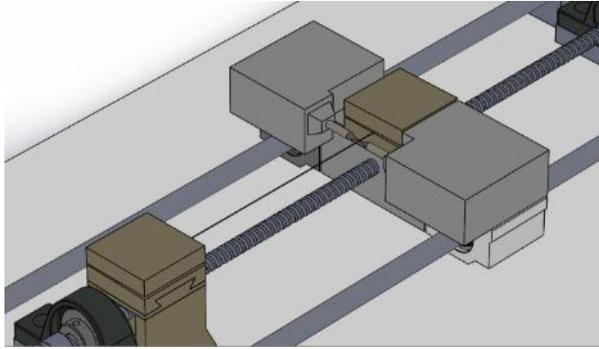


Figura 16. Punto final de aplicación.

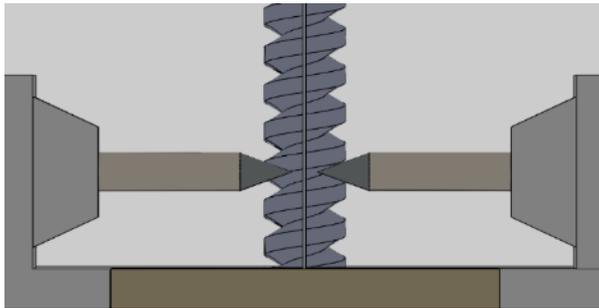


Figura 17. Posición de electrodos para aplicación de arco eléctrico sobre la fibra óptica de vidrio.

13.2 Sistema electrónico para control de motores

13.2.1 Arduino Mega

Para la integración de todo el sistema, se utiliza una tarjeta Arduino Mega el cual contiene el microcontrolador ATmega2560, esto por su facilidad de programación, así como las características del hardware, logrando que su manejo pueda permitir un desarrollo rápido. Además, en cuanto a software, actualmente existe información acerca de su operación y codificación, teniendo un soporte adicional como son foros de consulta propios de Arduino y comunidad de desarrolladores, manuales de fabricantes, proveedores de equipos y de sensores, facilitando el acceso de la información para hacer más ameno la integración y difusión de esta plataforma.

En el siguiente esquema se puede observar la forma de integración del sistema electrónico controlado por el Arduino.

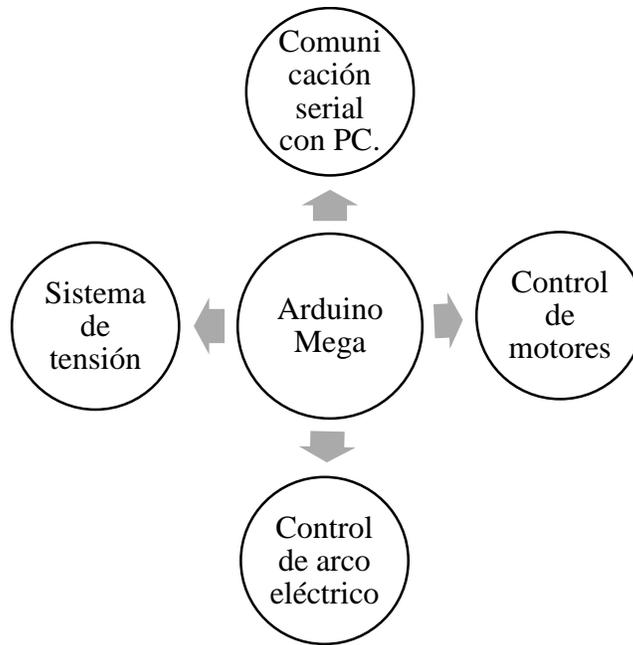


Figura 18. Esquema de control del Arduino.

13.2.2 Motores a pasos

El control de los motores a pasos se realiza con drivers, para poder controlar de forma correcta la conmutación de éstos. Para el sistema se plantean dos variantes de tamaño de los motores, Nema 17 y motor a pasos pequeño.

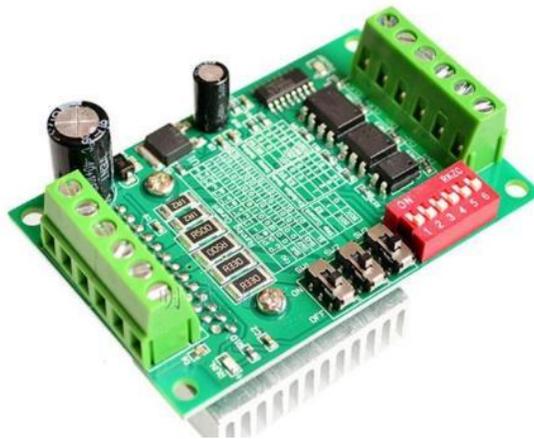


Figura 19. Driver TB6560.

Por sus características eléctricas, los motores Nema 17 son controlados mediante el driver basado en el circuito integrado TB6560, el cuál a través de sus interruptores podemos

manipular el modo de excitación de las bobinas del motor, limitar corriente de consumo, entre otras configuraciones. Además, su implementación con algún controlador es de forma sencilla, ya que solamente indicamos el sentido de giro del motor, y la velocidad de conmutación de las bobinas.

Los motores a pasos pequeños, por sus dimensiones y sus características de bajo consumo eléctrico, se propone la utilización del circuito integrado L293D, que, construyendo un arreglo dado por el fabricante, se puede realizar de forma sencilla su implementación en el sistema electrónico de control.

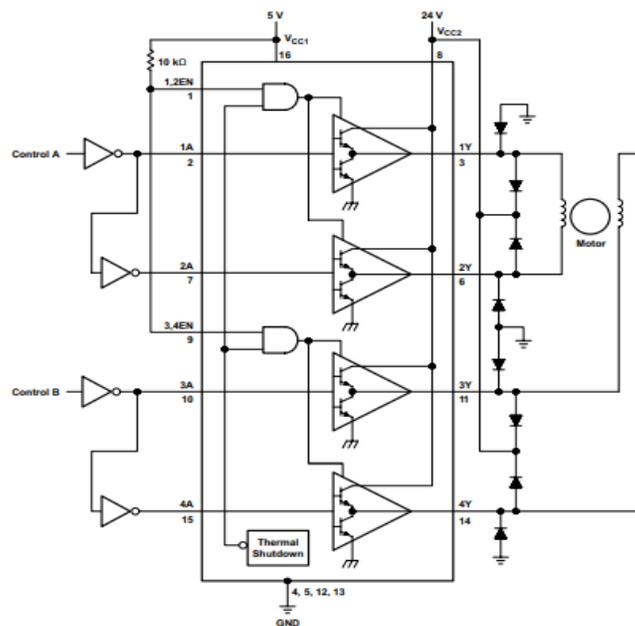


Figura 20. Aplicación típica para motores de dos fases según hoja de datos de fabricante.

[35]

13.3 Sistema electrónico para generación de arco eléctrico

El desarrollo del arco eléctrico se basa en el uso de un convertidor electrónico *flyback*. De manera general, el circuito se compone de la siguiente manera: en la entrada se tiene la alimentación, la cual, se conmuta según el tiempo de duración del arco, luego la señal de voltaje ingresa al circuito resonante para realizar la carga de las bobinas primarias de T1 y T2 y realizar la descarga del arco eléctrico en sus salidas.

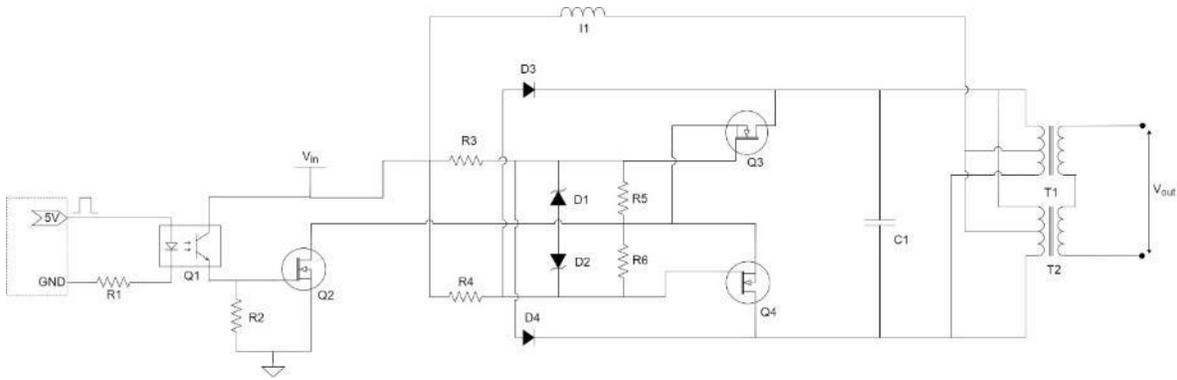


Figura 21. Diagrama electrónico de sistema de generación de arco eléctrico.

Para la construcción de este sistema se utilizó como circuito resonante denominado ZVS [36], por sus siglas en inglés *Zero Voltage Switching*. Utiliza la conmutación de voltaje resonante cero, para conducir el transformador *flyback*. Esto significa que los interruptores, en este caso transistores MOSFET, están diseñados para encenderse o apagarse cuando el voltaje a través de ellos se convierte en cero.



Figura 22. Driver de circuito ZVS.

13.4 Sistema de medición de tensión

Para la medición del sistema de tensión se utiliza una galga extensiométrica, la cual, varía su resistencia al irse deformando el cuerpo de la barra. Para poder obtener la lectura se utiliza el módulo HX711, el cual, nos permite obtener los datos al ser conectado con el microcontrolador. A este conjunto lo denominamos celda de carga. La galga sostiene a la fibra óptica de vidrio, la cual, al estirarse, se empieza a obtener la medición de la tensión.

La celda de carga esta calibrada para medir masa, con esto podemos intuir que la deformación vista como el cambio de masa, la vemos reflejada como la tensión

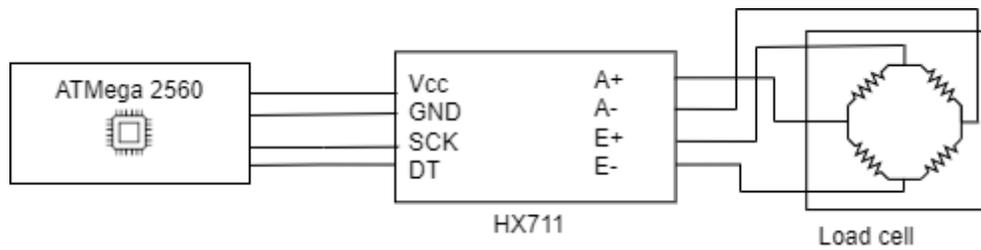


Figura 23. Diagrama de conexión de celda de carga.



Figura 24. Diagrama general para la lectura de la tensión.

13.5 Interfaz de usuario

La interfaz del usuario se desarrolla en una aplicación de Windows basada en C#, a fin de que el usuario pueda tener una mejor interacción con la plataforma.

El usuario puede realizar movimientos de manera manual, esto para revisar posiciones para la aplicación del arco eléctrico o en movimiento sobre la FOV. También despliega la posición de los ejes principales y la tensión en la fibra óptica de vidrio.

Para el arco eléctrico también se dispone de una sección, de ajuste principalmente para el tiempo de ejecución, así como el tipo de una sola aplicación o aplicación cíclica.

La aplicación establece conexión con el microcontrolador por comunicación serial RS-232. Principalmente en la aplicación solamente se encarga de editar estos parámetros para que el microcontrolador sea quién ejecute la secuencia de operación de la plataforma.

13.6 Integración de sistema

Para la integración del sistema, se tomó como controlador principal el microcontrolador ATmega2550 utilizando la plataforma de Arduino. Con ello se integraron

los sistemas electrónicos usando las entradas y salidas de este dispositivo. Como se puede observar en la Figura 25, la integración de cada uno de los sistemas es de manera modular, lo cual, permite una facilidad para su programación dentro del algoritmo, asimismo, se observa como cada uno de los sistemas se complementan de acuerdo a la forma de trabajo que se busque realizar.

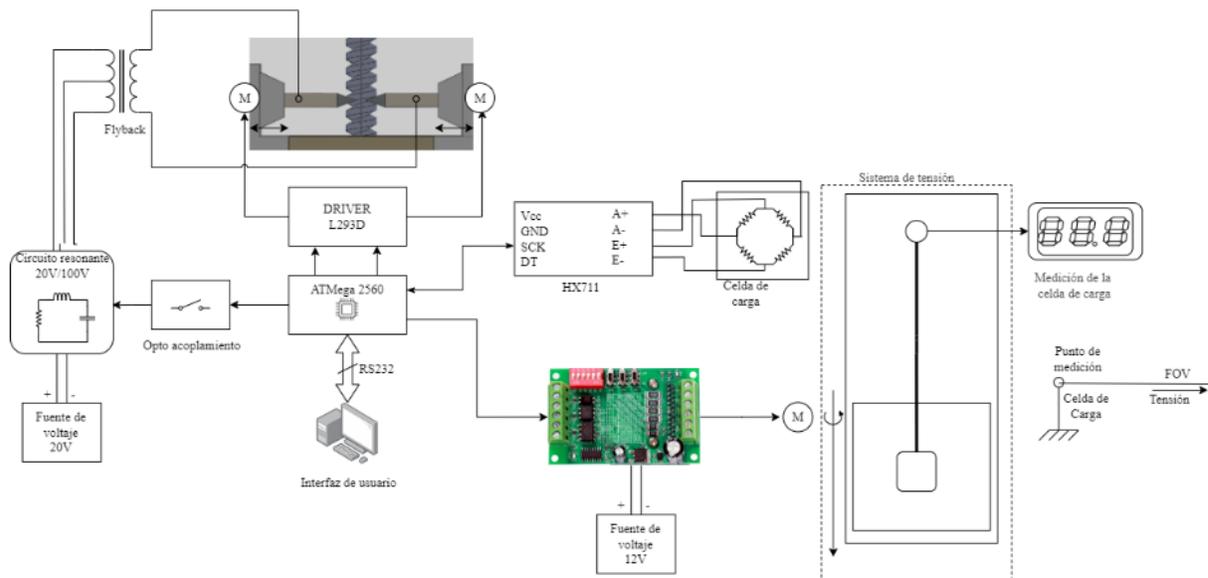


Figura 25. Esquema de integración de plataforma.

13.6.1 Algoritmo

Para la integración del sistema se utiliza un algoritmo para poder ejecutar las tareas necesarias para su uso. De manera previa, se realizan pruebas de forma individual con cada uno de los sistemas para poder garantizar el correcto funcionamiento de las tareas dentro del algoritmo, que una vez codificado debe de operar de manera funcional.

El algoritmo de funcionamiento opera de la siguiente manera:

- Se establece los parámetros de funcionamiento de la plataforma a través de la interfaz. Tensión deseada en la fibra óptica de vidrio y forma de ejecución del arco eléctrico.
- Inicia el ciclo donde se monitorea la tensión de la fibra óptica de vidrio y se ejecuta a la par el disparo del arco eléctrico según está programado, disparo de forma cíclica o no solamente un disparo, hasta llegar a la tensión deseada. Durante este paso se ejecuta el movimiento del eje principal que lleva la fibra óptica.

El algoritmo se implementa en la plataforma de Arduino siendo esa una plataforma versátil que permite una adaptación rápida y que permite su edición para futuras mejoras.

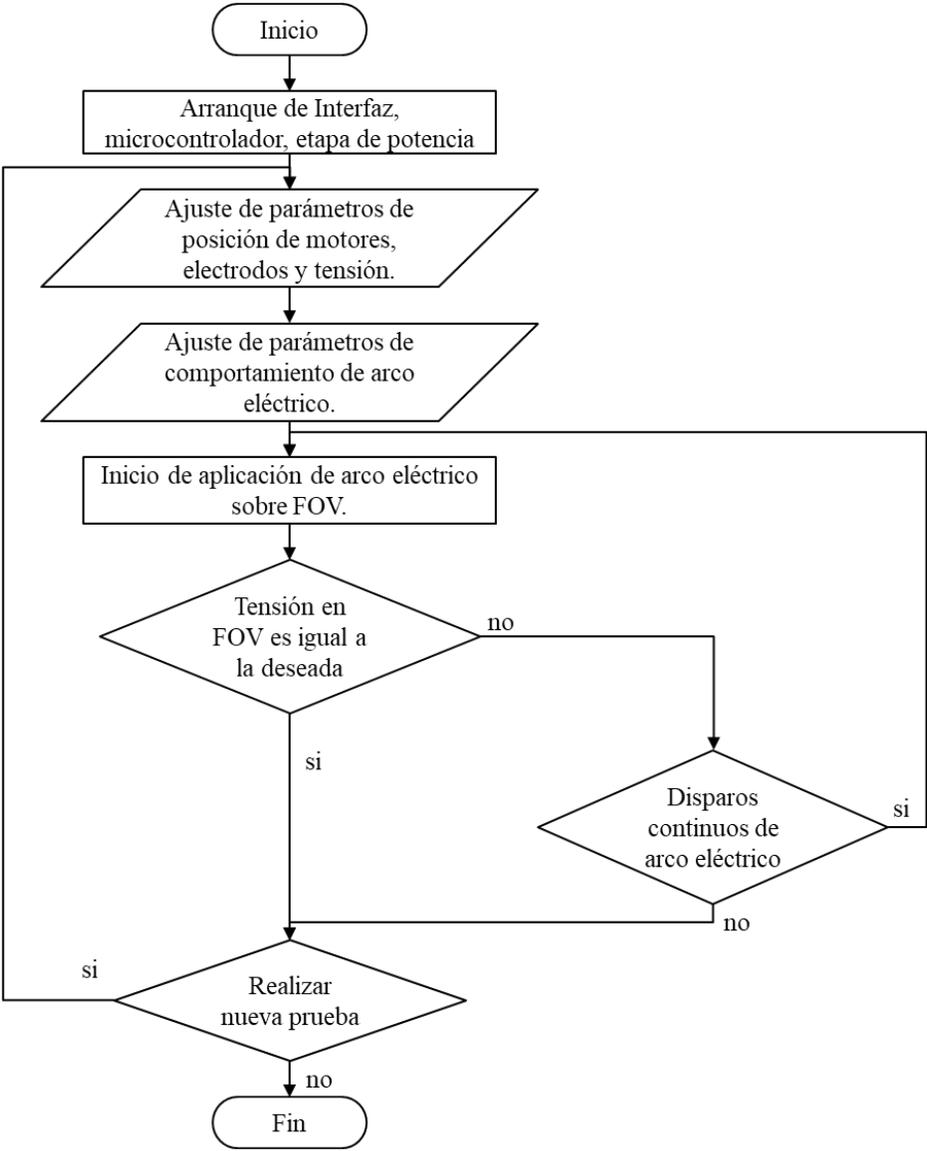


Figura 26. Diagrama de flujo de algoritmo de funcionamiento de plataforma.

14 Resultados

14.1 Estructura y mecanismos para fibra óptica de vidrio y electrodos

Se empezó a construir un prototipo para la emulación del movimiento, sin embargo, se encontró que, si bien este prototipo podía realizar su función, tendría detalles con la aplicación del arco eléctrico. La posición y distancia de los electrodos es ajustable, tanto en el acercamiento hacia la FOV como el movimiento en la posición a lo largo del eje de la misma, no obstante, queda dependiente al movimiento del sujetador de la FOV, además al ser un solo punto de aplicación, de no manipularse correctamente el arco se corre el riesgo de causar daños en la fibra que pudiera afectar en estudios posteriores, como puede ser separación de la FOV, deformación no deseada, etc.

Además, desde la parte mecánica, no se consideraron algunos esfuerzos que llevarían a un posible problema con el movimiento del eje, pudiendo provocar daños en el motor con su respectivo driver, o bien, daño en los componentes mecánicos. Tomando en cuenta esto, se planteó un rediseño de la estructura.

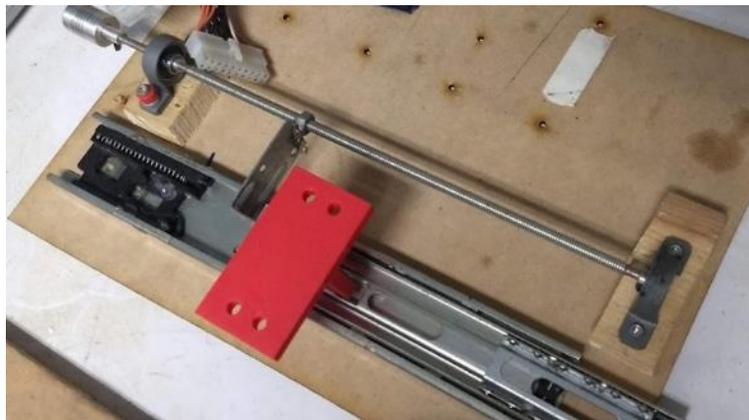


Figura 27. Foto del primer prototipo para emulación de movimiento de eje.

Se separó la plataforma en dos partes: movimiento de electrodos y movimiento de la fibra óptica de vidrio. Dicho de este modo, se tendrían dos ejes que se moverían de forma paralela.

Se aprovecha la reutilización de material de una CNC casera, ya que, esta cuenta con los elementos básicos para el movimiento de los ejes, así como que la forma de construcción es modular, es decir, si se requieren añadir más partes al sistema se pueden realizar gracias al uso del perfil de aluminio.

En la primera parte de la estructura, Figura 28, está dedicado al eje de la fibra óptica. Este eje cuenta con una plataforma dónde se podrá colocar cualquier herramienta desarrollada para la sujeción de la fibra óptica de vidrio, teniendo como ventaja que se le pueden colocar de diferentes diseños según se requiera. Esta plataforma es controlada mediante un tornillo sinfín apoyada con dos ejes, eso para poder mantener un movimiento lineal y constante.

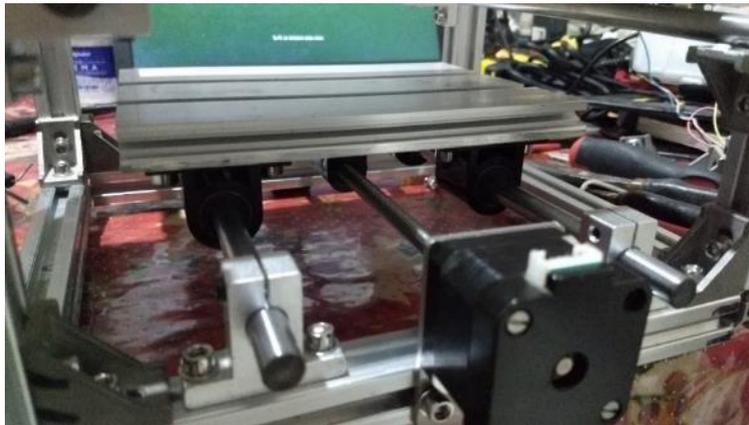


Figura 28. Primera parte de la estructura para el movimiento de la fibra óptica de vidrio.

En la segunda parte de la estructura, Figura 29, está dedicado al eje del arco eléctrico. Este tiene el mismo concepto que el eje de la fibra óptica de vidrio, ya que se busca un movimiento lineal, además, de que este tiene que ser paralelo al movimiento de la fibra óptica de vidrio. Además, esta parte cuenta con otros dos ejes pequeños para manipular la posición de los electrodos.



Figura 29. Segunda parte de la estructura para el movimiento del arco eléctrico. También se observan los ejes para electrodos sobre plataforma.



Figura 30. En la parte inferior de la imagen, se puede observar la parte uno de la estructura dedicada a la sujeción de la fibra óptica de vidrio; en la parte superior se puede observar la placa para el soporte de los ejes de los electrodos.



Figura 31. Vista superior de plataforma construida.

14.2 Sistema electrónico de control para control de motores

El sistema quedó constituido como se ve en la Figura 32. En el número 1 encontramos la tarjeta Arduino Mega, la cual, a través de sus diversos puertos periféricos podemos controlar los dispositivos que se han dispuesto para esta plataforma, dispone además de una salida para el puerto USB para establecer comunicación con la PC. El número 2, muestra los drivers TB6560 para el control de los motores a pasos de tipo Nema 17, además de que se dispuso un puente para conectarlos a las terminales de los motores, las cuales son tipo molex; estas tarjetas se alimentan con 12 V, de donde se obtienen de la fuente de alimentación. El número 3, son las tarjetas desarrolladas con el circuito integrado L293D, las cuales se

alimentan a 5 V, y como se puede ver son de menor dimensión que los drivers para los motores Nema 17. El número 4, se dispone de una serie de terminales para poder conectar señales de entrada digitales al Arduino si es que son requeridas; están conectadas en la configuración de “*pull-down*”. El número 5, es la fuente de alimentación, que es una fuente conmutada de computadora, ATX, que por sus características nos permite tener 3 diferentes salidas de voltaje, 3,3 V, 5 V y 12 V, útiles para este sistema, así como la corriente dispuesta para suministrar en los módulos.

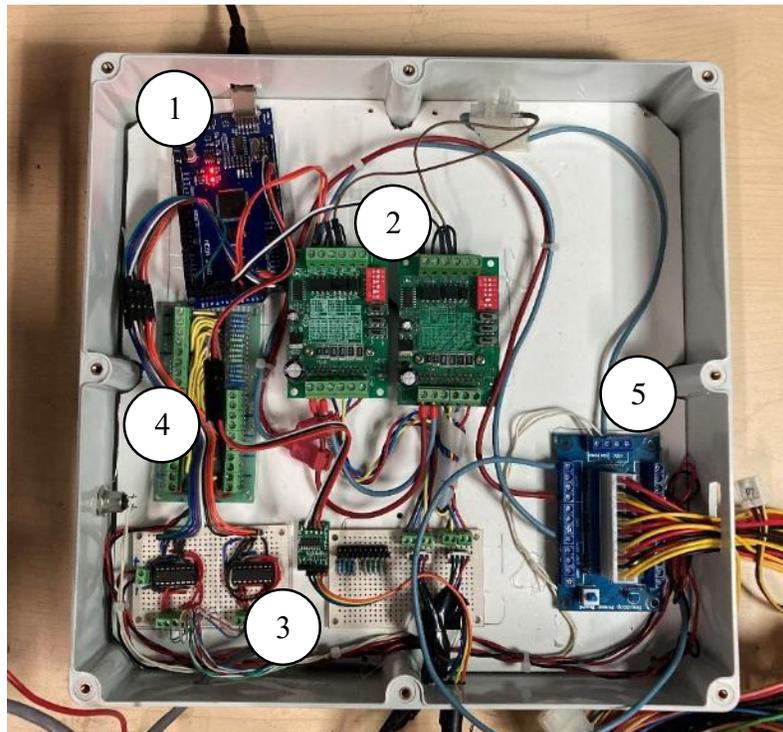


Figura 32. Gabinete para control de motores.

Para poder realizar un mejor manejo de los motores Nema 17, se dispuso la colocación de encoders incremental para obtener su posición, la cual, a partir de un punto de referencia, se mide las revoluciones en cada eje, y con ello, se puede obtener la posición lineal según corresponda la relación, siendo que esta puede ser ajustada acorde a la configuración de operación de las bobinas del motor con el driver TB6560; esto permite un libre ajuste en la medición de posición según el propósito que se tenga.

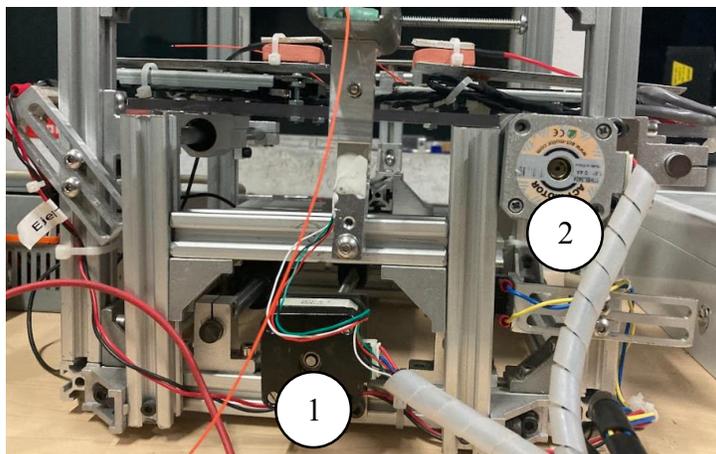


Figura 33. Motores a pasos Nema 17. (1). Motor dedicado a eje para fibra óptica de vidrio.
(2). Motor dedicado a eje para electrodos.

Para los motores a pasos destinados a los electrodos, por sus condiciones físicas, se obtuvo mediante mediciones empíricas. Para ambos motores se ejecutó un programa para que el motor diera 20 pasos, necesarios para dar una revolución, y de este modo realizar la medición de su desplazamiento. Así se obtuvo al dar una revolución el motor izquierdo, (1) en Figura 34, y el motor derecho, (2) en Figura 34, se desplazan aproximadamente 2.5 mm y 4.6 mm, respectivamente. Con esta información se puede realizar un ajuste para la distancia entre electrodos, ya que también puede convertirse en un factor para la aplicación del arco eléctrico sobre la fibra óptica.

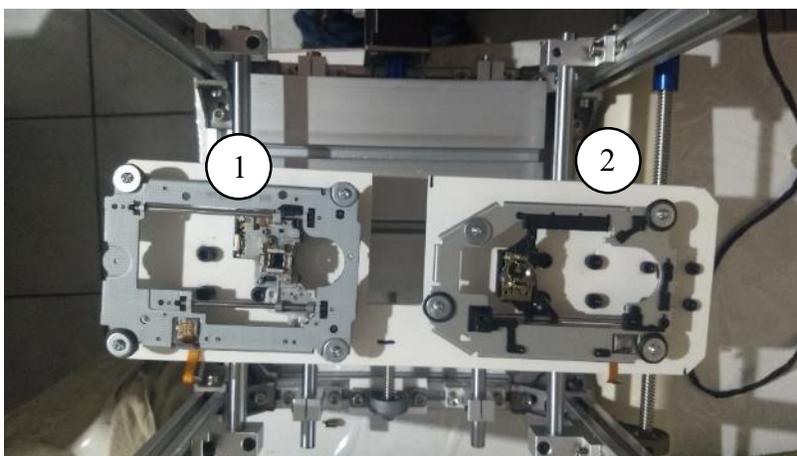


Figura 34. Motores a pasos para electrodos durante la etapa de construcción.

14.3 Sistema electrónico para generación de arco eléctrico

Durante la construcción del sistema electrónico para la generación del arco eléctrico, se presentaron diversos retos, como fue la fuente de alimentación. Uno de los problemas era el comportamiento del circuito resonador sobre la fuente, ya que, al utilizar fuentes conmutadas, estas no lograban funcionar de forma correcta, limitando su funcionamiento.

Al utilizarse, una fuente lineal, se observó que no había una afectación grande, ya que, al funcionar el arco eléctrico, solamente se presentaba una caída en el voltaje, además que se presentaba una deformación en la señal de voltaje y de la corriente, obedeciendo a un mismo patrón.

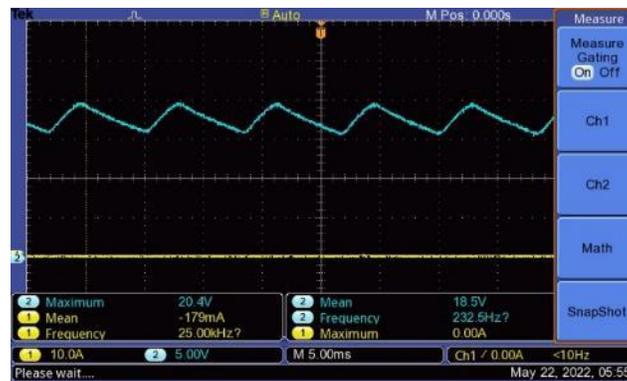


Figura 35. Salida de voltaje de fuente de alimentación sin carga, es decir, no se realizó la conexión con el circuito resonador y los transformadores *flyback*. (Voltaje en azul. Corriente en amarillo).

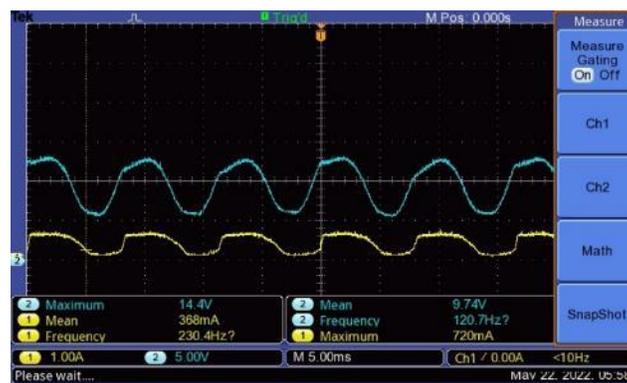


Figura 36. Salida de voltaje de fuente de alimentación con carga, es decir, se realizó la conexión con el circuito resonador y los transformadores *flyback*, además de que las salidas

para la generación del arco eléctrico se encontraban a una distancia aproximada de 10 mm (Voltaje en azul. Corriente en amarillo).

Durante las pruebas con el arco eléctrico, también se encontró que al utilizarse solamente un transformador *flyback*, este presentaba un calentamiento en el núcleo, además de que se presentaba un deterioro en la cerámica debido a que internamente también se cerraba el circuito del arco eléctrico entre las salidas del secundario del transformador.

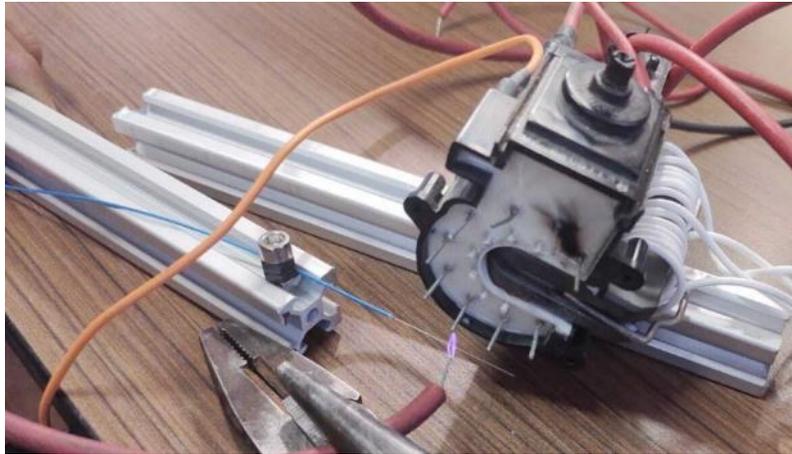


Figura 37. Arco eléctrico utilizando un solo transformador *flyback*. Se observa una mancha negra en las terminales, a lo cual es el daño interno en las salidas del transformador.

Por ello, se utiliza un transformador adicional colocado en paralelo y la salida se conecta en serie con la otra salida del otro transformador *flyback*, permitiendo reducir el calentamiento en los núcleos, así como el daño en la cerámica aislante. Otra de las mejoras que se vieron fue la capacidad de disparar el arco eléctrico a diferentes distancias entre las terminales de los transformadores.

Finalmente, el arco eléctrico quedo operando de la siguiente manera: el circuito es alimentado con una fuente de voltaje de 20 V_{CD}, que permite la operación del circuito resonador de una frecuencia de 10 kHz para obtener una salida de 140 V_{CD} de forma pulsante, esta salida es conectada en la entrada de cada uno de los *flybacks* que están conectados en paralelo y sus salidas se colocan en serie; finalmente después de todas estas etapas, obtenemos una salida de 10 kV_{CD} de forma individual en los transformadores *flyback*, con lo que se obtiene 20 kV_{CD} aproximadamente, que con esta cantidad de voltaje se genera el arco eléctrico, mientras la distancia entre las terminales sea de 3 mm a 10 mm.



Figura 38. Integración de dos transformadores *flybacks* con salidas en serie para la generación del arco eléctrico.

14.4 Sistema de medición de tensión

Para la medición de la tensión se colocó en la celda de carga un sujetador construido para no fracturar la fibra óptica de vidrio, permitiendo mantener este punto fijo, como se puede ver en (1) de la Figura 39. Una vez sujeto un extremo de la FOV, el otro extremo es colocado sobre el otro extremo el colocado sobre el segundo sujetador que está anclado en la base, permitiendo que este se pueda desplazar y poder aplicar una fuerza para estirar la fibra óptica, como se puede ver en (2) de la Figura 39.

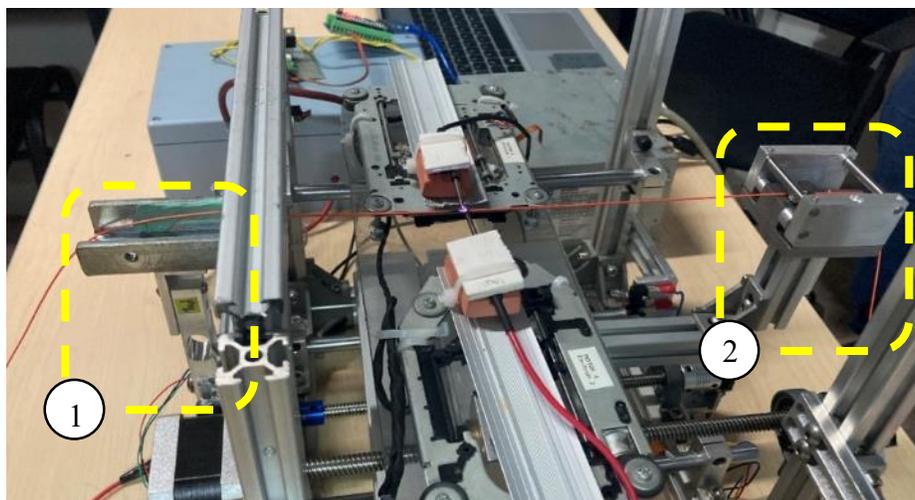


Figura 39. Sistema de medición de tensión integrado en estructura de la plataforma. (1). Celda de carga. (2). Sujetador para estirar la fibra óptica.

El módulo HX711, destinado para obtener el valor de la medición en la celda de carga, fue integrado dentro del gabinete del sistema de control, a fin de poder realizar la conexión con el microcontrolador.

14.5 Interfaz de usuario

La interfaz de usuario se desarrolló de tal modo que fuera de fácil operación. Se utilizó una aplicación de Windows Forms basada en C# versión 3.10.0, mediante la plataforma de desarrollo de Visual Studio 2019 versión 16.10.4, en la que se estableció la configuración de parámetros para la plataforma, utilizando una computadora Dell Inspiron 15 5000 Series.

El método de comunicación entre esta aplicación y el microcontrolador fue comunicación serial RS-232. Como primer paso, se establece la comunicación serial mediante un buscador sencillo de puertos disponibles; en los campos de textos se configura el valor deseado y éste se envía al microcontrolador. Para el envío de datos, estos se mandaban en forma de caracteres y el microcontrolador los recibe para su procesamiento posterior.

Como se observa en la Figura 40, la interfaz se encuentra seccionada en diferentes áreas:

- Comunicación: Selección de puerto serial dispuesto para el microcontrolador dispuesto en la computadora donde se ejecuta. Además, se puede configurar la velocidad de transmisión, la cual, por defecto es de 9600 baudios, aunque se puede configurar según como se configuró el dispositivo con el que se va a comunicar.
- Control: Se cuentan con dos selectores:
 - Manual: para realizar movimientos manuales en los ejes.
 - Automático: para ejecutar la secuencia de aplicación con los parámetros dados y que se ejecuta al presionar el botón de Inicio.
- Electrodo: Se dispone de botones para ajustar la distancia entre electrodos, ya sea que se muevan de forma paralela o individual.
- Control de movimientos: 1. Eje electrodos: se disponen de botones para ajustar la posición del eje sobre el que están colocados los electrodos. 2. Eje Base/Estrechador: se disponen de botones para ajustar la posición del eje sobre el que se sujeta la fibra óptica de vidrio. Se puede visualizar posición de ejes.

- Tensión de fibra óptica: Se muestra el valor de lectura de la celda de carga, así como una tensión deseada.
- Arco eléctrico: Se dan los parámetros para ejecución de arco eléctrico, como es tiempo de aplicación y forma de disparo (un pulso o de forma cíclica).

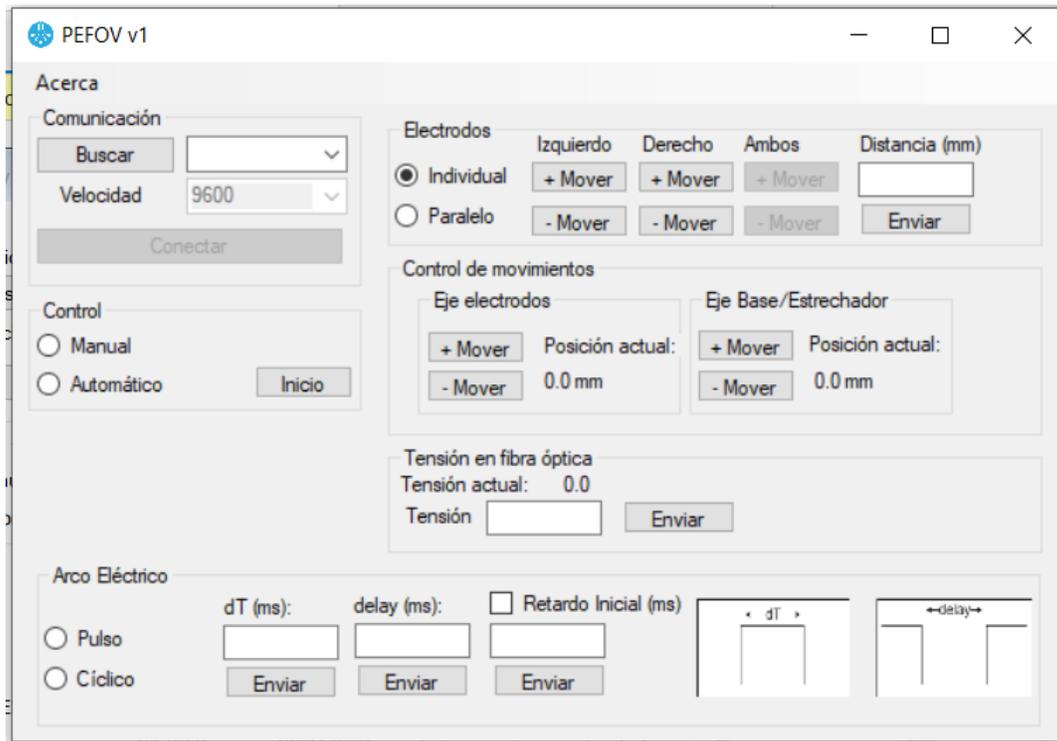


Figura 40. Interfaz de usuario desarrollada en Visual Studio.

14.6 Integración de sistemas

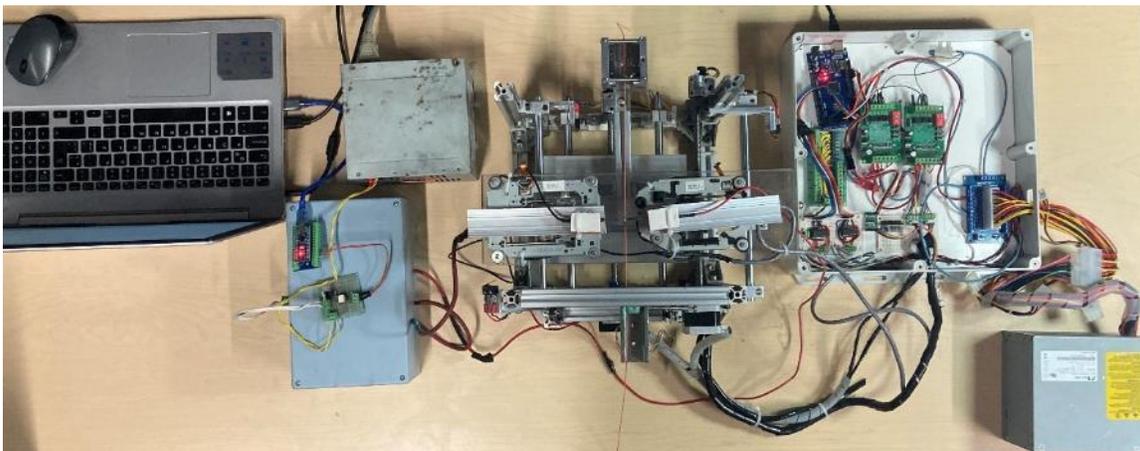


Figura 41. Plataforma Experimental de Fibra Óptica de Vidrio.

La integración de los sistemas de la plataforma se realizó de manera modular, de modo que se fue realizando por etapas. De manera general, el orden de integración se hizo de la siguiente manera:

1. Estructura y mecanismos para fibra óptica de vidrio y electrodos.
2. Sistema electrónico de control para control de motores.
3. Sistema electrónico para generación de arco eléctrico.
4. Sistema de medición de tensión.
5. Interfaz de usuario.

Esto permitió realizar los ajustes necesarios para su acoplamiento y ver su comportamiento entre cada uno de éstos, y obtener como resultado la construcción completa de la plataforma como se puede ver en la Figura 41.

Como parte de la integración, se realizaron cambios en la estructura, como fue el cambio de posición de ejes, ya que se observó que, al mover el eje de los electrodos, el motor a pasos deformaba en su eje, debido a que en esta parte de la estructura no se desplazaba de manera uniforme, generando además un sobrecalentamiento al estar forzando el motor. Otro cambio, fue la sustitución de la placa de este mismo eje, ya que con el paso del tiempo se fue deformando, por lo que se colocó una placa de policarbonato. Esta diferencia se puede observar entre Figura 34 y la Figura 41.

Para el sistema del arco eléctrico, se elaboraron bloques de cerámica (arcilla) con el objetivo de aislar la plataforma de los cables del sistema de generación de arco eléctrico. Con ello también se dispuso del uso de electrodos para que se pudieran intercambiar cuando su tiempo de vida terminara.

Para la selección de los electrodos se utilizaron dos criterios: material de construcción y geometría. Para la prueba de geometría, se observó que, al tener una terminación redondeada, la aplicación del arco eléctrico no era visualmente lineal, si no que el arco tomaba formas curvas, lo que se convertía en problema al momento de querer aplicar sobre la fibra óptica de vidrio, en cambio al tener una terminación puntiaguda mejoraba la condición. Para la prueba de material se utilizaron los siguientes materiales: cobre y tungsteno, donde el que tuvo mejor resultado para esta aplicación fue el electrodo de tungsteno.

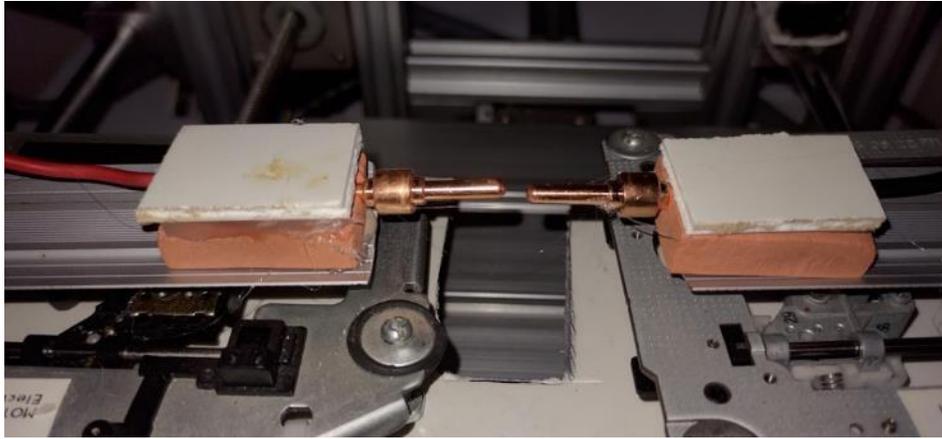


Figura 42. Electrodo de cobre para aplicación de arco eléctrico.

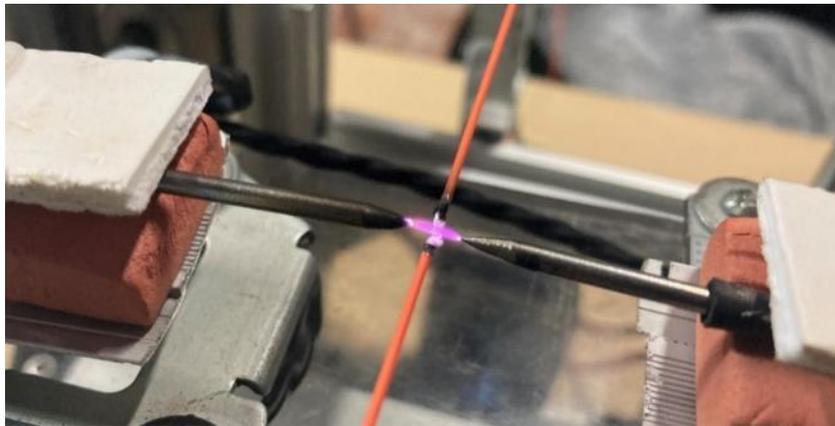


Figura 43. Arco eléctrico sobre fibra óptica de vidrio con electrodos de carburo de tungsteno.

En la ejecución del algoritmo se toma en cuenta diferentes formas de programar el algoritmo. Previo a la construcción completa del algoritmo se realizaron pruebas de forma modular con cada uno de los sistemas, a fin de asegurar su funcionamiento correcto de manera independiente.

El desarrollo de un primer algoritmo se realizó intentando integrar las librerías utilizadas para los sistemas, sin embargo, se observó que existían problemas durante la interacción entre los módulos ocasionando problemas en la ejecución correcta del programa.

Otra forma fue el uso de una librería de Sistema Operativo de Tiempo Real, no obstante, en las pruebas de implementación había conflictos entre las tareas y librerías, así como el tiempo

de ejecución para los dispositivos, ocasionando problemas durante movimientos de los motores principalmente.

Finalmente, se ideó una nueva forma de ejecutar el algoritmo tomando en cuenta los intentos anteriores, con lo que se reorganizó una nueva forma de ejecución de las aplicaciones de los sistemas, cambiando también la forma de recepción y envío de información a la interfaz, mejorando su comportamiento en la interacción.

14.7 Pruebas

Se realizaron algunas pruebas finales, que consistieron principalmente ver el comportamiento del arco eléctrico sobre la fibra óptica de vidrio.

Una de las pruebas consistió en el disparo continuo de arco eléctrico durante 1 minuto, con una separación entre electrodos de 8 mm, donde se observó el reblandecimiento de la fibra y que, por el tiempo de exposición al arco eléctrico, se notó que ésta ya se había fracturado. De forma demostrativa, se empleó una FOV con su recubrimiento plástico y visiblemente se fracturó la fibra y se quemó el recubrimiento, como se observa en la Figura 43.

Se realizó una prueba completa, donde se puso en marcha el sistema con las siguientes características:

- Separación entre electrodos: 8 mm
- Duración de disparos de arco eléctrico: 15 segundos
- Ciclo de trabajo de arco eléctrico: 2 segundos encendido y 3 segundos apagado
- Movimiento libre de eje que porta la fibra óptica de vidrio

Con esto se detectó una carga en la celda de carga de 0,9 N al momento de estrechar la FOV, y con la aplicación del arco eléctrico sobre la fibra óptica de vidrio, se alcanzó un estrechamiento de 0,5 mm, que se obtuvo a partir de una medición con un vernier.

Con esto se finaliza la integración y se dispone a que se puede seguir parametrizando el sistema para las pruebas requeridas en un futuro.

15 Conclusiones

Con el desarrollo de esta plataforma, mediante la realización de sistemas robustos que operan de forma modular y que se complementan entre ellos, se logra que este sistema pueda utilizarse para diferentes aplicaciones para la fibra óptica de vidrio, como es estrechar, separar y unir, que dependerá principalmente de un conjunto de parámetros que se deberá de estudiar a futuro.

La plataforma, al ser un conjunto modular y de arquitectura abierta, permite incorporar otras tecnologías o en su caso, reemplazar dispositivos obsoletos, con el fin de añadir nuevas etapas o nuevas formas de control sobre el conjunto, según se adapte a los diferentes casos de estudio.

Con este prototipo se espera que se puedan iniciar nuevas investigaciones en sensores médicos, de construcción y ambientales.

15.1 Trabajos futuros

Esta plataforma está pensada principalmente para que pueda servir como base para futuros proyectos para la fibra óptica, por lo que da pie a que se siga mejorando en diversos ámbitos y que sean presentados como artículos, tesis, etc., por ejemplo:

- Caracterización de sistema de tensión
- Control de lazo cerrado para estrechamiento de fibra óptica
- Optimización de algoritmo de sistema de control
- Control robusto para manejo de arco eléctrico

16 Bibliografía

- [1] Fiber Optic Association, Inc, «The FOA Reference Guide To Fiber Optics,» 14 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.thefoa.org/tech/ref/basic/fiber.html>.
- [2] J. Hernández García, J. Estudillo Ayala y R. Rojas Laguna, «Instrumentación y diseño de una fuente de alto voltaje para fabricar rejillas de fibra óptica mediante la técnica de arco eléctrico.,» *Revista Mexicana de Física*, p. 4, 2010.
- [3] E. Hoagland, M. Golovkov y C. Maurice, «Measurements, observations, and implications or moving electrical-arc behavior and effect or reclosure events on overhead lines and worker protection.,» *IEEE Transactions on Industry applications*, p. 3, 2016.
- [4] O. Robles, «¿Qué es un fusionadora de fibra óptica?,» 2 March 2020. [En línea]. Available: <https://www.syscomblog.com/2020/03/que-es-una-fusionadora-de-fibra-optica.html>. [Último acceso: 8 May 2020].
- [5] Incom Retail, «Incom,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.incom.mx/productos/Fibra-%C3%B3ptica/Equipos-de-empalme-y-medic%C3%B3n/Empalmadoras-FIBFUS3>. [Último acceso: 9 May 2020].
- [6] Vincent Ferrer, «Fusionadora de Fibra Óptica,» [En línea]. Available: <https://vicentferrer.com/fusionadora-fibra-optica/>. [Último acceso: 8 May 2020].
- [7] ToolBoom, «Empalmadoras de fibra óptica,» 2020. [En línea]. Available: <https://toolboom.com/es/catalogue/fiber-optic-network-maintenance/fusion-splitters/?si=price-up>. [Último acceso: 12 May 2020].
- [8] Fibra Market, «Empalmadoras Renta y Venta,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.fibramarket.com/fibra-optica-productos/empalmadoras-fusionadoras/>. [Último acceso: 9 May 2020].

- [9] Saberes y Ciencias, «Desarrollo de la óptica en México y Puebla,» Saberes y Ciencias, 11 August 2012. [En línea]. Available: <https://saberesyciencias.com.mx/2012/08/11/desarrollo-de-la-optica-en-mexico-y-puebla/>. [Último acceso: 13 May 2020].
- [10] M. d. C. Alonso Murias, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLATAFORMA PARA EL ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA RESONANCIA DE PLASMÓN SUPERFICIAL EN FIBRA ÓPTICA, León, Guanajuato: Centro de Investigaciones en Óptica, 2019.
- [11] C. E. Domínguez Flores, O. Rodríguez-Quiroz y D. Monzon Hernández, *PLATAFORMA PARA LA FABRICACIÓN DE MICRO-CAVIDADES FABRY-PEROT EN FIBRA ÓPTICA*, León, Guanajuato: Centro de Investigaciones en Óptica, 2017.
- [12] C. E. Domínguez Flores, DISEÑO, FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE INFERFERÓMETROS FABRY-PEROT DE FIBRA ÓPTICA EXTRÍNSECOS Y SU APLICACIÓN EN SISTEMAS DE SENSADO DE VARIABLES FÍSICAS, León, Guanajuato: Centro de Investigaciones en Óptica, 2018.
- [13] O. G. Cortez, «Sistema para fabricación de dispositivos fotónicos cilíndricos con recubrimientos poliméricos delgados». México 2019.
- [14] Instrumentos de Medida, S. L., «Microposicionadores,» [En línea]. Available: <http://idm-instrumentos.es/microposicionadores/>. [Último acceso: 14 May 2020].
- [15] Thomson Linear Motion Optimized, «Linear Motion Systems | Linear Motion System Technologies,» [En línea]. Available: <https://www.thomsonlinear.com/es/productos/sistemas-de-movimiento-lineal/acerca-de-sistemas-de-movimiento-lineal>. [Último acceso: 14 May 2020].

- [16] F. J. Gonzalez Corro, Desarrollo de un sistema de micro-posicionamiento mediante sensores absolutos y relativos, San Juan del Rio, Querétaro, 2018.
- [17] D. Talavera Velázquez y E. A. M. M. F. G. Rivas Araiza, «Dispositivo microposicionador XYZ para aplicaciones en fibras ópticas de vidrio,» de *Ingeniería Mecatrónica en México 2016*, Querétaro, 2016, pp. 204-216.
- [18] P. Sanchis, A. Ursea y E. Gubía, «Boost DC-AC Inverter: A new control strategy,» *IEEE Transactions on Power electronics*, p. 11, 2005.
- [19] Ingeniatic, «¿Sabes cómo funciona la fibra óptica?,» Universidad Politécnica de Madrid, 2011. [En línea]. Available: <https://www.etsist.upm.es/estaticos/ingeniatic/index.php/multimedia/infografias/item/706-sabes-como-funciona-la-fibra-optica.html>. [Último acceso: 9 February 2020].
- [20] ITCA Escuela de Computación, «Partes de la Fibra Óptica,» 2018. [En línea]. Available: https://virtual.itca.edu.sv/Mediadores/irmfi1/IRMFI_15.htm. [Último acceso: 19 February 2020].
- [21] «T568.3-1-05 (R2010) - Optical Fiber Cabling Components Standard».
- [22] Prensa UAQ, «UAQ IMPLEMENTA RUTA DE FIBRA ÓPTICA ENTRE CAMPUS CORREGIDORA Y CENTRO UNIVERSITARIO,» Universidad Autónoma de Querétaro, 8 July 2019. [En línea]. Available: <http://noticias.uaq.mx/index.php/vida/2785-uaq-implementa-ruta-de-fibra-optica-entre-campus-corregidora-y-centro-universitario>. [Último acceso: 14 May 2020].
- [23] A. Jiménez, «Ingeniería UAQ multiplicará diez veces su velocidad de conexión a internet,» Facultad de Ingeniería, 9 June 2019. [En línea]. Available: <https://ingenieria.uaq.mx/index.php/vida-fi/boletin/869-ingenieria-uaq-multiplicara-diez-veces-su-velocidad-de-conexion-a-internet>. [Último acceso: 14 May 2020].

- [24] J. Cano, «APLICACIONES DE LA FIBRA ÓPTICA,» Euro Innova, 15 February 2015. [En línea]. Available: <https://www.euroinnova.mx/15-2-24/la-fibra-optica-y-sus-aplicaciones>. [Último acceso: 19 February 2020].
- [25] O. González Cortez, Sistema para fabricación de dispositivos fotónicos cilíndricos con recubrimientos poliméricos delgados, Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2019.
- [26] C. E. Flores, «Soldadura al arco eléctrico SMAW,» *Guatemala: Universidad Rafael Landívar*, 2002.
- [27] A. Iturregui Aio, «Modelization and Analysis of teh electric arc in low voltage circuit breakers,» *Bilbao: Universidad del País Vasco*, 2013.
- [28] V. M. Hernández Guzmán, R. Silva Ortigoza y R. V. Carrillo Serrano, Control Automático: Teoría de Diseño, Construcción de Prototipos, Modelado, Identificación y Pruebas Experimentales., México, DF: Collección CIDETEC del Instituto Politécnico Nacional, 2013.
- [29] M. H. Rashid, Electrónica de potencia: Circuitos, dispositivos y aplicaciones, Segunda ed., México: Prentice Hall Hispanoamericana, 1993.
- [30] Á. Giménez Pérez, DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN CONVERTIDOR FLYBACK PARA UN SISTEMA FOTOVOLTAICO, Valencia: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA, 2016.
- [31] C. L. Trujillo Rodríguez, N. L. Díaz Aldana y J. A. Hernández Mora, «Diseño de controladores para un convertidor flyback, operando en modo interconectado a red, para aplicaciones fotovoltaicas,» *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, vol. I, n° 65, pp. 16-32, Diciembre 2012.

- [32] Arduino, «About Arduino,» 15 Septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/about>. [Último acceso: 01 05 2022].
- [33] Arduino, «Arduino Mega 2560 Rev3,» [En línea]. Available: <http://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>. [Último acceso: 6 Octubre 2021].
- [34] Texas Instruments, «L293x Quadruple Half-H Drivers datasheet (Rev. D),» [En línea]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/l293.pdf>. [Último acceso: 5 Marzo 2021].
- [35] B. Andreyca, «Zero Voltage Switching Resonant Power Conversion,» Texas Instruments, [En línea]. Available: <https://www.ti.com/lit/ml/slup089/slup089.pdf>. [Último acceso: 22 Abril 2022].
- [36] Yokogawa, «Optical Test Equipment,» Yokogawa, 2020. [En línea]. Available: <https://tmi.yokogawa.com/solutions/products/optical-measuring-instruments/>. [Último acceso: 11 May 2020].
- [37] Photonics Online, «Positioning Equipment,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.photonicsonline.com/solution/positioning-equipment>. [Último acceso: 14 May 2020].

17 Anexo

A continuación, se muestran los códigos utilizados en Arduino con la IDE 1.8.9 para pruebas individuales, así como código donde se integran los sistemas.

17.1 Código para prueba de driver L293D y motores

```
#include <Stepper.h>

//pasos para revolución completa
int stepsPerRevolution = 20;
int stepsPerRevolution2 = 20;

//motor 1
Stepper myStepper(stepsPerRevolution, 23, 25, 27, 29);
//motor 2
Stepper myStepper2(stepsPerRevolution2,22,24,26,28);

void setup() {
  //velocidad en rpm
  myStepper.setSpeed(60);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  //avance
  Serial.println("avance 1");
  myStepper.step(stepsPerRevolution);
  delay(500);

  //reversa
  Serial.println("reversa 1");
  myStepper.step(-stepsPerRevolution);
  delay(500);

  //avance
  Serial.println("avance 2");
  myStepper2.step(stepsPerRevolution2);
  delay(500);

  //reversa
  Serial.println("reversa 1");
  myStepper2.step(-stepsPerRevolution2);
  delay(500);
}
```

17.2 Código para prueba de driver TB6560

```
// Definición de señales
#define dirPin 3 //cw+
#define dirPin2 4 //cw+
#define stepPin 2 //clk+

void setup() {
  // Declare pins as output:
  pinMode(stepPin, OUTPUT);
  pinMode(dirPin, OUTPUT);
  pinMode(dirPin2, OUTPUT);
}

void loop() {

  //dirección de giro
  digitalWrite(dirPin, LOW);
  digitalWrite(dirPin2, HIGH);

  //velocidad
  digitalWrite(stepPin, HIGH);
  delay(10);
  //delayMicroseconds(1000);
  digitalWrite(stepPin, LOW);
  delay(10);
  //delayMicroseconds(1000);
}
```

17.3 Código para prueba de celda de carga

```
//
// FILE: HX_kitchen_scale.ino
// AUTHOR: Rob Tillaart
// PURPOSE: HX711 demo
// URL: https://github.com/RobTillaart/HX711

#include "HX711.h"

HX711 scale;

//uint8_t dataPin = 6;
//uint8_t clockPin = 7;
uint8_t dataPin = 19;//for esp32
uint8_t clockPin = 18;//for esp32
```

```

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  Serial.println(__FILE__);
  Serial.print("LIBRARY VERSION: ");
  Serial.println(HX711_LIB_VERSION);
  Serial.println();

  scale.begin(dataPin, clockPin);

  Serial.print("UNITS: ");
  Serial.println(scale.get_units(10));

  Serial.println("\nEmpty the scale, press a key to continue");
  while(!Serial.available());
  while(Serial.available()) Serial.read();

  scale.tare();
  Serial.print("UNITS: ");
  Serial.println(scale.get_units(10));

  Serial.println("\nPut 1000 gram in the scale, press a key to continue");
  while(!Serial.available());
  while(Serial.available()) Serial.read();

  scale.calibrate_scale(1000, 5);
  Serial.print("UNITS: ");
  Serial.println(scale.get_units(10));

  Serial.println("\nScale is calibrated, press a key to continue");
  // Serial.println(scale.get_scale());
  // Serial.println(scale.get_offset());
  while(!Serial.available());
  while(Serial.available()) Serial.read();
}

void loop()
{
  Serial.print("UNITS: ");
  Serial.println(scale.get_units(10));
  delay(250);
}

```

```
// -- END OF FILE --
```

17.4 Código para prueba de disparo de arco eléctrico

```
//definición de tiempos de operación
#define delayRetardo 1000
#define delayOn 3000
#define delayOff 2000

void setup() {
  pinMode(10, OUTPUT);

  //tiempo inicial apagado/retardo
  delay(delayRetardo);
}

// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  //inicia tiempo de encendido
  digitalWrite(10, HIGH);
  //duración de disparo
  delay(delayOn);

  //descanso de sistema
  digitalWrite(10, LOW);
  //tiempo de descanso
  delay(delayOff);
}
```

17.5 Código para prueba de recepción por comunicación serial

```
int incomingByte = 0; // for incoming serial data

void setup() {
  Serial.begin(9600); // opens serial port, sets data rate to 9600 bps
}

void loop() {
  // send data only when you receive data:
  if (Serial.available() > 0) {
    // read the incoming byte:
    incomingByte = Serial.read();

    // say what you got:
    Serial.print("I received: ");
  }
}
```

```

    Serial.println(incomingByte, DEC);
}

/***** test con salto de linea*****/

// incomingByte = Serial.read();
//// if (incomingByte=='\n'){ }
//// else{
//   Serial.print("I received: ");
//   Serial.println(incomingByte);
////   }

/***** test buffer array char*****/

// char buffer[7];
// Serial.readBytesUntil('\n', buffer, 7);
// int data = atoi(buffer);
//

}

```

17.6 Código para disparo de arco eléctrico

```

//definición de tiempos de operación
int delayRetardo; //A
int delayOn; //B
int delayOff; //C
int ciclo; //D
//recepción de datos
char i_data;

void setup() {
  pinMode(10, OUTPUT);
  pinMode(3, INPUT); // Enable
  //tiempo inicial apagado/retardo
  delay(delayRetardo);

  //Comunicación Serial
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  if(digitalRead(3)==false){
    while(Serial.available(>0){
      i_data=Serial.read();
      if(i_data=='A'){

```

```

        delayOn=Serial.parseInt();
    }
    if(i_data=='B'){
        delayOff=Serial.parseInt();
    }
    if(i_data=='C'){
        delayRetardo=Serial.parseInt();
    }
    if(i_data=="D"){
        ciclo=Serial.parseInt();
    }
}
}
delay(delayRetardo);

if(digitalRead(3)==true){
//if(ciclo>0){
//inicia tiempo de encendido
digitalWrite(10, HIGH);
//duración de disparo
delay(delayOn);

//descanso de sistema
digitalWrite(10, LOW);
//tiempo de descanso
delay(delayOff);
//ciclo++;
}

}
}

```

17.7 Código de PEFOV

```

/*****
* PEFOV | Plataforma Experimental de Fibra Óptica de Vidrio
* Julio 2022
* v1.0
* En caso de fallo, probar inividualmente sistema referido
*/

#include "HX711.h"
#include <Stepper.h>

HX711 scale;

```

```

uint8_t dataPin = 11;
uint8_t clockPin = 12;

//entrada analógica
double tension = 0;

//Arco electrico
#define ArcoEnable 10

//Eje electrodos
#define EjeElec_dirPin 3 //cw+
#define EjeElec_stepPin 4 //clk+
int EjeElec_time = 500;

//Eje portador de la fibra
#define EjeFibra_dirPin 5 //cw+
#define EjeFibra_stepPin 6 //clk+
int EjeFibra_time = 500;

//Electrodos
const int stepsPerRevolution1 = 20;
Stepper myStepper1(stepsPerRevolution1, 22, 24, 26, 28);
int stepCount1 = 0;

const int stepsPerRevolution2 = 20;
Stepper myStepper2(stepsPerRevolution2, 23, 25, 27, 29);
int stepCount2 = 0;

//otros
int i = 0;
int deltaElec;
int manual;
int stepSeq;

//data serial com
char i_data;

//encoder
int contador1 = 0;
int sensor1 = 18;
#define DistperRev1 2 //mm
#define DivEncoder1 100 //rejillas de encoder

int contador2 = 0;
int sensor2 = 19;
#define DistperRev2 2 //mm
#define DivEncoder2 100 //rejillas de encoder

```

```

int posAxisFibr;
int posAxisElec;

void setup() {
  pinMode(ArcoEnable, OUTPUT);
  pinMode(EjeElec_stepPin, OUTPUT);
  pinMode(EjeFibra_stepPin, OUTPUT);
  pinMode(EjeElec_dirPin, OUTPUT);
  pinMode(EjeFibra_dirPin, OUTPUT);

  myStepper1.setSpeed(60);
  myStepper2.setSpeed(60);

  Serial.begin(9600);

  scale.tare();
  delay(100);
  //calibración a 0 gramos
  scale.calibrate_scale(0, 5);
  //encoders
  pinMode(18, INPUT);
  pinMode(19, INPUT);
  attachInterrupt(1, interrupcion, RISING);
  attachInterrupt(2, interrupcion2, RISING);
}

void loop() {
  if(Serial.available()>0){
    i_data=Serial.read();
    if(i_data=='M'||manual==1){
      manual=1;
      //recepción de distancia
      if(i_data=='#'){
        deltaElec=Serial.parseInt();
      }
      //recepción de tensión
      if(i_data=='%'){
        tension=Serial.parseInt();
      }
      //Movimiento de ejes
      if(i_data=='a'){
        myStepper1.step(stepsPerRevolution1);
      }
      if(i_data=='b'){
        myStepper1.step(-stepsPerRevolution1);
      }
    }
  }
}

```

```

if(i_data=='c'){
  myStepper2.step(stepsPerRevolution2);
}
if(i_data=='d'){
  myStepper2.step(-stepsPerRevolution2);
}
if (i_data=='e'){
  myStepper1.step(stepsPerRevolution1);
  myStepper2.step(stepsPerRevolution2);
}
if(i_data=='f'){
  myStepper1.step(-stepsPerRevolution1);
  myStepper2.step(-stepsPerRevolution2);
}
else{
  digitalWrite(22,LOW);
  digitalWrite(24,LOW);
  digitalWrite(26,LOW);
  digitalWrite(28,LOW);

  digitalWrite(23,LOW);
  digitalWrite(25,LOW);
  digitalWrite(27,LOW);
  digitalWrite(29,LOW);
}
//eje electrodos
if(i_data=='g'){
  digitalWrite(EjeElec_dirPin,HIGH);
  for(i=0; i<50; i++){ //giro de 50 pasos
    digitalWrite(EjeElec_stepPin, HIGH);
    delayMicroseconds(EjeElec_time);
    digitalWrite(EjeElec_stepPin, LOW);
    delayMicroseconds(EjeElec_time);
  }
}
if(i_data=='h'){
  digitalWrite(EjeElec_dirPin,LOW);
  for(i=0; i<50; i++){ //giro de 50 pasos
    digitalWrite(EjeElec_stepPin, HIGH);
    delayMicroseconds(EjeElec_time);
    digitalWrite(EjeElec_stepPin, LOW);
    delayMicroseconds(EjeElec_time);
  }
}
//eje base
if(i_data=='i'){
  digitalWrite(EjeFibra_dirPin,HIGH);

```

```

for(i=0; i<50; i++){ //giro de 50 pasos
  digitalWrite(EjeFibra_stepPin, HIGH);
  delayMicroseconds(EjeFibra_time);
  digitalWrite(EjeFibra_stepPin, LOW);
  delayMicroseconds(EjeFibra_time);
}
}
if(i_data=='j'){
  digitalWrite(EjeFibra_dirPin,LOW);
  for(i=0; i<50; i++){ //giro de 50 pasos
    digitalWrite(EjeFibra_stepPin, HIGH);
    delayMicroseconds(EjeFibra_time);
    digitalWrite(EjeFibra_stepPin, LOW);
    delayMicroseconds(EjeFibra_time);
  }
}
}
if(i_data=='A'){
  manual=0;
  digitalWrite(EjeElec_dirPin, HIGH);
  digitalWrite(EjeFibra_dirPin, HIGH);
}
if(i_data=='S'){
  //inicio
  stepSeq=1;
}
while(stepSeq==1 && tension >= scale.get_units(10)){
  digitalWrite(ArcoEnable, HIGH);
  digitalWrite(EjeFibra_stepPin, HIGH);
  delayMicroseconds(EjeFibra_time);
  digitalWrite(EjeFibra_stepPin, LOW);
  delayMicroseconds(EjeFibra_time);
  posAxisElec=(contador1/DivEncoder1)*DistperRev1;
  posAxisFibr=(contador2/DivEncoder2)*DistperRev2;
  Serial.print(posAxisElec);
  Serial.print(',');
  Serial.print(posAxisFibr);
  Serial.print(',');
  Serial.print(scale.get_units(10));
  Serial.println();
}
}
}

void interrupcion() {
  contador1++;
}

```

```

void interrupcion2() {
    contador2++;
}

```

17.8 Códigos de interfaz en Visual Studio 2019 v16.10.4 C# v3.10.0

17.8.1 Form1.cs

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.IO.Ports;
using Timer = System.Timers.Timer;
using System.Timers;

//public static Timer

namespace Plataforma_Experimental_FOV
{
    public partial class Form1_PEF OV : Form
    {
        private string strBufferIn;
        private string strBufferOut;
        string i_cadena = "0,0,0";
        char delimitador = ',';

        int i = 0;
        int n = 0;

        public Form1_PEF OV()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
        {
            strBufferIn = "";
            strBufferOut = "";
            btnConnect.Enabled = false;
            cboBaudRate.Enabled = false;
            Btn_ElecLeftMin.Enabled = false;
            Btn_ElecLeftPlus.Enabled = false;
            Btn_ElecRightMin.Enabled = false;
            Btn_ElecRightPlus.Enabled = false;
            Btn_ElecMin.Enabled = false;
            Btn_ElecPlus.Enabled = false;
            //i_cadena = serialPort1.ReadLine();
            string[] valores = i_cadena.Split(delimitador);
            lblPosAxisElec.Text = valores[0] + "mm";
            lblPosAxisBase.Text = valores[1] + "mm";
        }
    }
}

```

```

        lblTension.Text = valores[2] + "mm";
    }

    private void groupBox1_Enter(object sender, EventArgs e)
    {

    }

    private void listView1_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
    {

    }

    private void btnFind_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        string[] AvailablePorts = SerialPort.GetPortNames();

        cboPorts.Items.Clear();

        foreach(string simplePort in AvailablePorts)
        {
            cboPorts.Items.Add(simplePort);
        }
        if (cboPorts.Items.Count > 0)
        {
            cboPorts.SelectedIndex = 0;
            MessageBox.Show("Selecciona puerto serial");

            btnConnect.Enabled = true;
            cboBaudRate.Enabled = true;
        }
        else
        {
            MessageBox.Show("Ningún puerto detectado");
        }
    }

    private void btnConnect_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        try
        {
            if (btnConnect.Text == "Conectar")
            {
                serialPort1.BaudRate = Int32.Parse(cboBaudRate.Text);
                serialPort1.DataBits = 8;
                serialPort1.Parity = Parity.None;
                serialPort1.StopBits = StopBits.One;
                serialPort1.Handshake = Handshake.None;
                serialPort1.PortName = cboPorts.Text;

                try
                {
                    serialPort1.Open();
                    serialPort1.Write("M");
                    btnConnect.Text = "Desconectar";
                }
            }
        }
    }

```

```

        catch (Exception exc)
        {
            MessageBox.Show(exc.Message.ToString());
        }

    }
    else if (btnConnect.Text == "Desconectar")
    {
        serialPort1.Close();
        btnConnect.Text = "Conectar";
    }
}
catch
{
}
}

private void groupBox2_Enter(object sender, EventArgs e)
{
}

private void textBox1_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
}

private void radioButton3_CheckedChanged(object sender, EventArgs e)
{
    Btn_ElecLeftMin.Enabled = true;
    Btn_ElecLeftPlus.Enabled = true;
    Btn_ElecRightMin.Enabled = true;
    Btn_ElecRightPlus.Enabled = true;
    Btn_ElecMin.Enabled = false;
    Btn_ElecPlus.Enabled = false;
}

private void label8_Click(object sender, EventArgs e)
{
}

private void selBtn_bothElec_CheckedChanged(object sender, EventArgs e)
{
    Btn_ElecLeftMin.Enabled = false;
    Btn_ElecLeftPlus.Enabled = false;
    Btn_ElecRightMin.Enabled = false;
    Btn_ElecRightPlus.Enabled = false;
    Btn_ElecMin.Enabled = true;
    Btn_ElecPlus.Enabled = true;
}

```

```

private void Btn_ElecLeftPlus_Click(object sender, EventArgs e)
{
    serialPort1.Write("a");
}

private void Btn_ElecLeftMin_Click(object sender, EventArgs e)
{
    serialPort1.Write("b");
}

private void Btn_ElecRightPlus_Click(object sender, EventArgs e)
{
    serialPort1.Write("c");
}

private void Btn_ElecRightMin_Click(object sender, EventArgs e)
{
    serialPort1.Write("d");
}

private void Btn_ElecPlus_Click(object sender, EventArgs e)
{
    serialPort1.Write("e");
}

private void Btn_ElecMin_Click(object sender, EventArgs e)
{
    serialPort1.Write("f");
}

private void Btn_BasePlus_Click(object sender, EventArgs e)
{
    serialPort1.Write("i");
}

private void Btn_BaseMin_Click(object sender, EventArgs e)
{
    serialPort1.Write("j");
}

private void btnAxisElecPlus_Click(object sender, EventArgs e)
{
    serialPort1.Write("g");
}

private void btnAxisElecMin_Click(object sender, EventArgs e)
{
    serialPort1.Write("h");
}

public void MoveA()
{
    // if (n == 1)
    // {
    //     for (i = 0; i < 400; i++)
    //     {
    //         //i=i+1;
    //     }
    // }
}

```

```

        // serialPort1.Write("a");
        //Console.Write(i);
    }
    //
    //
    //
}

private void StartMov(object sender, EventArgs e)
{
    serialPort1.Write("S");
}

private void label3_Click(object sender, EventArgs e)
{
}

private void label11_Click(object sender, EventArgs e)
{
}

private void label15_Click(object sender, EventArgs e)
{
}

private void btnArcoOn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    string port = "3";
    serialPort2.BaudRate = 9600;
    serialPort2.DataBits = 8;
    serialPort2.Parity = Parity.None;
    serialPort2.StopBits = StopBits.One;
    serialPort2.Handshake = Handshake.None;
    serialPort2.PortName = port;
    serialPort2.Open();

    serialPort2.Write("A"+tbArcoOn.Text);
    serialPort2.Write("B"+tbArcoOff.Text);
    if (cbDelay.Checked == true)
    {
        serialPort2.Write("C" + tbArcoDelay.Text);
    }
    else
    {
        serialPort2.Write("C" + "0");
    }
    serialPort2.Close();
}

private void btnArcoOff_Click(object sender, EventArgs e)
{
    string port = "3";
    serialPort2.BaudRate = 9600;
    serialPort2.DataBits = 8;
    serialPort2.Parity = Parity.None;
    serialPort2.StopBits = StopBits.One;
}

```

```

serialPort2.Handshake = Handshake.None;
serialPort2.PortName = port;
serialPort2.Open();

serialPort2.Write("A" + tbArcoOn.Text);
serialPort2.Write("B" + tbArcoOff.Text);
if (cbDelay.Checked == true)
{
    serialPort2.Write("C" + tbArcoDelay.Text);
}
else
{
    serialPort2.Write("C" + "0");
}
if (btnArcoCycle.Checked == true)
{
    serialPort2.Write("D2");
}
if (btnArcoPulse.Checked == true)
{
    serialPort2.Write("D1");
}
serialPort2.Close();
}

private void btnArcoDelay_Click(object sender, EventArgs e)
{
    string port = "3";
    serialPort2.BaudRate = 9600;
    serialPort2.DataBits = 8;
    serialPort2.Parity = Parity.None;
    serialPort2.StopBits = StopBits.One;
    serialPort2.Handshake = Handshake.None;
    serialPort2.PortName = port;
    serialPort2.Open();

    serialPort2.Write("A" + tbArcoOn.Text);
    serialPort2.Write("B" + tbArcoOff.Text);
    if (cbDelay.Checked == true)
    {
        serialPort2.Write("C" + tbArcoDelay.Text);
    }
    else
    {
        serialPort2.Write("C" + "0");
    }
    serialPort2.Close();
}

private void btnSendDistanceElectrodes_Click(object sender, EventArgs e)
{
    serialPort1.Write("#"+tbElecDistance.Text);
}

private void lblPosAxisBase_Click(object sender, EventArgs e)
{
}

```

```

private void selBtn_Manual_CheckedChanged(object sender, EventArgs e)
{
    serialPort1.Write("M");
}

private void selBtn_Auto_CheckedChanged(object sender, EventArgs e)
{
    serialPort1.Write("A");
}

private void btnSendTension_Click(object sender, EventArgs e)
{
    serialPort1.Write("%" + tbTension.Text);
}
}
}
}

```

17.8.2 Program.cs

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace Plataforma_Experimental_FOV
{
    static class Program
    {
        /// <summary>
        /// Punto de entrada principal para la aplicación.
        /// </summary>
        [STAThread]
        static void Main()
        {
            Application.EnableVisualStyles();
            Application.SetCompatibleTextRenderingDefault(false);
            Application.Run(new Form1_PEFOV());
        }
    }
}

```

17.8.3 Assembly.cs

```

using System.Reflection;
using System.Runtime.CompilerServices;
using System.Runtime.InteropServices;

// La información general de un ensamblado se controla mediante el siguiente
// conjunto de atributos. Cambie estos valores de atributo para modificar la
// información
// asociada con un ensamblado.
[assembly: AssemblyTitle("Plataforma Experimental FOV")]

```

```

[assembly: AssemblyDescription("")]
[assembly: AssemblyConfiguration("")]
[assembly: AssemblyCompany("")]
[assembly: AssemblyProduct("Plataforma Experimental FOV")]
[assembly: AssemblyCopyright("Copyright © 2021")]
[assembly: AssemblyTrademark("")]
[assembly: AssemblyCulture("")]

// Si establece ComVisible en false, los tipos de este ensamblado no estarán
// visibles
// para los componentes COM. Si es necesario obtener acceso a un tipo en este
// ensamblado desde
// COM, establezca el atributo ComVisible en true en este tipo.
[assembly: ComVisible(false)]

// El siguiente GUID sirve como id. de typelib si este proyecto se expone a COM.
[assembly: Guid("d9228a67-a034-40c7-94cf-239c26c6bada")]

// La información de versión de un ensamblado consta de los cuatro valores
// siguientes:
//
//     Versión principal
//     Versión secundaria
//     Número de compilación
//     Revisión
//
// Puede especificar todos los valores o usar los valores predeterminados de número
// de compilación y de revisión
// utilizando el carácter "*", como se muestra a continuación:
// [assembly: AssemblyVersion("1.0.*")]
[assembly: AssemblyVersion("1.0.0.0")]
[assembly: AssemblyFileVersion("1.0.0.0")]

```

17.8.4 Form1.Designer.cs

```

namespace Plataforma_Experimental_FOV
{
    partial class Form1_PEF OV
    {
        /// <summary>
        /// Variable del diseñador necesaria.
        /// </summary>
        private System.ComponentModel.IContainer components = null;

        /// <summary>
        /// Limpiar los recursos que se estén usando.
        /// </summary>
        /// <param name="disposing">true si los recursos administrados se deben desechar;
        false en caso contrario.</param>
        protected override void Dispose(bool disposing)

```

```

{
    if (disposing && (components != null))
    {
        components.Dispose();
    }
    base.Dispose(disposing);
}

```

#region Código generado por el Diseñador de Windows Forms

```

/// <summary>
/// Método necesario para admitir el Diseñador. No se puede modificar
/// el contenido de este método con el editor de código.
/// </summary>
private void InitializeComponent()
{
    this.components = new System.ComponentModel.Container();
    System.ComponentModel.ComponentResourceManager resources = new
System.ComponentModel.ComponentResourceManager(typeof(Form1_PEFOV));
    this.menuStrip1 = new System.Windows.Forms.MenuStrip();
    this.acercaToolStripMenuItem = new
System.Windows.Forms.ToolStripItem();
    this.desarrolladorToolStripMenuItem = new
System.Windows.Forms.ToolStripItem();
    this.infoToolStripMenuItem = new System.Windows.Forms.ToolStripItem();
    this.repositorioToolStripMenuItem = new
System.Windows.Forms.ToolStripItem();
    this.groupBox1 = new System.Windows.Forms.GroupBox();
    this.cboBaudRate = new System.Windows.Forms.ComboBox();
    this.label1 = new System.Windows.Forms.Label();
    this.cboPorts = new System.Windows.Forms.ComboBox();
    this.btnConnect = new System.Windows.Forms.Button();
    this.btnFind = new System.Windows.Forms.Button();
    this.serialPort1 = new System.IO.Ports.SerialPort(this.components);
    this.groupBox2 = new System.Windows.Forms.GroupBox();
    this.btn_Inicio = new System.Windows.Forms.Button();
    this.selBtn_Auto = new System.Windows.Forms.RadioButton();
    this.selBtn_Manual = new System.Windows.Forms.RadioButton();
    this.groupBox4 = new System.Windows.Forms.GroupBox();
    this.groupBox7 = new System.Windows.Forms.GroupBox();
    this.lblPosAxisBase = new System.Windows.Forms.Label();
    this.label5 = new System.Windows.Forms.Label();
    this.Btn_BaseMin = new System.Windows.Forms.Button();
    this.Btn_BasePlus = new System.Windows.Forms.Button();
    this.groupBox6 = new System.Windows.Forms.GroupBox();
    this.btnAxisElecPlus = new System.Windows.Forms.Button();
    this.lblPosAxisElec = new System.Windows.Forms.Label();
}

```

```

this.label2 = new System.Windows.Forms.Label();
this.btnAxisElecMin = new System.Windows.Forms.Button();
this.groupBox5 = new System.Windows.Forms.GroupBox();
this.btnSendDistanceElectrodes = new System.Windows.Forms.Button();
this.tbElecDistance = new System.Windows.Forms.TextBox();
this.label9 = new System.Windows.Forms.Label();
this.label8 = new System.Windows.Forms.Label();
this.label7 = new System.Windows.Forms.Label();
this.label6 = new System.Windows.Forms.Label();
this.Btn_ElecMin = new System.Windows.Forms.Button();
this.Btn_ElecPlus = new System.Windows.Forms.Button();
this.selBtn_bothElec = new System.Windows.Forms.RadioButton();
this.selBtn_singles = new System.Windows.Forms.RadioButton();
this.Btn_ElecRightMin = new System.Windows.Forms.Button();
this.Btn_ElecRightPlus = new System.Windows.Forms.Button();
this.Btn_ElecLeftMin = new System.Windows.Forms.Button();
this.Btn_ElecLeftPlus = new System.Windows.Forms.Button();
this.groupBox8 = new System.Windows.Forms.GroupBox();
this.cbDelay = new System.Windows.Forms.CheckBox();
this.btnArcoDelay = new System.Windows.Forms.Button();
this.tbArcoDelay = new System.Windows.Forms.TextBox();
this.btnArcoOff = new System.Windows.Forms.Button();
this.tbArcoOff = new System.Windows.Forms.TextBox();
this.label11 = new System.Windows.Forms.Label();
this.pictureBox2 = new System.Windows.Forms.PictureBox();
this.pictureBox1 = new System.Windows.Forms.PictureBox();
this.btnArcoOn = new System.Windows.Forms.Button();
this.tbArcoOn = new System.Windows.Forms.TextBox();
this.label10 = new System.Windows.Forms.Label();
this.btnArcoCycle = new System.Windows.Forms.RadioButton();
this.btnArcoPulse = new System.Windows.Forms.RadioButton();
this.groupBox3 = new System.Windows.Forms.GroupBox();
this.comboBox1 = new System.Windows.Forms.ComboBox();
this.label12 = new System.Windows.Forms.Label();
this.comboBox2 = new System.Windows.Forms.ComboBox();
this.button7 = new System.Windows.Forms.Button();
this.button8 = new System.Windows.Forms.Button();
this.groupBox9 = new System.Windows.Forms.GroupBox();
this.btnSendTension = new System.Windows.Forms.Button();
this.tbTension = new System.Windows.Forms.TextBox();
this.label15 = new System.Windows.Forms.Label();
this.lblTension = new System.Windows.Forms.Label();
this.label14 = new System.Windows.Forms.Label();
this.serialPort2 = new System.IO.Ports.SerialPort(this.components);
this.menuStrip1.SuspendLayout();
this.groupBox1.SuspendLayout();
this.groupBox2.SuspendLayout();

```

```

this.groupBox4.SuspendLayout();
this.groupBox7.SuspendLayout();
this.groupBox6.SuspendLayout();
this.groupBox5.SuspendLayout();
this.groupBox8.SuspendLayout();
((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.pictureBox2)).BeginInit();
((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.pictureBox1)).BeginInit();
this.groupBox3.SuspendLayout();
this.groupBox9.SuspendLayout();
this.SuspendLayout();
//
// menuStrip1
//
this.menuStrip1.ImageScalingSize = new System.Drawing.Size(20, 20);
this.menuStrip1.Items.AddRange(new System.Windows.Forms.ToolStripItem[] {
this.acercaToolStripMenuItem});
this.menuStrip1.Location = new System.Drawing.Point(0, 0);
this.menuStrip1.Name = "menuStrip1";
this.menuStrip1.Size = new System.Drawing.Size(800, 28);
this.menuStrip1.TabIndex = 0;
this.menuStrip1.Text = "menuStrip1";
//
// acercaToolStripMenuItem
//
this.acercaToolStripMenuItem.DropDownItems.AddRange(new
System.Windows.Forms.ToolStripItem[] {
this.desarrolladorToolStripMenuItem,
this.infoToolStripMenuItem,
this.repositorioToolStripMenuItem});
this.acercaToolStripMenuItem.Name = "acercaToolStripMenuItem";
this.acercaToolStripMenuItem.Size = new System.Drawing.Size(68, 24);
this.acercaToolStripMenuItem.Text = "Acerca";
//
// desarrolladorToolStripMenuItem
//
this.desarrolladorToolStripMenuItem.Name = "desarrolladorToolStripMenuItem";
this.desarrolladorToolStripMenuItem.Size = new System.Drawing.Size(183, 26);
this.desarrolladorToolStripMenuItem.Text = "Desarrollador";
//
// infoToolStripMenuItem
//
this.infoToolStripMenuItem.Name = "infoToolStripMenuItem";
this.infoToolStripMenuItem.Size = new System.Drawing.Size(183, 26);
this.infoToolStripMenuItem.Text = "Info";
//
// repositorioToolStripMenuItem
//

```

```

this.repositorioToolStripMenuItem.Name = "repositorioToolStripMenuItem";
this.repositorioToolStripMenuItem.Size = new System.Drawing.Size(183, 26);
this.repositorioToolStripMenuItem.Text = "Repositorio";
//
// groupBox1
//
this.groupBox1.Controls.Add(this.cboBaudRate);
this.groupBox1.Controls.Add(this.label1);
this.groupBox1.Controls.Add(this.cboPorts);
this.groupBox1.Controls.Add(this.btnConnect);
this.groupBox1.Controls.Add(this.btnFind);
this.groupBox1.Location = new System.Drawing.Point(12, 31);
this.groupBox1.Name = "groupBox1";
this.groupBox1.Size = new System.Drawing.Size(253, 128);
this.groupBox1.TabIndex = 1;
this.groupBox1.TabStop = false;
this.groupBox1.Text = "Comunicación";
this.groupBox1.Enter += new System.EventHandler(this.groupBox1_Enter);
//
// cboBaudRate
//
this.cboBaudRate.FormattingEnabled = true;
this.cboBaudRate.Items.AddRange(new object[] {
    "1200",
    "2400",
    "4800",
    "9600",
    "14400",
    "19200",
    "28800",
    "38400",
    "56000",
    "115200"});
this.cboBaudRate.Location = new System.Drawing.Point(120, 51);
this.cboBaudRate.Name = "cboBaudRate";
this.cboBaudRate.Size = new System.Drawing.Size(121, 24);
this.cboBaudRate.TabIndex = 4;
this.cboBaudRate.Text = "9600";
//
// label1
//
this.label1.AutoSize = true;
this.label1.Location = new System.Drawing.Point(20, 54);
this.label1.Name = "label1";
this.label1.Size = new System.Drawing.Size(70, 17);
this.label1.TabIndex = 3;
this.label1.Text = "Velocidad";

```

```

//
// cboPorts
//
this.cboPorts.FormattingEnabled = true;
this.cboPorts.Location = new System.Drawing.Point(120, 21);
this.cboPorts.Name = "cboPorts";
this.cboPorts.Size = new System.Drawing.Size(121, 24);
this.cboPorts.TabIndex = 2;
//
// btnConnect
//
this.btnConnect.Location = new System.Drawing.Point(6, 85);
this.btnConnect.Name = "btnConnect";
this.btnConnect.Size = new System.Drawing.Size(235, 27);
this.btnConnect.TabIndex = 1;
this.btnConnect.Text = "Conectar";
this.btnConnect.UseVisualStyleBackColor = true;
this.btnConnect.Click += new System.EventHandler(this.btnConnect_Click);
//
// btnFind
//
this.btnFind.Location = new System.Drawing.Point(6, 21);
this.btnFind.Name = "btnFind";
this.btnFind.Size = new System.Drawing.Size(107, 27);
this.btnFind.TabIndex = 0;
this.btnFind.Text = "Buscar";
this.btnFind.UseVisualStyleBackColor = true;
this.btnFind.Click += new System.EventHandler(this.btnFind_Click);
//
// groupBox2
//
this.groupBox2.Controls.Add(this.btn_Inicio);
this.groupBox2.Controls.Add(this.selBtn_Auto);
this.groupBox2.Controls.Add(this.selBtn_Manual);
this.groupBox2.Location = new System.Drawing.Point(12, 166);
this.groupBox2.Name = "groupBox2";
this.groupBox2.Size = new System.Drawing.Size(253, 80);
this.groupBox2.TabIndex = 2;
this.groupBox2.TabStop = false;
this.groupBox2.Text = "Control";
this.groupBox2.Enter += new System.EventHandler(this.groupBox2_Enter);
//
// btn_Inicio
//
this.btn_Inicio.Location = new System.Drawing.Point(172, 47);
this.btn_Inicio.Name = "btn_Inicio";
this.btn_Inicio.Size = new System.Drawing.Size(75, 23);

```

```

this.btn_Inicio.TabIndex = 6;
this.btn_Inicio.Text = "Inicio";
this.btn_Inicio.UseVisualStyleBackColor = true;
this.btn_Inicio.Click += new System.EventHandler(this.StartMov);
//
// selBtn_Auto
//
this.selBtn_Auto.AutoSize = true;
this.selBtn_Auto.Location = new System.Drawing.Point(7, 49);
this.selBtn_Auto.Name = "selBtn_Auto";
this.selBtn_Auto.Size = new System.Drawing.Size(99, 21);
this.selBtn_Auto.TabIndex = 1;
this.selBtn_Auto.TabStop = true;
this.selBtn_Auto.Text = "Automático";
this.selBtn_Auto.UseVisualStyleBackColor = true;
this.selBtn_Auto.CheckedChanged += new
System.EventHandler(this.selBtn_Auto_CheckedChanged);
//
// selBtn_Manual
//
this.selBtn_Manual.AutoSize = true;
this.selBtn_Manual.Location = new System.Drawing.Point(7, 22);
this.selBtn_Manual.Name = "selBtn_Manual";
this.selBtn_Manual.Size = new System.Drawing.Size(75, 21);
this.selBtn_Manual.TabIndex = 0;
this.selBtn_Manual.TabStop = true;
this.selBtn_Manual.Text = "Manual";
this.selBtn_Manual.UseVisualStyleBackColor = true;
this.selBtn_Manual.CheckedChanged += new
System.EventHandler(this.selBtn_Manual_CheckedChanged);
//
// groupBox4
//
this.groupBox4.Controls.Add(this.groupBox7);
this.groupBox4.Controls.Add(this.groupBox6);
this.groupBox4.Location = new System.Drawing.Point(285, 137);
this.groupBox4.Name = "groupBox4";
this.groupBox4.Size = new System.Drawing.Size(497, 127);
this.groupBox4.TabIndex = 5;
this.groupBox4.TabStop = false;
this.groupBox4.Text = "Control de movimientos";
//
// groupBox7
//
this.groupBox7.Controls.Add(this.lblPosAxisBase);
this.groupBox7.Controls.Add(this.label5);
this.groupBox7.Controls.Add(this.Btn_BaseMin);

```

```

this.groupBox7.Controls.Add(this.Btn_BasePlus);
this.groupBox7.Location = new System.Drawing.Point(229, 22);
this.groupBox7.Name = "groupBox7";
this.groupBox7.Size = new System.Drawing.Size(200, 90);
this.groupBox7.TabIndex = 2;
this.groupBox7.TabStop = false;
this.groupBox7.Text = "Eje Base/Estrechador";
//
// lblPosAxisBase
//
this.lblPosAxisBase.AutoSize = true;
this.lblPosAxisBase.Location = new System.Drawing.Point(91, 57);
this.lblPosAxisBase.Name = "lblPosAxisBase";
this.lblPosAxisBase.Size = new System.Drawing.Size(54, 17);
this.lblPosAxisBase.TabIndex = 7;
this.lblPosAxisBase.Text = "0.0 mm";
this.lblPosAxisBase.Click += new
System.EventHandler(this.lblPosAxisBase_Click);
//
// label5
//
this.label5.AutoSize = true;
this.label5.Location = new System.Drawing.Point(87, 31);
this.label5.Name = "label5";
this.label5.Size = new System.Drawing.Size(107, 17);
this.label5.TabIndex = 6;
this.label5.Text = "Posición actual:";
//
// Btn_BaseMin
//
this.Btn_BaseMin.Location = new System.Drawing.Point(6, 57);
this.Btn_BaseMin.Name = "Btn_BaseMin";
this.Btn_BaseMin.Size = new System.Drawing.Size(75, 23);
this.Btn_BaseMin.TabIndex = 5;
this.Btn_BaseMin.Text = "- Mover";
this.Btn_BaseMin.UseVisualStyleBackColor = true;
this.Btn_BaseMin.Click += new System.EventHandler(this.Btn_BaseMin_Click);
//
// Btn_BasePlus
//
this.Btn_BasePlus.Location = new System.Drawing.Point(6, 28);
this.Btn_BasePlus.Name = "Btn_BasePlus";
this.Btn_BasePlus.Size = new System.Drawing.Size(75, 23);
this.Btn_BasePlus.TabIndex = 4;
this.Btn_BasePlus.Text = "+ Mover";
this.Btn_BasePlus.UseVisualStyleBackColor = true;
this.Btn_BasePlus.Click += new System.EventHandler(this.Btn_BasePlus_Click);

```

```

//
// groupBox6
//
this.groupBox6.Controls.Add(this.btnAxisElecPlus);
this.groupBox6.Controls.Add(this.lblPosAxisElec);
this.groupBox6.Controls.Add(this.label2);
this.groupBox6.Controls.Add(this.btnAxisElecMin);
this.groupBox6.Location = new System.Drawing.Point(23, 22);
this.groupBox6.Name = "groupBox6";
this.groupBox6.Size = new System.Drawing.Size(200, 90);
this.groupBox6.TabIndex = 1;
this.groupBox6.TabStop = false;
this.groupBox6.Text = "Eje electrodos";
//
// btnAxisElecPlus
//
this.btnAxisElecPlus.Location = new System.Drawing.Point(7, 29);
this.btnAxisElecPlus.Name = "btnAxisElecPlus";
this.btnAxisElecPlus.Size = new System.Drawing.Size(75, 23);
this.btnAxisElecPlus.TabIndex = 5;
this.btnAxisElecPlus.Text = "+ Mover";
this.btnAxisElecPlus.UseVisualStyleBackColor = true;
this.btnAxisElecPlus.Click += new
System.EventHandler(this.btnAxisElecPlus_Click);
//
// lblPosAxisElec
//
this.lblPosAxisElec.AutoSize = true;
this.lblPosAxisElec.Location = new System.Drawing.Point(92, 57);
this.lblPosAxisElec.Name = "lblPosAxisElec";
this.lblPosAxisElec.Size = new System.Drawing.Size(54, 17);
this.lblPosAxisElec.TabIndex = 3;
this.lblPosAxisElec.Text = "0.0 mm";
this.lblPosAxisElec.Click += new System.EventHandler(this.label3_Click);
//
// label2
//
this.label2.AutoSize = true;
this.label2.Location = new System.Drawing.Point(92, 32);
this.label2.Name = "label2";
this.label2.Size = new System.Drawing.Size(107, 17);
this.label2.TabIndex = 2;
this.label2.Text = "Posición actual:";
//
// btnAxisElecMin
//
this.btnAxisElecMin.Location = new System.Drawing.Point(7, 57);

```

```

this.btnAxisElecMin.Name = "btnAxisElecMin";
this.btnAxisElecMin.Size = new System.Drawing.Size(75, 23);
this.btnAxisElecMin.TabIndex = 1;
this.btnAxisElecMin.Text = "- Mover";
this.btnAxisElecMin.UseVisualStyleBackColor = true;
this.btnAxisElecMin.Click += new
System.EventHandler(this.btnAxisElecMin_Click);
//
// groupBox5
//
this.groupBox5.Controls.Add(this.btnSendDistanceElectrodes);
this.groupBox5.Controls.Add(this.tbElecDistance);
this.groupBox5.Controls.Add(this.label9);
this.groupBox5.Controls.Add(this.label8);
this.groupBox5.Controls.Add(this.label7);
this.groupBox5.Controls.Add(this.label6);
this.groupBox5.Controls.Add(this.Btn_ElecMin);
this.groupBox5.Controls.Add(this.Btn_ElecPlus);
this.groupBox5.Controls.Add(this.selBtn_bothElec);
this.groupBox5.Controls.Add(this.selBtn_singles);
this.groupBox5.Controls.Add(this.Btn_ElecRightMin);
this.groupBox5.Controls.Add(this.Btn_ElecRightPlus);
this.groupBox5.Controls.Add(this.Btn_ElecLeftMin);
this.groupBox5.Controls.Add(this.Btn_ElecLeftPlus);
this.groupBox5.Location = new System.Drawing.Point(285, 40);
this.groupBox5.Name = "groupBox5";
this.groupBox5.Size = new System.Drawing.Size(497, 91);
this.groupBox5.TabIndex = 0;
this.groupBox5.TabStop = false;
this.groupBox5.Text = "Electrodos";
//
// btnSendDistanceElectrodes
//
this.btnSendDistanceElectrodes.Location = new System.Drawing.Point(359, 59);
this.btnSendDistanceElectrodes.Name = "btnSendDistanceElectrodes";
this.btnSendDistanceElectrodes.Size = new System.Drawing.Size(85, 23);
this.btnSendDistanceElectrodes.TabIndex = 15;
this.btnSendDistanceElectrodes.Text = "Enviar";
this.btnSendDistanceElectrodes.UseVisualStyleBackColor = true;
this.btnSendDistanceElectrodes.Click += new
System.EventHandler(this.btnSendDistanceElectrodes_Click);
//
// tbElecDistance
//
this.tbElecDistance.Location = new System.Drawing.Point(357, 31);
this.tbElecDistance.Name = "tbElecDistance";
this.tbElecDistance.Size = new System.Drawing.Size(87, 22);

```

```

this.tbElecDistance.TabIndex = 14;
//
// label9
//
this.label9.AutoSize = true;
this.label9.Location = new System.Drawing.Point(354, 10);
this.label9.Name = "label9";
this.label9.Size = new System.Drawing.Size(102, 17);
this.label9.TabIndex = 13;
this.label9.Text = "Distancia (mm)";
//
// label8
//
this.label8.AutoSize = true;
this.label8.Location = new System.Drawing.Point(267, 10);
this.label8.Name = "label8";
this.label8.Size = new System.Drawing.Size(51, 17);
this.label8.TabIndex = 12;
this.label8.Text = "Ambos";
this.label8.Click += new System.EventHandler(this.label8_Click);
//
// label7
//
this.label7.AutoSize = true;
this.label7.Location = new System.Drawing.Point(190, 10);
this.label7.Name = "label7";
this.label7.Size = new System.Drawing.Size(62, 17);
this.label7.TabIndex = 11;
this.label7.Text = "Derecho";
//
// label6
//
this.label6.AutoSize = true;
this.label6.Location = new System.Drawing.Point(110, 10);
this.label6.Name = "label6";
this.label6.Size = new System.Drawing.Size(66, 17);
this.label6.TabIndex = 10;
this.label6.Text = "Izquierdo";
//
// Btn_ElecMin
//
this.Btn_ElecMin.Location = new System.Drawing.Point(270, 60);
this.Btn_ElecMin.Name = "Btn_ElecMin";
this.Btn_ElecMin.Size = new System.Drawing.Size(75, 23);
this.Btn_ElecMin.TabIndex = 9;
this.Btn_ElecMin.Text = "- Mover";
this.Btn_ElecMin.UseVisualStyleBackColor = true;

```

```

this.Btn_ElecMin.Click += new System.EventHandler(this.Btn_ElecMin_Click);
//
// Btn_ElecPlus
//
this.Btn_ElecPlus.Location = new System.Drawing.Point(270, 30);
this.Btn_ElecPlus.Name = "Btn_ElecPlus";
this.Btn_ElecPlus.Size = new System.Drawing.Size(75, 23);
this.Btn_ElecPlus.TabIndex = 8;
this.Btn_ElecPlus.Text = "+ Mover";
this.Btn_ElecPlus.UseVisualStyleBackColor = true;
this.Btn_ElecPlus.Click += new System.EventHandler(this.Btn_ElecPlus_Click);
//
// selBtn_bothElec
//
this.selBtn_bothElec.AutoSize = true;
this.selBtn_bothElec.Location = new System.Drawing.Point(6, 58);
this.selBtn_bothElec.Name = "selBtn_bothElec";
this.selBtn_bothElec.Size = new System.Drawing.Size(81, 21);
this.selBtn_bothElec.TabIndex = 7;
this.selBtn_bothElec.TabStop = true;
this.selBtn_bothElec.Text = "Paralelo";
this.selBtn_bothElec.UseVisualStyleBackColor = true;
this.selBtn_bothElec.CheckedChanged += new
System.EventHandler(this.selBtn_bothElec_CheckedChanged);
//
// selBtn_singles
//
this.selBtn_singles.AutoSize = true;
this.selBtn_singles.Location = new System.Drawing.Point(6, 30);
this.selBtn_singles.Name = "selBtn_singles";
this.selBtn_singles.Size = new System.Drawing.Size(88, 21);
this.selBtn_singles.TabIndex = 6;
this.selBtn_singles.TabStop = true;
this.selBtn_singles.Text = "Individual";
this.selBtn_singles.UseVisualStyleBackColor = true;
this.selBtn_singles.CheckedChanged += new
System.EventHandler(this.radioButton3_CheckedChanged);
//
// Btn_ElecRightMin
//
this.Btn_ElecRightMin.Location = new System.Drawing.Point(189, 60);
this.Btn_ElecRightMin.Name = "Btn_ElecRightMin";
this.Btn_ElecRightMin.Size = new System.Drawing.Size(75, 23);
this.Btn_ElecRightMin.TabIndex = 5;
this.Btn_ElecRightMin.Text = "- Mover";
this.Btn_ElecRightMin.UseVisualStyleBackColor = true;

```

```

        this.Btn_ElecRightMin.Click           +=           new
System.EventHandler(this.Btn_ElecRightMin_Click);
//
// Btn_ElecRightPlus
//
this.Btn_ElecRightPlus.Location = new System.Drawing.Point(189, 30);
this.Btn_ElecRightPlus.Name = "Btn_ElecRightPlus";
this.Btn_ElecRightPlus.Size = new System.Drawing.Size(75, 23);
this.Btn_ElecRightPlus.TabIndex = 4;
this.Btn_ElecRightPlus.Text = "+ Mover";
this.Btn_ElecRightPlus.UseVisualStyleBackColor = true;
this.Btn_ElecRightPlus.Click               +=           new
System.EventHandler(this.Btn_ElecRightPlus_Click);
//
// Btn_ElecLeftMin
//
this.Btn_ElecLeftMin.Location = new System.Drawing.Point(108, 60);
this.Btn_ElecLeftMin.Name = "Btn_ElecLeftMin";
this.Btn_ElecLeftMin.Size = new System.Drawing.Size(75, 23);
this.Btn_ElecLeftMin.TabIndex = 3;
this.Btn_ElecLeftMin.Text = "- Mover";
this.Btn_ElecLeftMin.UseVisualStyleBackColor = true;
this.Btn_ElecLeftMin.Click                 +=           new
System.EventHandler(this.Btn_ElecLeftMin_Click);
//
// Btn_ElecLeftPlus
//
this.Btn_ElecLeftPlus.Location = new System.Drawing.Point(108, 30);
this.Btn_ElecLeftPlus.Name = "Btn_ElecLeftPlus";
this.Btn_ElecLeftPlus.Size = new System.Drawing.Size(75, 23);
this.Btn_ElecLeftPlus.TabIndex = 2;
this.Btn_ElecLeftPlus.Text = "+ Mover";
this.Btn_ElecLeftPlus.UseVisualStyleBackColor = true;
this.Btn_ElecLeftPlus.Click                 +=           new
System.EventHandler(this.Btn_ElecLeftPlus_Click);
//
// groupBox8
//
this.groupBox8.Controls.Add(this.cbDelay);
this.groupBox8.Controls.Add(this.btnArcoDelay);
this.groupBox8.Controls.Add(this.tbArcoDelay);
this.groupBox8.Controls.Add(this.btnArcoOff);
this.groupBox8.Controls.Add(this.tbArcoOff);
this.groupBox8.Controls.Add(this.label11);
this.groupBox8.Controls.Add(this.pictureBox2);
this.groupBox8.Controls.Add(this.pictureBox1);
this.groupBox8.Controls.Add(this.btnArcoOn);

```

```

this.groupBox8.Controls.Add(this.tbArcoOn);
this.groupBox8.Controls.Add(this.label10);
this.groupBox8.Controls.Add(this.btnArcoCycle);
this.groupBox8.Controls.Add(this.btnArcoPulse);
this.groupBox8.Location = new System.Drawing.Point(19, 352);
this.groupBox8.Name = "groupBox8";
this.groupBox8.Size = new System.Drawing.Size(763, 116);
this.groupBox8.TabIndex = 16;
this.groupBox8.TabStop = false;
this.groupBox8.Text = "Arco Eléctrico";
//
// cbDelay
//
this.cbDelay.AutoSize = true;
this.cbDelay.Location = new System.Drawing.Point(344, 18);
this.cbDelay.Name = "cbDelay";
this.cbDelay.Size = new System.Drawing.Size(152, 21);
this.cbDelay.TabIndex = 24;
this.cbDelay.Text = "Retardo Inicial (ms)";
this.cbDelay.UseVisualStyleBackColor = true;
//
// btnArcoDelay
//
this.btnArcoDelay.Location = new System.Drawing.Point(346, 70);
this.btnArcoDelay.Name = "btnArcoDelay";
this.btnArcoDelay.Size = new System.Drawing.Size(85, 23);
this.btnArcoDelay.TabIndex = 23;
this.btnArcoDelay.Text = "Enviar";
this.btnArcoDelay.UseVisualStyleBackColor = true;
this.btnArcoDelay.Click += new System.EventHandler(this.btnArcoDelay_Click);
//
// tbArcoDelay
//
this.tbArcoDelay.Location = new System.Drawing.Point(344, 42);
this.tbArcoDelay.Name = "tbArcoDelay";
this.tbArcoDelay.Size = new System.Drawing.Size(87, 22);
this.tbArcoDelay.TabIndex = 22;
//
// btnArcoOff
//
this.btnArcoOff.Location = new System.Drawing.Point(243, 70);
this.btnArcoOff.Name = "btnArcoOff";
this.btnArcoOff.Size = new System.Drawing.Size(85, 23);
this.btnArcoOff.TabIndex = 20;
this.btnArcoOff.Text = "Enviar";
this.btnArcoOff.UseVisualStyleBackColor = true;
this.btnArcoOff.Click += new System.EventHandler(this.btnArcoOff_Click);

```

```

//
// tbArcoOff
//
this.tbArcoOff.Location = new System.Drawing.Point(241, 42);
this.tbArcoOff.Name = "tbArcoOff";
this.tbArcoOff.Size = new System.Drawing.Size(87, 22);
this.tbArcoOff.TabIndex = 19;
//
// label11
//
this.label11.AutoSize = true;
this.label11.Location = new System.Drawing.Point(238, 21);
this.label11.Name = "label11";
this.label11.Size = new System.Drawing.Size(78, 17);
this.label11.TabIndex = 18;
this.label11.Text = "delay (ms):";
this.label11.Click += new System.EventHandler(this.label11_Click);
//
// pictureBox2
//
this.pictureBox2.Image =
((System.Drawing.Image)(resources.GetObject("pictureBox2.Image")));
this.pictureBox2.Location = new System.Drawing.Point(638, 24);
this.pictureBox2.Name = "pictureBox2";
this.pictureBox2.Size = new System.Drawing.Size(119, 69);
this.pictureBox2.SizeMode =
System.Windows.Forms.PictureBoxSizeMode.StretchImage;
this.pictureBox2.TabIndex = 17;
this.pictureBox2.TabStop = false;
//
// pictureBox1
//
this.pictureBox1.Image =
((System.Drawing.Image)(resources.GetObject("pictureBox1.Image")));
this.pictureBox1.InitialImage = null;
this.pictureBox1.Location = new System.Drawing.Point(501, 24);
this.pictureBox1.Name = "pictureBox1";
this.pictureBox1.Size = new System.Drawing.Size(116, 69);
this.pictureBox1.SizeMode =
System.Windows.Forms.PictureBoxSizeMode.StretchImage;
this.pictureBox1.TabIndex = 16;
this.pictureBox1.TabStop = false;
//
// btnArcoOn
//
this.btnArcoOn.Location = new System.Drawing.Point(143, 71);
this.btnArcoOn.Name = "btnArcoOn";

```

```

this.btnArcoOn.Size = new System.Drawing.Size(85, 23);
this.btnArcoOn.TabIndex = 15;
this.btnArcoOn.Text = "Enviar";
this.btnArcoOn.UseVisualStyleBackColor = true;
this.btnArcoOn.Click += new System.EventHandler(this.btnArcoOn_Click);
//
// tbArcoOn
//
this.tbArcoOn.Location = new System.Drawing.Point(141, 43);
this.tbArcoOn.Name = "tbArcoOn";
this.tbArcoOn.Size = new System.Drawing.Size(87, 22);
this.tbArcoOn.TabIndex = 14;
//
// label10
//
this.label10.AutoSize = true;
this.label10.Location = new System.Drawing.Point(138, 22);
this.label10.Name = "label10";
this.label10.Size = new System.Drawing.Size(61, 17);
this.label10.TabIndex = 13;
this.label10.Text = "dT (ms)";
//
// btnArcoCycle
//
this.btnArcoCycle.AutoSize = true;
this.btnArcoCycle.Location = new System.Drawing.Point(6, 70);
this.btnArcoCycle.Name = "btnArcoCycle";
this.btnArcoCycle.Size = new System.Drawing.Size(69, 21);
this.btnArcoCycle.TabIndex = 7;
this.btnArcoCycle.TabStop = true;
this.btnArcoCycle.Text = "Cíclico";
this.btnArcoCycle.UseVisualStyleBackColor = true;
//
// btnArcoPulse
//
this.btnArcoPulse.AutoSize = true;
this.btnArcoPulse.Location = new System.Drawing.Point(6, 42);
this.btnArcoPulse.Name = "btnArcoPulse";
this.btnArcoPulse.Size = new System.Drawing.Size(64, 21);
this.btnArcoPulse.TabIndex = 6;
this.btnArcoPulse.TabStop = true;
this.btnArcoPulse.Text = "Pulso";
this.btnArcoPulse.UseVisualStyleBackColor = true;
//
// groupBox3
//
this.groupBox3.Controls.Add(this.comboBox1);

```

```

this.groupBox3.Controls.Add(this.label12);
this.groupBox3.Controls.Add(this.comboBox2);
this.groupBox3.Controls.Add(this.button7);
this.groupBox3.Controls.Add(this.button8);
this.groupBox3.Location = new System.Drawing.Point(793, 480);
this.groupBox3.Name = "groupBox3";
this.groupBox3.Size = new System.Drawing.Size(770, 128);
this.groupBox3.TabIndex = 5;
this.groupBox3.TabStop = false;
this.groupBox3.Text = "Comunicación";
//
// comboBox1
//
this.comboBox1.FormattingEnabled = true;
this.comboBox1.Items.AddRange(new object[] {
"1200",
"2400",
"4800",
"9600",
"14400",
"19200",
"28800",
"38400",
"56000",
"115200"});
this.comboBox1.Location = new System.Drawing.Point(120, 51);
this.comboBox1.Name = "comboBox1";
this.comboBox1.Size = new System.Drawing.Size(121, 24);
this.comboBox1.TabIndex = 4;
this.comboBox1.Text = "9600";
//
// label12
//
this.label12.AutoSize = true;
this.label12.Location = new System.Drawing.Point(20, 54);
this.label12.Name = "label12";
this.label12.Size = new System.Drawing.Size(70, 17);
this.label12.TabIndex = 3;
this.label12.Text = "Velocidad";
//
// comboBox2
//
this.comboBox2.FormattingEnabled = true;
this.comboBox2.Location = new System.Drawing.Point(120, 21);
this.comboBox2.Name = "comboBox2";
this.comboBox2.Size = new System.Drawing.Size(121, 24);
this.comboBox2.TabIndex = 2;

```

```

//
// button7
//
this.button7.Location = new System.Drawing.Point(6, 85);
this.button7.Name = "button7";
this.button7.Size = new System.Drawing.Size(235, 27);
this.button7.TabIndex = 1;
this.button7.Text = "Conectar";
this.button7.UseVisualStyleBackColor = true;
//
// button8
//
this.button8.Location = new System.Drawing.Point(6, 21);
this.button8.Name = "button8";
this.button8.Size = new System.Drawing.Size(107, 27);
this.button8.TabIndex = 0;
this.button8.Text = "Buscar";
this.button8.UseVisualStyleBackColor = true;
//
// groupBox9
//
this.groupBox9.Controls.Add(this.btnSendTension);
this.groupBox9.Controls.Add(this.tbTension);
this.groupBox9.Controls.Add(this.label15);
this.groupBox9.Controls.Add(this.lblTension);
this.groupBox9.Controls.Add(this.label14);
this.groupBox9.Location = new System.Drawing.Point(285, 270);
this.groupBox9.Name = "groupBox9";
this.groupBox9.Size = new System.Drawing.Size(497, 76);
this.groupBox9.TabIndex = 6;
this.groupBox9.TabStop = false;
this.groupBox9.Text = "Tensión en fibra óptica";
//
// btnSendTension
//
this.btnSendTension.Location = new System.Drawing.Point(179, 38);
this.btnSendTension.Name = "btnSendTension";
this.btnSendTension.Size = new System.Drawing.Size(85, 23);
this.btnSendTension.TabIndex = 17;
this.btnSendTension.Text = "Enviar";
this.btnSendTension.UseVisualStyleBackColor = true;
this.btnSendTension.Click +=
System.EventHandler(this.btnSendTension_Click);
//
// tbTension
//
this.tbTension.Location = new System.Drawing.Point(74, 38);

```

```

this.tbTension.Name = "tbTension";
this.tbTension.Size = new System.Drawing.Size(87, 22);
this.tbTension.TabIndex = 16;
//
// label15
//
this.label15.AutoSize = true;
this.label15.Location = new System.Drawing.Point(9, 41);
this.label15.Name = "label15";
this.label15.Size = new System.Drawing.Size(59, 17);
this.label15.TabIndex = 14;
this.label15.Text = "Tensión";
this.label15.Click += new System.EventHandler(this.label15_Click);
//
// lblTension
//
this.lblTension.AutoSize = true;
this.lblTension.Location = new System.Drawing.Point(129, 18);
this.lblTension.Name = "lblTension";
this.lblTension.Size = new System.Drawing.Size(28, 17);
this.lblTension.TabIndex = 7;
this.lblTension.Text = "0.0";
//
// label14
//
this.label14.AutoSize = true;
this.label14.Location = new System.Drawing.Point(6, 18);
this.label14.Name = "label14";
this.label14.Size = new System.Drawing.Size(105, 17);
this.label14.TabIndex = 6;
this.label14.Text = "Tensión actual:";
//
// Form1_PEFOV
//
this.AutoScaleDimensions = new System.Drawing.SizeF(8F, 16F);
this.AutoScaleMode = System.Windows.Forms.AutoScaleMode.Font;
this.ClientSize = new System.Drawing.Size(800, 476);
this.Controls.Add(this.groupBox9);
this.Controls.Add(this.groupBox3);
this.Controls.Add(this.groupBox8);
this.Controls.Add(this.groupBox4);
this.Controls.Add(this.groupBox5);
this.Controls.Add(this.groupBox2);
this.Controls.Add(this.groupBox1);
this.Controls.Add(this.menuStrip1);
this.Icon = ((System.Drawing.Icon)(resources.GetObject("$this.Icon")));
this.Name = "Form1_PEFOV";

```

```

this.Text = "PEFOV v1";
this.Load += new System.EventHandler(this.Form1_Load);
this.menuStrip1.ResumeLayout(false);
this.menuStrip1.PerformLayout();
this.groupBox1.ResumeLayout(false);
this.groupBox1.PerformLayout();
this.groupBox2.ResumeLayout(false);
this.groupBox2.PerformLayout();
this.groupBox4.ResumeLayout(false);
this.groupBox7.ResumeLayout(false);
this.groupBox7.PerformLayout();
this.groupBox6.ResumeLayout(false);
this.groupBox6.PerformLayout();
this.groupBox5.ResumeLayout(false);
this.groupBox5.PerformLayout();
this.groupBox8.ResumeLayout(false);
this.groupBox8.PerformLayout();
((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.pictureBox2)).EndInit();
((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.pictureBox1)).EndInit();
this.groupBox3.ResumeLayout(false);
this.groupBox3.PerformLayout();
this.groupBox9.ResumeLayout(false);
this.groupBox9.PerformLayout();
this.ResumeLayout(false);
this.PerformLayout();

}

#endregion

private System.Windows.Forms.MenuStrip menuStrip1;
private System.Windows.Forms.ToolStripMenuItem acercaToolStripMenuItem;
private System.Windows.Forms.ToolStripMenuItem desarrolladorToolStripMenuItem;
private System.Windows.Forms.ToolStripMenuItem infoToolStripMenuItem;
private System.Windows.Forms.ToolStripMenuItem repositorioToolStripMenuItem;
private System.Windows.Forms.GroupBox groupBox1;
private System.Windows.Forms.Button btnConnect;
private System.Windows.Forms.Button btnFind;
private System.Windows.Forms.ComboBox cboBaudRate;
private System.Windows.Forms.Label label1;
private System.Windows.Forms.ComboBox cboPorts;
private System.IO.Ports.SerialPort serialPort1;
private System.Windows.Forms.GroupBox groupBox2;
private System.Windows.Forms.RadioButton selBtn_Auto;
private System.Windows.Forms.RadioButton selBtn_Manual;
private System.Windows.Forms.GroupBox groupBox4;
private System.Windows.Forms.GroupBox groupBox7;

```

```
private System.Windows.Forms.Label lblPosAxisBase;
private System.Windows.Forms.Label label5;
private System.Windows.Forms.Button Btn_BaseMin;
private System.Windows.Forms.Button Btn_BasePlus;
private System.Windows.Forms.GroupBox groupBox6;
private System.Windows.Forms.Label lblPosAxisElec;
private System.Windows.Forms.Label label2;
private System.Windows.Forms.Button btnAxisElecMin;
private System.Windows.Forms.GroupBox groupBox5;
private System.Windows.Forms.Label label7;
private System.Windows.Forms.Label label6;
private System.Windows.Forms.Button Btn_ElecMin;
private System.Windows.Forms.Button Btn_ElecPlus;
private System.Windows.Forms.RadioButton selBtn_bothElec;
private System.Windows.Forms.RadioButton selBtn_singles;
private System.Windows.Forms.Button Btn_ElecRightMin;
private System.Windows.Forms.Button Btn_ElecRightPlus;
private System.Windows.Forms.Button Btn_ElecLeftMin;
private System.Windows.Forms.Button Btn_ElecLeftPlus;
private System.Windows.Forms.Label label8;
private System.Windows.Forms.Button btnSendDistanceElectrodes;
private System.Windows.Forms.TextBox tbElecDistance;
private System.Windows.Forms.Label label9;
private System.Windows.Forms.Button btn_Inicio;
private System.Windows.Forms.Button btnAxisElecPlus;
private System.Windows.Forms.GroupBox groupBox8;
private System.Windows.Forms.CheckBox cbDelay;
private System.Windows.Forms.Button btnArcoDelay;
private System.Windows.Forms.TextBox tbArcoDelay;
private System.Windows.Forms.Button btnArcoOff;
private System.Windows.Forms.TextBox tbArcoOff;
private System.Windows.Forms.Label label11;
private System.Windows.Forms.PictureBox pictureBox2;
private System.Windows.Forms.PictureBox pictureBox1;
private System.Windows.Forms.Button btnArcoOn;
private System.Windows.Forms.TextBox tbArcoOn;
private System.Windows.Forms.Label label10;
private System.Windows.Forms.RadioButton btnArcoCycle;
private System.Windows.Forms.RadioButton btnArcoPulse;
private System.Windows.Forms.GroupBox groupBox3;
private System.Windows.Forms.ComboBox comboBox1;
private System.Windows.Forms.Label label12;
private System.Windows.Forms.ComboBox comboBox2;
private System.Windows.Forms.Button button7;
private System.Windows.Forms.Button button8;
private System.Windows.Forms.GroupBox groupBox9;
private System.Windows.Forms.Label lblTension;
```

```
private System.Windows.Forms.Label label14;  
private System.Windows.Forms.Label label15;  
private System.Windows.Forms.Button btnSendTension;  
private System.Windows.Forms.TextBox tbTension;  
private System.IO.Ports.SerialPort serialPort2;  
}  
}
```