

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: INGENIEROS
ELECTRÓNICOS**

**TEMA:
AUTOMATIZACIÓN DE UN GENERADOR DE LUZ ULTRAVIOLETA
VISIBLE DE LONGITUD DE ONDA VARIABLE CONTROLADA CON UN
HMI**

**AUTORES:
JUAN FERNANDO ROSERO VALENCIA
JORGE LUIS YAULEMA CASTAÑEDA**

**TUTORA:
LUISA FERNANDA SOTOMAYOR REINOSO**

Quito, marzo del 2016

Cesión de derechos de autor

Nosotros Juan Fernando Rosero Valencia y Jorge Luis Yaulema Castañeda, con documentos de identificación N° 172013723-9 y N° 060424069-7 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: Automatización de un generador de luz ultravioleta visible de longitud de onda variable controlada con un HMI, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros electrónicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, marzo de 2016

Juan Fernando Rosero Valencia

CI: 172013723-9

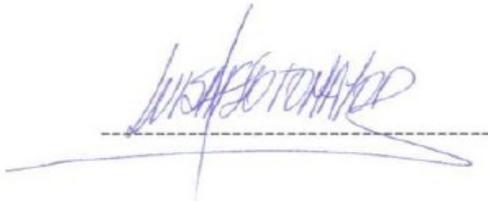
Jorge Luis Yaulema Castañeda

CI: 060424069-7

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DE LA DOCENTE TUTORA

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación Automatización de un generador de luz ultravioleta visible de longitud de onda variable controlada con un HMI realizado por Juan Fernando Rosero Valencia y Jorge Luis Yaulema Castañeda, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, marzo 2016



Luisa Fernanda Sotomayor Reinoso

CI: 1710953967

DEDICATORIA

La concepción de este proyecto está dedicada en primer lugar a dios por guiar mi camino a lo largo de todos estos años de estudio.

A mi madre que supo guiar mis pasos, una madre que ha sido un pilar fundamental en mi vida. Sin ella, jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora. Su tenacidad y lucha insaciable ha sido mi gran ejemplo a seguir.

También dedico este proyecto a mi novia, a mis hijos. Ellos representan un gran esfuerzo y empeño en momentos de decline y cansancio. A ellos este proyecto, que sin ellos, no hubiese podido ser.

Juan Fernando Rosero Valencia

Dedico este proyecto a mis padres Bethsabé y Fausto por su apoyo y cariño a mis hermanos Iván y Eliana quienes han sido una motivación cada día, aquellas personas que han actuado de manera directa o indirecta para lograr este objetivo tan ansiado.

A mi familia y Dios por haberme dado todo su apoyo y formar parte indispensable de mi vida siendo el pilar fundamental para lograr cada objetivo que me he planteado.

De igual manera a la Universidad Politécnica Salesiana de la cual me siento muy orgulloso de haber formado parte.

Jorge Luis Yaulema Castañeda

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Politécnica Salesiana y a todos los docentes que con sus conocimientos, han aportado a nuestra formación como profesionales durante estos años y que con sus consejos nos han guiado a convertirnos en personas de bien para nuestra sociedad.

A nuestra tutora Ing. Luisa Sotomayor, por su dedicación, tiempo, su gran conocimiento y sabiduría, que nos ha guiado de la mejor manera durante la realización de nuestro proyecto.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	4
ESTUDIO DEL PROBLEMA	4
1.1 Antecedentes.....	4
1.2 Problema.....	4
1.3 Justificación.....	5
1.4 Resumen de la propuesta de intervención	5
1.5 Objetivos.....	6
1.5.1 Objetivo General:	6
1.5.2 Objetivos específicos:	6
CAPÍTULO 2	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1 Estudios de Fotodegradación para aguas residuales.....	7
2.2 Espectro de la radiación electromagnética	8
2.2.1 Radiación electromagnética	9
2.2.2 Generalidades de la espectroscopia.....	10
2.3 Óptica Geométrica.....	11
2.3.1 Longitud de Onda.....	11
2.4 Sistema de Espectrofotómetro	12
2.4.1 Desarme del equipo original	14
2.4.2 Partes tomadas del espectrofotómetro.....	16
2.5 Motores paso a paso	20
2.5.1 Principio de funcionamiento	21
CAPITULO 3	22
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	22
3.1 Diseño y construcción del sistema eléctrico y electrónico.....	22
3.2 Funcionamiento del sistema electrónico y eléctrico del equipo	23

3.3	PLC Allen Bradley Micro 820	24
3.3.1	Partes que conforman el PLC Allen Bradley	24
3.4	Diseño electrónico del sistema	25
3.4.1	Diseño de control AC para filtro “Chopper”	27
3.4.2	Diseño del driver para el motor a pasos del sistema monocromador... 33	
3.4.3	Diseño del driver para el motor a pasos para la rendija	34
3.4.4	Circuito PCB (Printed Circuit Board) para el control de los motores.. 35	
3.4.5	Diseño de amplificación del voltaje para de los opto acopladores de ranuras 36	
3.5	Diseño y construcción de la base y la carcasa protectora.....	38
3.6	Rediseño del sistema mecánico monocromador y la rendija.....	39
3.7	Programación y funcionamiento.....	41
3.8	Diseño de La Interfaz Hombre Maquina (HMI).....	43
CAPÍTULO 4.....		45
ANÁLISIS Y RESULTADOS.....		45
4.1	Resultados.....	45
4.1.1	Método de los mínimos cuadrados.....	46
4.1.2	Método de interpolación de Newton	48
4.1.3	Cálculo del error.....	50
4.2	Análisis de Resultados.....	51
4.2.1	Análisis de la longitud Onda con los métodos de ajuste utilizados	51
4.2.2	Análisis del Error	52
CONCLUSIONES.....		53
RECOMENDACIONES.....		54
REFERENCIAS		55
ANEXOS		57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación radiación electromagnética	8
Figura 2. Orden de colores por espectro y sus valores de longitud de onda	11
Figura 3. Longitud de onda y sus componentes	12
Figura 4. Espectrofotómetro 781 Perkin E.....	14
Figura 5. Sistema óptico original espectrofotómetro Perkin Elmer	15
Figura 6. Lámpara de tungsteno.....	17
Figura 7. Sistema monocromador	18
Figura 8. Espejo convexo utilizado en el prototipo.....	19
Figura 9. Espejo plano utilizado en el prototipo	20
Figura 10. Secuencia de encendido de bobinas.....	21
Figura 11. Sistema de control de generador de ondas UV-vis.....	22
Figura 12. Descripción del sistema por componentes.....	23
Figura 13. PLC Micro 820	24
Figura 14. Diagrama de funcionamiento del PLC	25
Figura 15. Circuitos de control original	26
Figura 16. Circuito de control rediseñados	26
Figura 17. Circuito para la señal de cruce por cero.....	27
Figura 18. Señal de entrada sinusoidal Ch A, señal de cruce por cero Ch B.....	28
Figura 19. Circuito Seguidor de tensión e Integrador	28
Figura 20. Señal Sinusoidal Ch A, Cruce por cero Ch B, Señal de	29
Figura 21. Circuito Sumador-Restador	30
Figura 22. Señal Inversa de dientes de sierra Ch D	30
Figura 23. Circuito de comparación de voltajes.....	31
Figura 24. Señal de pulsos a 80%. Ch D.....	31
Figura 25. Circuito de Potencia.....	32
Figura 26. Señal rectificada por el tiristor. Ch D	32
Figura 27. Simulación del driver del motor del monocromador.....	34
Figura 28. Simulación del driver de la rejilla de selección	35
Figura 29. Circuito 3D del Filtro de Choqueo	35
Figura 30. Circuito en 3D del motor Monocromador	36
Figura 31. Circuito en 3D del Motor de Rendija de Selección	36
Figura 32. Simulación de circuito de amplificación	37

Figura 33. Circuito en 3D del Amplificador de los optoacopladores	37
Figura 34. Diseño de carcasa	39
Figura 35. Sistema Mecánico original	39
Figura 36. Sistema modificado de monocromador	40
Figura 37. Sistema modificado de rendija selectora	40
Figura 38. Diagrama general del sistema	41
Figura 39. Pantalla de inicio del HMI	43
Figura 40. Menú principal del HMI	44
Figura 41. Calibración de Motores.....	44
Figura 42. Longitud de Onda Vs Frecuencia	45
Figura 43. Longitud de onda Vs Frecuencia	47
Figura 44. Comparación Método de los m. cuadrados y ecuación Original	47
Figura 45. Longitud de onda Vs Frecuencia	49
Figura 46. Comparación Método de In. de Newton y ecuación original	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Intervalos de frecuencia y longitud de onda para los colores de UV-vis.....	9
Tabla 2. Efecto de la radiación electromagnética sobre la materia.	10
Tabla 3. Lista de componentes utilizados	16
Tabla 4. Secuencia lógica de motores paso a paso.....	21
Tabla 5. Calculo del Divisor de voltaje.....	33
Tabla 6. Materiales para construcción de carcaza.....	38
Tabla 7. Variables del programa	41
Tabla 8. Escalamiento de valores de la salida análoga del PLC	43
Tabla 9 Cálculos de los valores de mínimos cuadrados.....	46
Tabla 10. Cálculos de Interpolación de Newton	48
Tabla 11. Cálculos del error	50
Tabla 12. Análisis de Varianza Longitudes de onda.....	51
Tabla 13. Análisis de métodos estadísticos.....	51
Tabla 14. Análisis de la varianza del error de los métodos estadísticos	52
Tabla 15. Análisis estadístico del error	52

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Diagrama de conexiones del equipo original	57
Anexo 2. Pistas del diseño del Motor de Choqueo	57
Anexo 3. Circuito Motor de choqueo.....	58
Anexo 4. Diseño de pistas del motor del monocromador	58
Anexo 5. Circuito de control del Motor del Monocromador	59
Anexo 6. Diseño de pistas de la rendija selectora.....	59
Anexo 7. Circuito Motor de la rendija selectora	60
Anexo 8. Programa Principal	61
Anexo 9. Subrutina Encendido	63
Anexo 10. C_M_STEPS_R.....	64
Anexo 11. C_M_STEPS_M.....	66
Anexo 12. V_Voltaje	68
Anexo 13. Frecuencia_In	69
Anexo 14. L_Onda	72
Anexo 15. Tabla de variables de programación.....	73
Anexo 16. Sistema óptico final.....	76
Anexo 17. Visualización del HMI	76
Anexo 18. PLC, Botones de encendido y paro de emergencia	77
Anexo 19. Cableado, fuente de alimentación, drivers y motores.....	77
Anexo 20. Sistema mecánico rendija y monocromador.....	78
Anexo 21. Fuente de alimentación y drivers de motores	78
Anexo 22. Conexión de drivers, alimentación de PLC, y transformador	79
Anexo 23. Calculo de resistencia amplificador no inversor	79
Anexo 24. Interpolación de Newton	79
Anexo 25. Mínimos Cuadrados.....	80

RESUMEN

Los estudios de foto degradación en el entorno han pasado desapercibidos, ignorando que el estudio de la luz y sus propiedades sobre la materia puede abrir campos en el entorno como: la descontaminación de aguas residuales de las diferentes industrias petroleras, textiles, desechos hospitalarios, equipos existentes pueden analizar la composición química de diferentes muestras, e incluso descontaminándolas; pero su costo es elevado por ser equipos fabricados a nivel industrial. El presente proyecto tiene como objetivo crear un prototipo para generar longitudes de onda variables de luz UV-vis para lo cual se toma como base un espectrofotómetro discontinuado en su uso pero con buena funcionalidad de las partes que lo conforman. Se rediseña el generador de ondas electromagnéticas tomando en cuenta su rango de frecuencias modificando su sistema mecánico y electrónico, esta máquina mejora las funciones originales del espectrofotómetro inicial, haciendo que el impacto ambiental generado sea despreciable, se implementará un HMI para visualizar los diferentes sensores y actuadores pudiendo variar manualmente los valores de frecuencia.

ABSTRACT

Photodegradation research in the environment have gone unnoticed, ignoring the study of light and its properties on the subject can open fields in the environment such as decontamination of waste water from different oil industries, textiles, hospital waste, equipment existing can analyze the chemical composition of different samples, and even decontaminating it; but its cost is high for being industrially manufactured equipment. This project has like objective to create a prototype for generating varying wavelengths of UV-vis light for which the basis is a spectrophotometer discontinued in use but with good functionality of the parts that make it up. the electromagnetic wave generator taking into account the frequency range modifying its mechanical and electronic system redesigns, this machine improves the original functions of the initial spectrophotometer, making the environmental impact is negligible, it will implement an HMI to display the different sensors and actuators can manually vary the frequency values.

INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto se realizará el control de las longitudes de onda de la luz UV-vis en un prototipo a través del estudio de la óptica, basado en el espectrofotómetro Perkin Elmer 781, para conocer la naturaleza de la luz, los beneficios que podría traer al campo de la descontaminación, creando un equipo que sea competitivo frente a otros fabricados fuera del país, utilizados en la industria petrolera para suprimir elementos tóxicos como son surfactantes y fenoles que afectan principalmente a las zonas desfavorecidas por controles sanitarios.

Capítulo 1: Antecedentes

En este capítulo se explica los motivos que impulsan a realizar esta investigación basándose en una estructura como son: problema, justificación objetivos generales y específicos.

Capítulo 2: Marco teórico

En esta sección, se establecerán antecedentes acerca de los espectrofotómetros, mediante la investigación de las longitudes de onda a obtenerse con las lámparas de tungsteno y se va a verificar que tipo de aguas surfactantes se pueden descontaminar.

Capítulo 3: Diseño

En esta sección se va a realizar el diseño del equipo que incluirán su diseño electrónico, la programación, la lógica de programación a ser usada, a su vez la interfaz en la que se mostrara las diferentes operaciones implicadas.

Capítulo 4: Análisis y Resultados

En este capítulo se hará el análisis de longitudes de ondas obtenidas por medio de análisis se sabrá el porcentaje de efectividad del prototipo construido.

CAPÍTULO 1.

ESTUDIO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

Desde hace algunos años se ha empezado a realizar profundos estudios de la espectroscopia y los diferentes efectos que causa sobre la luz sobre la materia orgánica.

Lo más llamativo de la luz UV-vis es que al interactuar con aguas contaminadas con ciertos elementos llamados surfactantes y fenoles, contaminantes que surgen como producto del sector petrolero y textil entre otras, nace la necesidad de la descontaminación de aguas residuales y un medio poco usado es la exposición a luz.

En el Ecuador no se realiza el desarrollo y construcción de estos equipos, éstos son importados a un costo elevado y en el ámbito industrial se vuelve indispensable el disponer de un sistema de estas características para que de esta manera se disminuya el impacto ambiental y atenuar el daño que se hace al medio ambiente.

1.2 Problema

En el Ecuador no se ha realizado conjuntamente (I+D+D) principalmente de sistemas fotocatalítico (UV-vis), para descontaminar las aguas con plaguicidas en actividades agroindustriales junto con desechos petroquímicos, no se ha realizado en forma conjunta. Esta contaminación del medio ambiente varía en función de la cantidad de agua residual descargada sin ningún tratamiento.

Estudios realizados en el área ambiental demuestran que irradiando longitudes de onda de determinado valor se puede descontaminar el agua con diferentes tipos de surfactantes provenientes de fuentes variables, los tenso activos son los principales materiales que cambian la calidad del agua y haciendo que su consumo no sea apto para la salud.

1.3 Justificación

A lo largo del tiempo la relación entre las actividades del hombre y el ambiente no ha sido armónica.

Las investigaciones de descontaminación de aguas no han tenido un carácter interdisciplinario para que sean solucionados los problemas ambientales de nuestro país.

Con la presente investigación se va a realizar la automatización de una lámpara generadora de longitud de onda variable la cual mediante una interfaz amigable y sencilla en su manejo resulte económica frente a otros equipos de similares características.

Este estudio forma parte de una investigación más grande en cuanto al área de ingeniería química y ambiental, que mediante la afinación de las longitudes de onda generadas podrían ser usadas en un futuro para la supresión de un determinado grupo de surfactantes.

1.4 Resumen de la propuesta de intervención

El presente proyecto tiene como objetivo crear un equipo prototipo para generar longitudes de onda variables de luz UV-vis para lo cual va se usa como base un espectrofotómetro discontinuado pero con buena funcionalidad de las partes que lo conforman, con esos elementos se va a construir un nuevo generador de ondas electromagnéticas variándolas desde los 500 hasta los 700 nm. Los estudios fotocatalíticos en el entorno han pasado desapercibidos, ignorando que el estudio de la luz y sus propiedades sobre la materia puede abrirnos campos en el entorno como la descontaminación de aguas residuales de las diferentes industrias petroleras, textiles, desechos hospitalarios, equipos existentes pueden analizar la composición química de diferentes muestras.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Automatizar una lámpara que genera longitud de ondas ultravioleta variable con un HMI para ser aplicado en estudios de fotodegradación, y descontaminación de agua con surfactantes.

1.5.2 Objetivos específicos

- Diseñar el sistema eléctrico y electrónico para el control de longitud de onda de una lámpara UV visible.
- Diseñar y desarrollar un prototipo que genere longitudes de onda de radiación UV visible.
- Diseñar un interfaz hombre maquina (HMI) para el monitoreo y control del proceso.
- Realizar las pruebas y analizar resultados de funcionamiento del prototipo y validar su operación.

CAPÍTULO 2.

MARCO TEÓRICO

2.1 Estudios de Fotodegradación para aguas residuales

La explotación petrolífera y las actividades de la industria textil en el Ecuador por sus numerosas técnicas y procesos químicos, los cuales en la mayoría se los realiza sin ningún tipo de control ambiental, han ocasionado graves impactos ambientales generando desechos con contenidos altamente tóxicos como son fenoles y surfactantes los cuales amenazan con alterar la calidad del agua.

El primer paso fue la identificación de los contaminantes, el estudio posterior es la fotodegradación la cual consiste en degradar las moléculas de los residuos tóxicos y disminuir la contaminación de aguas que al estar en exposición a estas sustancias muchos animales que viven en las cercanías a estas industrias, han sufrido de irritación a los pulmones daños en el hígado, temblores musculares, pérdida de coordinación, lesiones al corazón y en algunos casos la muerte. Los surfactantes al mezclarse con el agua alteran la tensión superficial volviéndola compacta, al no poder recibir una oxigenación adecuada se producen algas y ciertos tipos de moho, dejando de ser apta para el consumo humano. (Paullan, 2015, pág. 5)

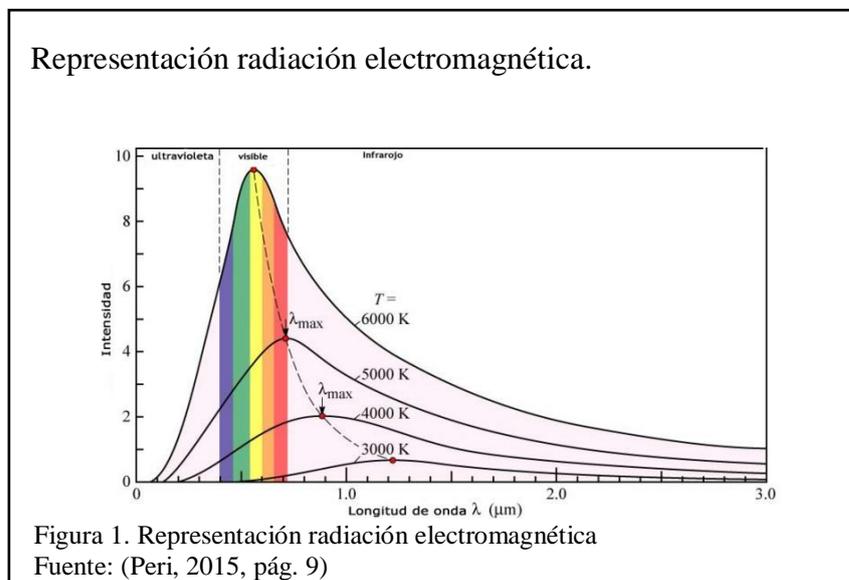
La fotodegradación es una técnica usada para romper las moléculas de contaminantes, de esta manera estos elementos serian inocuos y fáciles de eliminar. Las aguas contaminadas deben ser tratadas con luz UV-vis en diferentes rangos y oxido de titanio el cual ayuda con fenómenos de transferencia electrónica y así debilitar los enlaces de moléculas, este resultado se le llama descontaminación por fotocatalisis, una técnica poco usada en el Ecuador pero que en otros países han generado resultados satisfactorios. (Ortiz, 2016, pág. 36)

En el estudio de Paullan anterior al que se presenta determino que al exponer agua con fenoles y surfactantes usando una lámpara UV-vis de longitud de onda de 250 nm se logró descontaminar elementos tóxicos en un 46% que es un valor considerable, basándose en dicho estudio y en el de Garcés se pretende generar longitudes de onda mayores a los 500 nm es decir trabajando en un rango visible del

espectro electromagnético que es desde los 500 hasta los 700 nm para llegar a valores cercanos al 100% de descontaminación y teniendo un tiempo de residencia menor en un reactor descontaminante, para llegar a esto se deberá tener conocimientos de electrónica y espectrofotometría. (Paullan, 2015, pág. 25) (Garcés, Mejía, & Santamaría, 2011, pág. 83)

2.2 Espectro de la radiación electromagnética

Las ondas electromagnéticas se caracterizan por su frecuencia o su longitud de onda, y se clasifican en diferentes tipos según los valores de las mismas, Toda la gama de frecuencias constituye el denominado espectro electromagnético como se aprecia en la Figura 1, y este espectro se divide en diferentes zonas, atendiendo a las características más comunes de las radiaciones incluidas en ella. Por orden de frecuencia creciente, o de longitud de onda decreciente.



Espectro visible: es la radiación que se detecta por el ojo del ser humano y está comprendida en una reducida franja del espectro electromagnético que va desde 3.84 hasta $7.69 \cdot 10^{12}$ Hz de frecuencia o de longitudes de onda desde 780 nm hasta 390 nm, esta banda se subdivide a la vez en diferentes secciones asociadas a los colores que son distinguidos, cuyas fronteras están expuestas en la tabla 1, lo cual se conoce vulgarmente como luz blanca es una mezcla de cierta manera uniforme de todos los colores del espectro. El Sol y las estrellas son fuentes de luz ultravioleta visible al

igual que son utilizadas las diferentes lámparas para iluminación artificial. (Requena & Zuñiga, 2004, pág. 40)

Esta luz incide sobre los objetos y una parte de esta es absorbida y la otra se refleja como los colores conocidos lo cual percibe el ojo humano, por ende un objeto negro o un cuerpo negro absorbe toda la radiación UV-vis y todos sus componentes.

Por lo contrario un objeto o cuerpo blanco refleja todas sus componentes, los fotones de luz transportan una energía que varía en el intervalo de 1.7 a 3.2 eV. (Requena & Zuñiga, 2004, pág. 39)

Tabla 1.
Intervalos de frecuencia y longitud de onda para los colores de UV-vis

Color	ν (10^{12} Hz)	λ (nm)
Violeta	659 – 769	455 – 390
Azul	610 – 659	492 – 455
Verde	520 – 610	577 – 492
Amarillo	503 – 520	597 – 577
Naranja	482 – 503	622 – 597
Rojo	384 – 482	780 – 622

Nota: (Requena & Zuñiga, 2004, pág. 40)

2.2.1 Radiación electromagnética

La espectroscopía describe la correlación que se tiene de por medio con radiación, principalmente la electromagnética, y las sustancias orgánicas e inorgánicas como atribución a la longitud de onda (λ). El concepto se amplía para comprender cualquier medida en función de la longitud de onda y su frecuencia, puede referirse a interacciones con partículas de radiación o a una respuesta a un campo alternante o frecuencia variante (ν). Todo esto es usado comúnmente en las áreas de química analítica e instrumentación para estudiar la composición de muestras, pero además también se ha podido ver más aplicaciones de la radiación electromagnética como se ve en la tabla 2. (Requena & Zuñiga, 2004, pág. 39)

Tabla 2.
Efecto de la radiación electromagnética sobre la materia.

Radiación	Efecto
Rayos X y cósmicos	Ionizaciones de las moléculas
UV-Visible	Transiciones electrónicas entre los orbitales atómicos y moleculares
Infrarrojo	Deformación de los enlaces químicos
Microondas	Rotación de los enlaces Químicos
Radiofrecuencia	Transiciones de espín electrónico o nuclear en los átomos de la molécula.

Nota: (Skoog, Holler, & Crouch, Principios de análisis Instrumental, 2008, pág. 89)

Los efectos de la radiación sobre la materia pueden usarse para obtener información sobre su estructura, surgiendo distintas técnicas espectroscópicas. Toda radiación electromagnética se interpreta por los siguientes componentes una longitud de onda (λ), la continuidad (ν) y la fuerza (E); para representar este concepto se puede ver la ecuación de Planck:

$$E = h\nu + \frac{hc}{\lambda}$$

Donde:

E = energía transportada por cuanto de radiación o fotón [J fotón⁻¹]

h = constante de Planck ($6,6256 \times 10^{-34}$ J s fotón⁻¹)

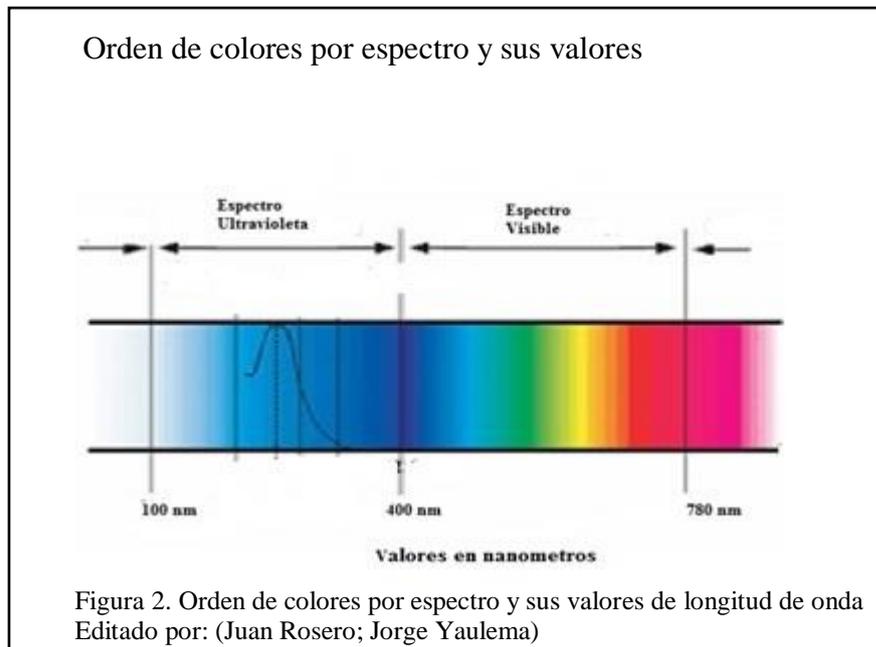
c = velocidad de la luz ($2,9979 \times 10^8$ m s⁻¹)

λ = longitud de onda [m]

ν = frecuencia de la radiación [s⁻¹]

2.2.2 Generalidades de la espectroscopia

La espectroscopia UV-vis se emplea la propagación electromagnética esta longitud de onda cubre los rangos desde los 100 hasta 700 nm que son los intervalos de visibilidad, la representación de la respuesta del sistema en función de la longitud de onda o frecuencia se denomina espectro como se muestra en la Figura 2



Un espectro electromagnético compromete el filtrar de la propagación ultravioleta visible de un cuerpo, fomentando que un electrón desde un estado fundamental (EF) pase a uno de excitación (EE), eliminando la sobrecarga de energía en forma de calor. Utiliza la luz en los rangos visibles y aproximados al infrarrojo, la longitud de onda a la cual se produce el máximo de absorbancia en el espectro se conoce como $\lambda_{\text{máx}}$. (Granada, 2015, pág. 1)

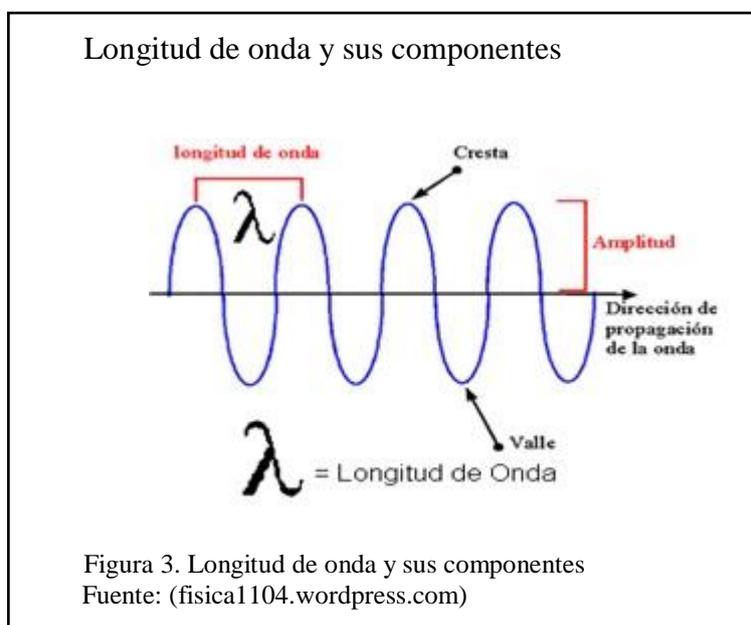
2.3 Óptica Geométrica

La óptica geométrica es el estudio de la luz por medio de modelos matemáticos que analiza la luminosidad desde el punto de vista de la propagación de energía radiante, estos estudios se los realiza de manera totalmente geométrica basándose en 3 principios: la propagación de la luz, las trayectorias de los rayos luminosos, principio de Fermat el cual dice que el tiempo que la luz necesita para recorrer una distancia entre dos puntos debe ser mínimo o máximo. (Vitcodoc, 2010, pág. 19)

2.3.1 Longitud de Onda

Una onda en el campo de la física es conocida como una perturbación que se propaga y su naturaleza es diversa, la longitud de onda se precisa como el intervalo entre dos puntos sucesivos situados en el mismo periodo de un desplazamiento ondulatorio entre dos crestas escrito de otra manera se puede decir que es la distancia que ocupa

una onda completa, como se muestra en la Figura 3, son sucesivas de una onda en este caso de la radiación UV-vis esta es inversamente proporcional a la frecuencia y para el presente estudio comprende entre los 300 y 700 nm.



2.4 Sistema de Espectrofotómetro

Instrumento usado en la espectrofotometría ultravioleta-visible, registra las longitudes de onda donde se compara la radiación absorbida o transmitida por una solución, mide la intensidad de luz que pasa a través de una muestra (I), y la compara con la intensidad de luz antes de pasar a través de la muestra (I_0). (Harris, 2006, pág. 412)

$$A = -\log_{10} \frac{I}{I_0} = E \cdot C \cdot L$$

Donde A es la absorbancia medida, I_0 Es la intensidad de la luz incidente a una determinada longitud de onda, I es la intensidad de transmisión, L la longitud de ruta a través de la muestra, y c la concentración de las especies absorbentes. Para cada especie y longitud de onda, E es una constante conocida como absorbidad molar o coeficiente de extinción. (Harris, 2006, pág. 413)

Un espectrofotómetro se emplea para medir la cantidad de luz que absorbe una muestra que está equipado con filtros de interferencia. El instrumento funciona haciendo pasar un rayo de luz a través de una muestra y mide la intensidad de la luz que llega a un detector o sensor el cual obtiene la nueva longitud de onda, por lo general para realizar estas mediciones se usan tubos fotomultiplicadores. (Skoog, Holler, & Crouch, 2008, pág. 240)

Es decir una fuente luminosa en este caso el espectrofotómetro Perkin Elmer 781 usa una lámpara de Tungsteno que funciona con 2.5 V.

Este haz pasa por espejos rendijas y filtros, hasta llegar al monocromador y divide la luz blanca en los colores del espectro, estos son las diferentes longitudes de onda, a medida que el monocromador gira en el espejo final se pueden apreciar los diferentes colores, en este último lente reflector, el cual es cóncavo, está el sensor de luz ultravioleta visible. En el sistema original se pueden medir absorbancia de cada uno.

Sucede esto por la combinación de las bandas de absorción de infrarrojos fundamentales y las transiciones electrónicas de bajo consumo. Esta región fue percibida inicialmente como demasiado compleja para la interpretación y en consecuencia fue mal utilizada.

Los avances en las técnicas químicas y de óptica geométrica, que pueden extraer grandes cantidades de información química de los espectros complejos, han dado lugar a un amplio uso de NIR (Espectroscopia del Infrarrojo más Cercano) espectrofotometría en las industrias de la alimentación, la agricultura, farmacéuticos, químicos y polímeros. (Elmer, 2004, pág. 4)

La aplicación de NIR en mediciones de laboratorio clínico es una rápida y simple técnica no destructiva capaz de proporcionar clínicamente análisis de muestras biológicas con precisión y exactitud comparable con el método utilizado para derivar los modelos NIR. Los análisis se pueden realizar con poca o ninguna preparación de la muestra y sin reactivos. Se describe el enfoque general para la adquisición de datos, calibración y análisis, utilizando proteínas de suero, triglicéridos y glucosa como ejemplos. (Elmer, 2004, pág. 7)

La interpretación de estos datos a través del espectrofotómetro se da por gráficas, las personas a cargo del equipo dan un informe de los resultados que se han obtenido.

2.4.1 Desarme del equipo original

Al usar como base un equipo existente, se va a dismantelar y tomar los elementos que sean necesarios para construir el nuevo prototipo, teniendo también en cuenta las medidas y distancias, de esta manera no se profundiza en el campo de la óptica geométrica, y tampoco se tiene que volver a realizar cálculos de distancias, diseño de lentes y rendijas selectoras, para llevar todo el enfoque del proyecto al control del monocromador por medio de motores.



Se va a encontrar un espectrofotómetro de la compañía estadounidense Perkin Elmer del modelo 781 como se ve en la Figura 4, el cual sirve para análisis de muestreo químico de diferentes fluidos, en función a las diferentes longitudes de onda generadas por una fuente luminosa, así se puede medir niveles de concentración química y reacciones en la misma.

Este equipo está totalmente cerrado y sellado con tornillos; se procedió a separar de manera cuidadosa uno, a uno, para evitar daños, una vez que se removi6 las

seguridades respectivas y teniendo acceso al interior de la maquinaria, se puede divisar tarjetas de control y circuitos de potencia para los motores y recepción de señales a ser visualizadas en una pantalla tipo display, al no tener acceso completo a las diferentes lentes, se procedió a retirar por completo la carcasa, para apreciar los diferentes ángulos y la distancia entre espejos, fuente luminosa, rejillas de selección y el prisma monocromador como se muestra en la Figura 5.



Este proyecto no cambiará la óptica utilizada en el sistema original, una vez que la base tenga su medida, se desmonta los espejos, fuente luminosa, prisma y rendijas selectoras, finalizado el desmantelamiento se obtiene la base metálica con orificios donde estaban cada una de las lentes para tener cada una de ellas y no cometer errores, se colocó encima un pliego de cartulina y con un esfero gráfico se realizó los orificios sobre los originales y producto de esto se obtuvo una plantilla de todo el soporte original.

El sistema que generaba suaves y precisos movimientos del prisma y rendija selectora estaba regido por una rueda giratoria conectada a motores paso a paso, el control de los mismos generaban movimientos de la rueda y esta al mismo tiempo del monocromador y la rejilla, al ser este artilugio tan imprescindible se lo retiró pieza a pieza para después volver a ser armado tomando en cuenta la posición y lugar donde estaba en un inicio.

2.4.2 Partes tomadas del espectrofotómetro

Los componentes que serán usados para el prototipo a implementarse están descritos en la tabla 3

Tabla 3.
Lista de componentes utilizados

Lista de componentes	
Componente	Cantidad
Fuente Luminosa	1
Espejos	10
Filtro de Choqueo	1
Sistema Giratorio	1
Motor Paso a Paso	2
Motor AC	1
Rendijas Selectoras	3
Monocromador	1
Fuente de alimentación	1

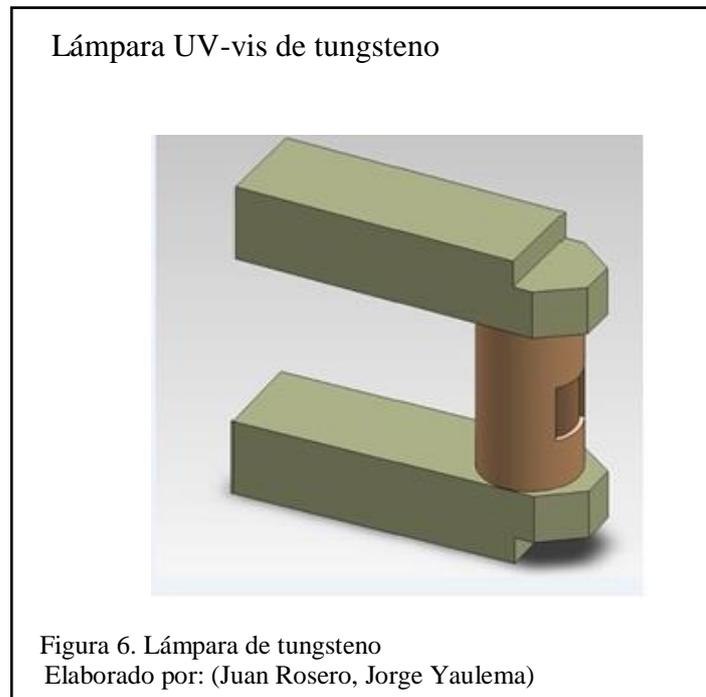
Nota: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

2.4.2.1 Fuente luminosa

Una fuente de energía radiante para realizar estudios espectroscópicos difunde un haz de luz que sea lo suficientemente fuerte para que pueda ser detectado y medido con comodidad. Su potencia debe ser estable en periodos largos de tiempo o razonablemente permanentes, en fuentes luminosas su energía varía de manera exponencial dependiendo de la fuente de alimentación que se la coloque, por esto es importante una fuente de poder regulada que puede dar estabilidad. (Skoog, 2008, pág. 98)

El elemento usado para esta lámpara es de tungsteno, en la Figura 6 se puede encontrar la lámpara, este material permite trabajarse en rangos de longitud de onda desde los 350 nm hasta los 2500 nm dependiendo de la fabricación que se tenga en caso de la lámpara usada en el presente proyecto puede llegar desde los 500 nm hasta los 700 nm, una característica especial es que mucha de la energía es transformada en calor por lo cual tiene en la parte superior e inferior dos placas de porcelana.

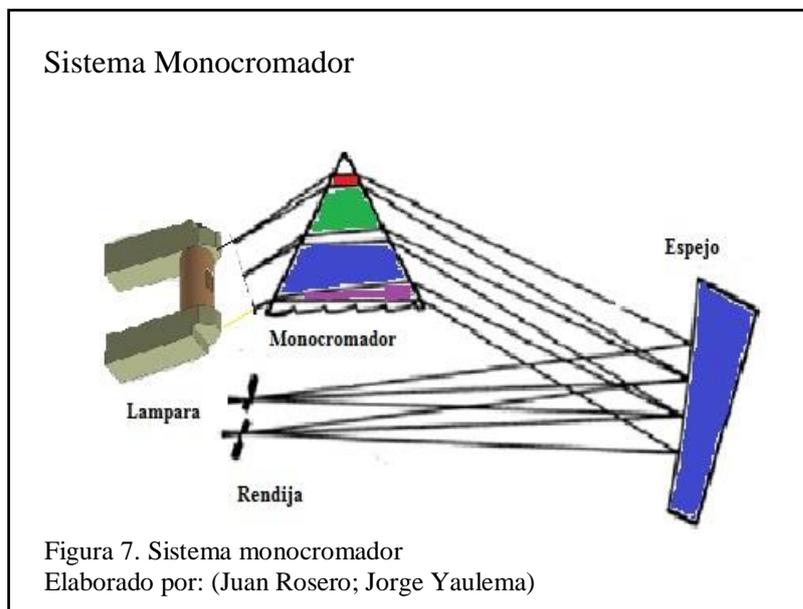
En caso de la lámpara que se usa es para generar un doble haz de luz las intensidades de cada uno es medido de manera simultánea para que así las fluctuaciones que se presenten en el sistema sean despreciables.



2.4.2.2 Sistema Monocromador

Un sistema monocromador está conformado por:

- La ranura de entrada que suministra una figura comprimida del origen de propagación.
- El prisma para descomponer la luz incidente.
- Una rendija de salida para aislar la banda espectral necesitada, permitiendo que pase la banda de ancho deseado.



La función principal de un monocromador como se ve en la Figura 7 es la de entregar un rayo luminoso con una longitud de onda variable siendo nominal en sus valores y ancho de banda. La difusión de refulgencia en el prisma desintegrador de luz usado con una fuente de luminosa constante, indistintamente no se toma en cuenta la separación focal junto con el ancho de ranuras, hay que basarse en una escala de longitudes de onda con un rango en cociente de longitud que se presenta en la señal de salida.

Como segunda función del monocromador, consiste en el ajuste de energía. Este puede aumentarse, aumentando el ancho de la rendija de salida, a costa de un mayor ancho de banda espectral que puede introducir desviaciones, porque ésta exige radiación monocromática, los anchos de rendijas excesivamente pequeños provocan rendimientos de baja energía en la señal del detector, afectando la sensibilidad analítica como resultado de la degradación de la relación señal-ruido. (Rioja, Universidad de, 2004, pág. 6)

El funcionamiento de un monocromador abarca tres puntos recíprocos: pureza de la radiación de salida, resolución y poder de captación de luz. La pureza la determina principalmente la cantidad de radiación dispersada mientras que la resolución depende de la dispersión y perfección en la formación de la imagen. Se requiere un poder de dispersión grande y un alto poder resolutivo en un monocromador, si se desea realizar cálculos de alta fiabilidad hacerlo con rectas discretas en los espectros

de transmisión o absorción atómica y para obtener los espectros de bandas angostas de absorción molecular. (Rioja, Universidad de, 2004, pág. 7)

Debido a que la radiación se propaga en diferentes sentidos de forma similar, en radiología se hace imperativo el hacer uso de algún medio para acotarla o restringirla, con el fin de poder "dirigirla" hacia donde se encuentra el paciente o detector.

2.4.2.3 Espejos

En el campo de la óptica un espejo se define como una superficie donde la luz choca y se difumina en diferentes direcciones dependiendo del diseño del mismo, si es una superficie totalmente pulida entonces la luz se dirigiría en una dirección única que depende de la dirección del rayo con respecto a la superficie, el estudio y su diseño se basan en dos aspectos el rayo que va a incidir y su ángulo de reflexión, para el presente proyecto se usaran diferentes tipos de lentes los cuales vamos a describir a continuación.

Espejos Convexos: Consta de una parte plana y de una superficie convexa, como muestra la Figura 8; cuanto más pequeña se la distancia focal, más gruesa y pesada será la lente y más alto el haz de luz, reflejan los rayos por la cara convexa, la característica de estos es que el reflejo es más pequeño que el objeto. (Perez & Rengifo, 2011, pág. 1)



Espejos Planos: A diferencia de los espejos convexos estos dan un tamaño igual al del objeto en frente, tienen superficies muy pulimentadas como se ve en la Figura 9 por esta característica pueden reflejar hasta el 95% de la luz que incide sobre ellos, son los más usados cotidianamente por que dan una imagen virtual. (Perez & Rengifo, 2011, pág. 2)



2.5 Motores paso a paso

Estos dispositivos de corriente continua que se mueven en desplazamientos discretos, tienen múltiples bobinas que se organizan en grupos llamados fases, las cuales se energizan en secuencia así el motor girará un paso a la vez, se logra un posicionamiento muy preciso, y a la vez velocidad continua, por esta razón los motores paso a paso son la elección para muchas aplicaciones de control. (Todorobot, 2016, pág. 1)

Lo que se puede distinguir de dichos componentes es el hecho de poder gobernar los movimientos, se puede realizar uno por cada pulso. Permutando entre 1.8° hasta 90° , para completar 90° en el movimiento son necesarios 4 pulsos y 200 desplazamientos para completar los 360° . (Todorobot, 2016, pág. 3)

La posición de los motores va a depender de la energización que se le de a los devanados, si por una o más de estar corre intensidad el posicionamiento será fijo sino hay corriente quedará libre. (Todorobot, 2016, pág. 1)

2.5.1 Principio de funcionamiento

Los principales elementos de estos motores son un rotor y sobre el que van adaptados imanes permanentes junto con devanados en el estator como se muestra en la Figura 10.

La permutación de estos elementos se da por un controlador programable el cual envía diferentes señales para el accionar de bobinas en el estator generando los movimientos, el papel del rotor se basa en el imán permanente que posee.

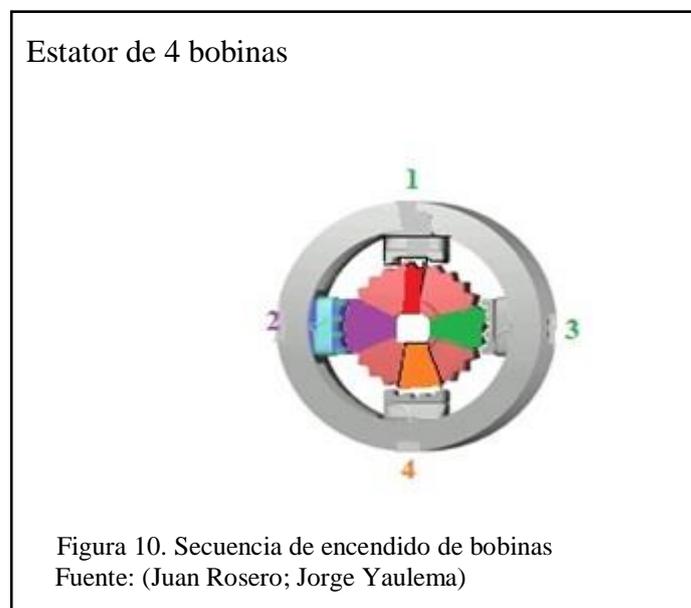


Tabla 4.
Secuencia lógica de motores paso a paso

PASO	TERMINALES			
	A	B	C	D
1	+V	-V	+V	-V
2	+V	-V	-V	+V
3	-V	+V	-V	+V
4	-V	+V	+V	-V

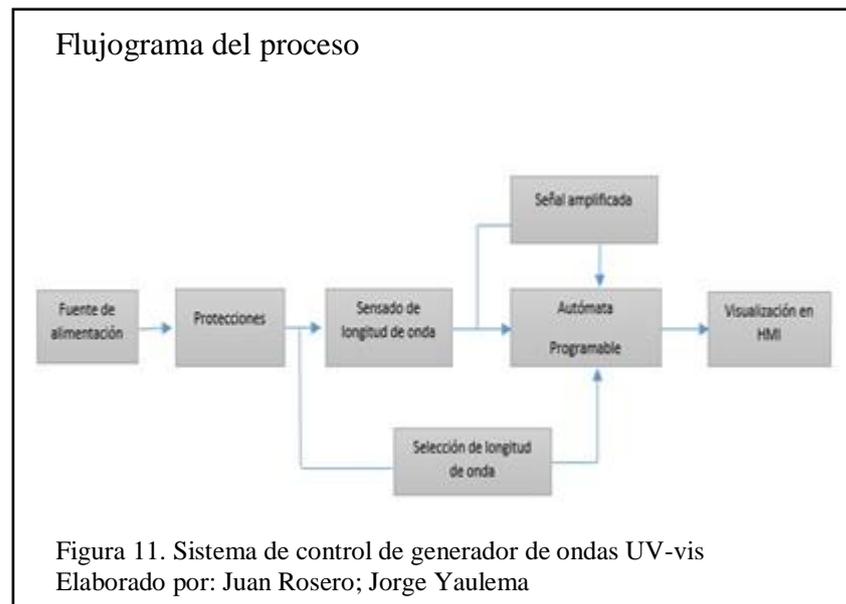
Nota: (Todorobot, 2016)

CAPITULO 3.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

3.1 Diseño y construcción del sistema eléctrico y electrónico.

Este proyecto con las especificaciones establecidas en el capítulo anterior se realiza siguiendo el flujograma del proceso que se encuentra en la Figura 11.



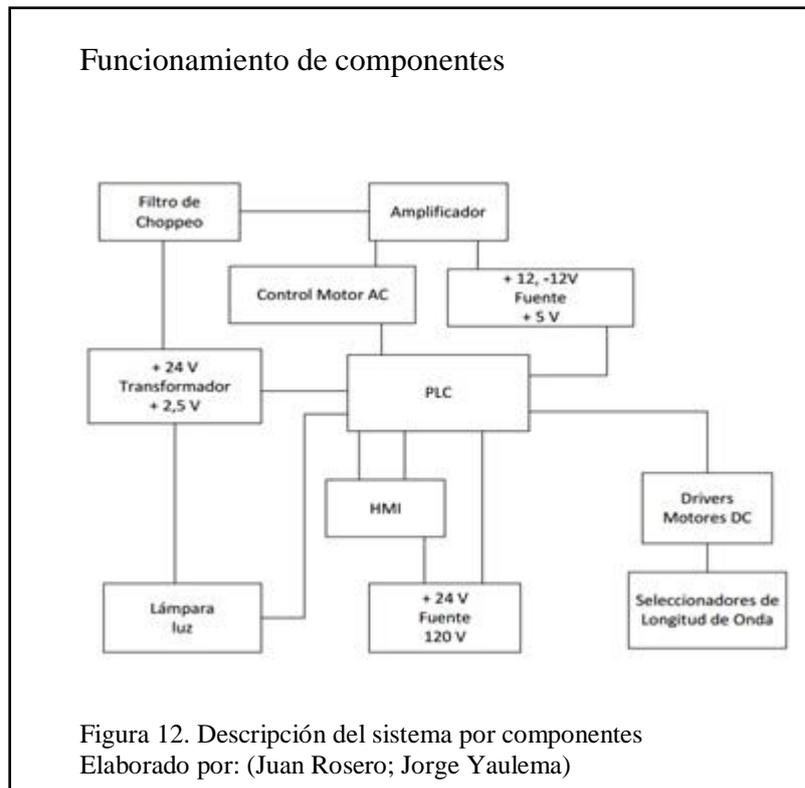
Los elementos que se utilizan para esta aplicación electrónica y eléctrica, son, el Controlador lógico programable (PLC), el cual necesita de una fuente específica la cual debe ser provista por la misma fábrica del PLC de esa manera se evitará averías o daños, al igual que la pantalla táctil para el interfaz humano máquina (HMI) donde se podrá generar datos, en lo que concierne a los diferentes motores se necesita una fuente tipo switch, con la misma se optimizará el trabajo de los motores paso a paso, y los circuitos que se van a diseñar tendrán una alimentación según lo requerido con sus respectivas protecciones evitando así pérdidas excesivas en calor, sobre voltajes y sobre corrientes para todo el circuito de control.

Entre los elementos más significativos se encuentra la lámpara de tungsteno, la fuente luminosa la cual da el haz inicial, que se refinará enfocado hasta el monocromador, el transformador que suministra a la lámpara un voltaje de 2.5 V y

una corriente de 2 A, se debe tomar en cuenta que estos valores son indispensables por la naturaleza de la fuente luminosa, caso contrario, la lámpara se deteriora.

3.2 Funcionamiento del sistema electrónico y eléctrico del equipo

Al momento de energizar al equipo y ponerlo en funcionamiento lo primero en ser encendido será la pantalla táctil, Interfaz Humano Maquina (HMI) se puede visualizar en la misma una interfaz amigable sencilla de entender para los usuarios lo que conlleva un fácil acceso, se desplegará un menú para poder elegir las diferentes longitudes de onda, estas señales serán procesadas por el PLC, el proceso completo se lo muestra en la Figura 12



El sistema de automatización se refiere al control de los motores a pasos, el motor AC, la lámpara, y los sensores del sistema.

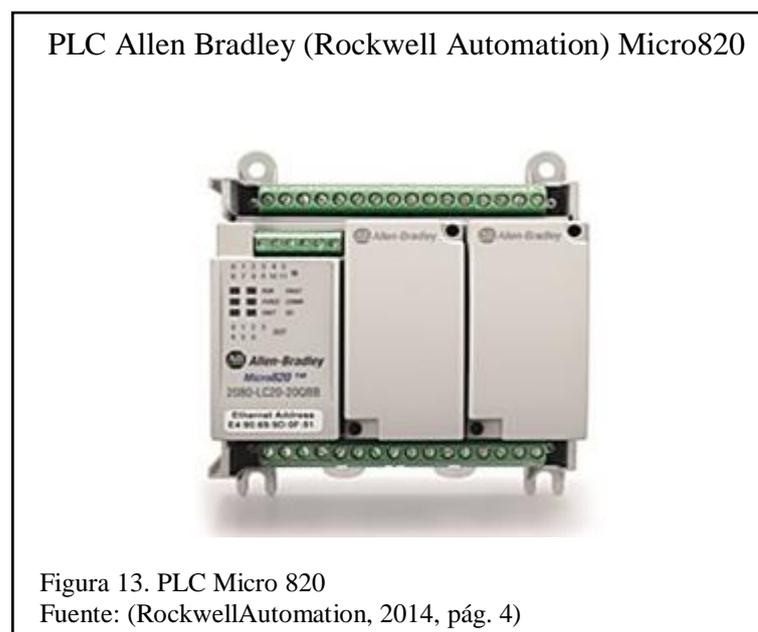
En el caso de los motores a pasos se encargaran de mover al sistema del monocromador y la rendija que permiten descomponer la luz obtenida a partir de la lámpara en las diferentes longitudes de onda.

El motor de AC activa el filtro de choqueo el cual proporciona una señal fina para su medición, el control de todos los drivers es realizado por el autómata el cual obtendrá los diferentes valores obtenidos por los sensores y variables de la pantalla touch, enviara las señales para mover los motores y leer los valores de longitud de onda en el HMI.

3.3 PLC Allen Bradley Micro 820

Para la automatización del presente prototipo se va a usar un PLC Allen Bradley Micro 820 que es usado a pequeña escala, lo más importante de ese autómata es que permite a los desarrolladores tener la escalabilidad necesaria para un mayor control.

El controlador Micro820 como se muestra en la Figura 13. Cuenta con Ethernet integrado y puertos serie, y una ranura microSD. Entradas de registro de datos, analógicas y de temperatura termistor son esenciales para aplicaciones de automatización remotas. (RockwellAutomation, 2014, pág. 15)

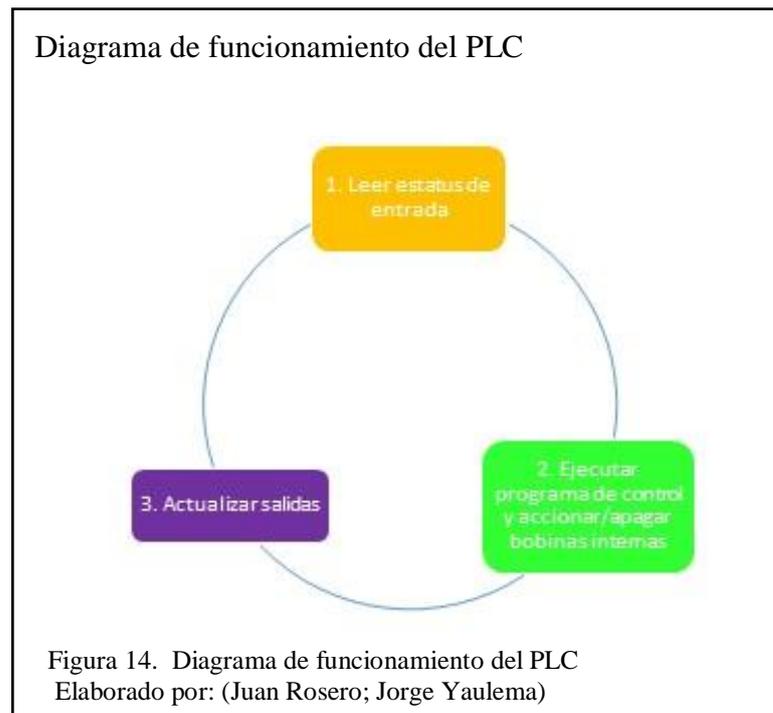


3.3.1 Partes que conforman el PLC Allen Bradley

Las partes más importantes de un controlador lógico programable (PLC) vienen por forma modular, este tipo de estructura pretende minimizar costos de reparación en caso de daños, si una parte se afectara ya sea por sobre voltajes o sobre corrientes lo

único que debe realizarse es sacar el modulo dañado y reemplazarlo con uno nuevo, Lo más normal es encontrarse con un procesador central, módulos de entrada y de salida, fuente o fuentes de poder, por la estructura modular ya mencionada se pueden diferenciar de manera muy sencilla los sistemas que tiene un PLC. (Cordoba, 2009, pág. 206)

- Procesador Central.
- Módulo de entradas y salidas.
- Interfaz con el Usuario.
- Sistemas de comunicación.



3.4 Diseño electrónico del sistema

Se rediseño los circuitos electrónicos originales, los cuales eran controlados por diversos micro controladores para el funcionamiento de los diferentes motores tantos de AC como de DC como muestra la Figura 15.

Tarjetas de control del sistema original



Figura 15. Circuitos de control original
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Al modificar los circuitos se permitió el acoplamiento de control desde el PLC y HMI consiguiendo así lograr uno de los objetivos planteados en el proyecto, permitiendo de esta manera optimizar el movimiento de estos motores a un solo tipo de controlador centralizando de esta manera el control total de nuestro dispositivo está a cargo del PLC además se optimizó el tamaño de la parte de los circuitos utilizando el programa proteus el cual permitió simular y crear las distintas placas, los mencionados diseños se encuentran en el capítulo 3 y su implementación como se muestra la Figura 16.

Circuitos de control rediseñados

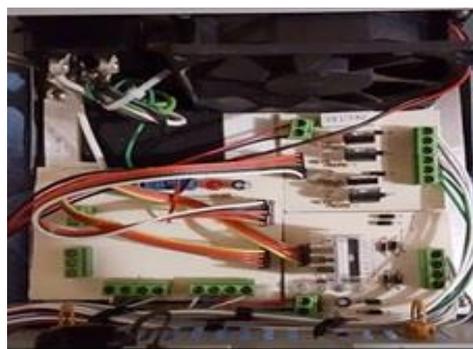


Figura 16 Circuito de control rediseñados
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

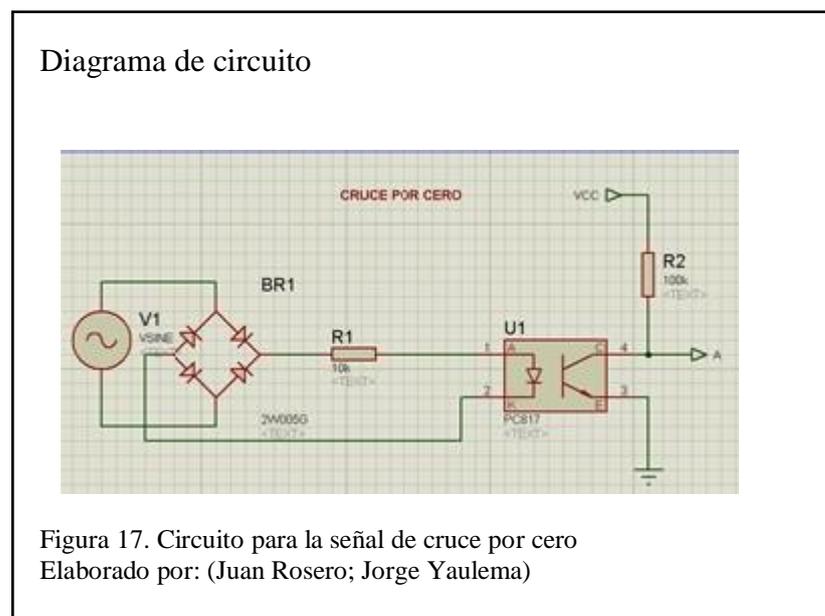
3.4.1 Diseño de control AC para filtro “Chopper”

Para el control del motor AC del filtro de chopeo se utiliza un circuito, el cual está diseñado en 5 etapas. La base permite controlar los disparos en un tiristor, triac, etc. Para este se crea un tren de pulsos los cuales deben tener un cierto ángulo de retardo del disparo, α respecto al paso por cero de las tensiones alternas que alimentan el convertidor.

Al obtener la relación lineal entre el entre el ángulo de retardo y la tensión de control, es necesario que en lugar de tener una señal de referencia sinusoidal, transformarla en una señal de diente de sierra la cual debe estar sincronizada con la red alterna de la alimentación.

3.4.1.1 Primera Etapa

Cruce por cero: esta etapa permite sincronizar la señal de referencia dada por la red. Para generar el cruce por cero se utiliza un rectificador de onda completa generando de esta forma una señal DC pulsante la que es detectada por un optoacoplador PC817 al apagarse el led interno de este elemento da un pulso, éste será simulado como muestran la Figura 17 y la Figura 18.



Formas de onda generadas

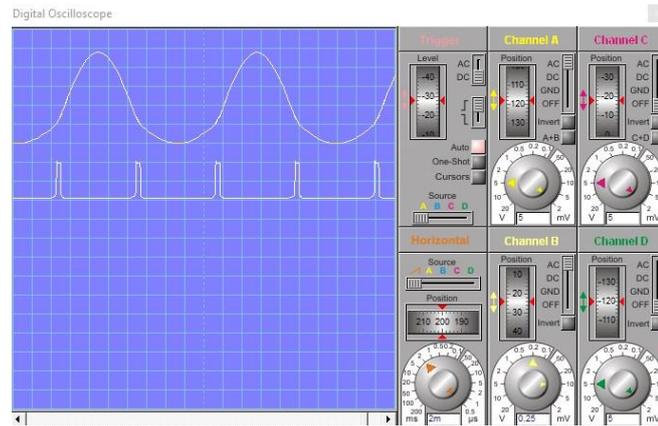


Figura 18. Señal de entrada sinusoidal Ch A, señal de cruce por cero Ch B
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

3.4.1.2 Segunda Etapa

Circuito integrador y seguidor de tensión: El circuito seguidor de tensión o buffer permite que la tensión de la fuente cargue al circuito del integrador, teniendo la ganancia igual a uno, ya que el voltaje de entrada no varíe. El integrador permite la tensión de salida este determinada por la longitud de tiempo de su entrada, ya que es una señal DC colocamos un transistor BC547 el cual mediante los pulsos generados en la primera etapa pueda descargar el condensador, permitiendo generar una onda de dientes de sierra, el diagrama para generar la señal del integrado y seguidor de tensión se muestra en la Figura 19 las ondas generadas se muestra en la Figura 20.

Diagrama del circuito integrador

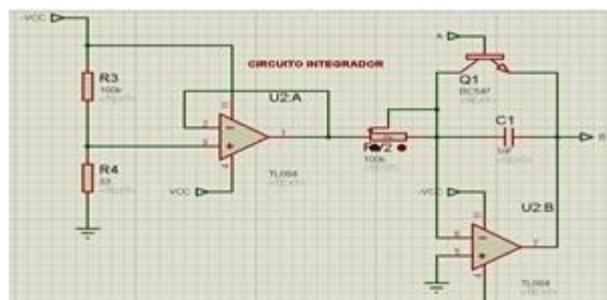


Figura 19. Circuito Seguidor de tensión e Integrador
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Señales generadas por el circuito Integrador

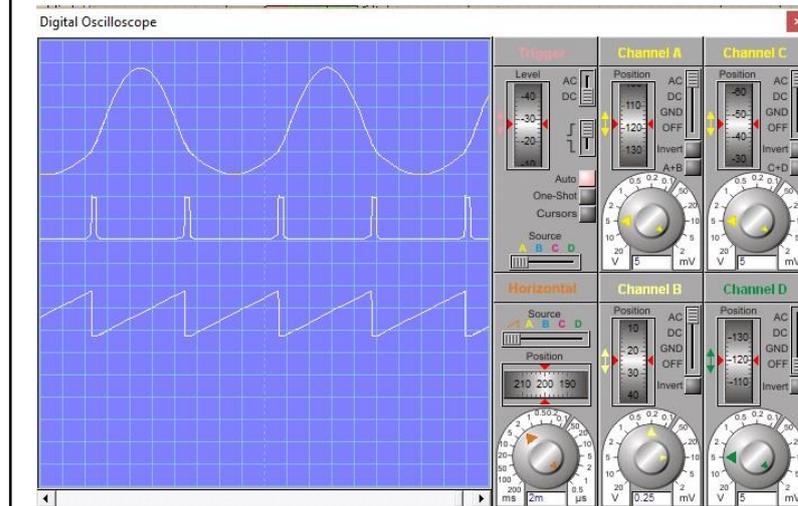


Figura 20. Señal Sinusoidal Ch A, Cruce por cero Ch B, Señal de dientes de Sierra Ch C
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Para los cálculos de la resistencia y el condensador se utiliza la siguiente ecuación.

$$V_{out} = -\frac{1}{c} * \frac{V_{in}}{R} * t$$

3.4.1.3 Tercera Etapa

Circuito Restador – Inversor: como su nombre lo indica esta estructura electrónica es capaz de invertir y restar la onda permitiendo de esta manera eliminar el desfase en el voltaje de la señal de diente de sierra para tener un mejor control del motor. Este circuito se muestra en la Figura 21 y su forma de onda en la Figura 22.

Diseño de circuito Sumador – restador

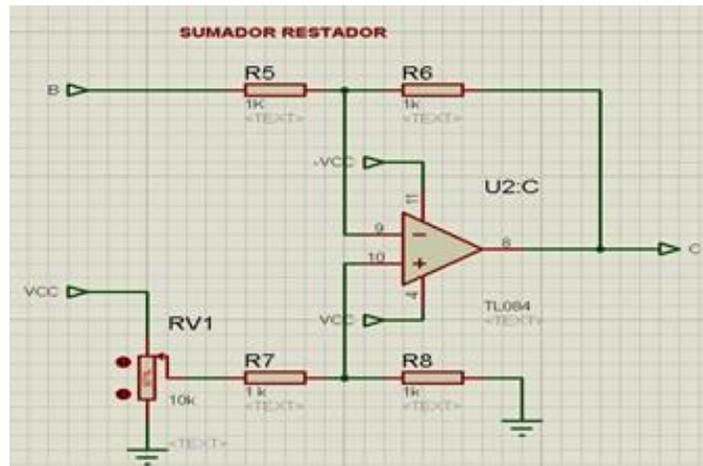


Figura 21. Circuito Sumador-Restador
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema).

Señal generada por el circuito sumador-restador

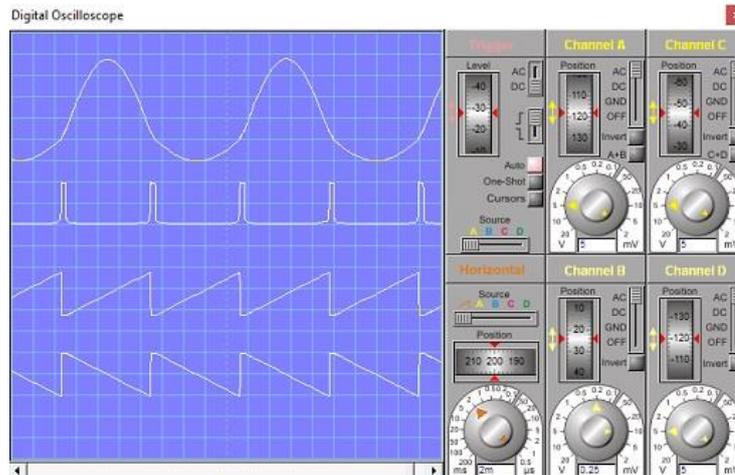


Figura 22. Señal Inversa de dientes de sierra Ch D
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Los cálculos de las resistencias para esta etapa y con el fin de tener una ganancia uno se utilizó R_1 igual R_2 , lo cual permitió la utilización de siguiente ecuación:

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} * (V_2 - V_1)$$

3.4.1.4 Cuarta etapa

Comparador: Este ciclo compara el voltaje de entrada con el de salida permitiendo que pase el de mayor voltaje así como también el voltaje mayor será el que dará el signo a la señal, en este caso para la simulación se usará un potenciómetro para variar a señal de pulsos pero en nuestro circuito real esta señal será proporcionada por el PLC.

El diseño del circuito se encuentra mostrado en la Figura 23 se observa el tren de pulsos en la Figura 24.

Circuito de comparador de voltajes

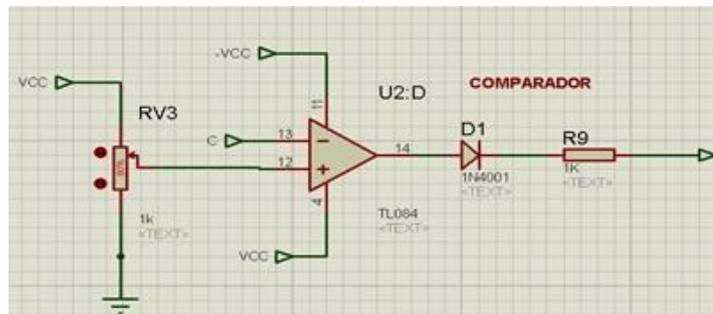


Figura 23. Circuito de comparación de voltajes
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Señal generada por el comparador

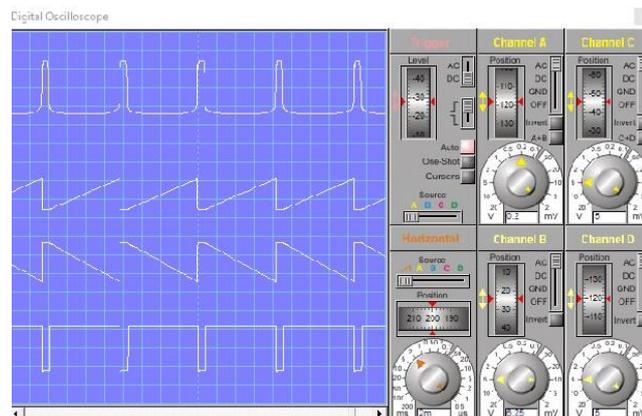
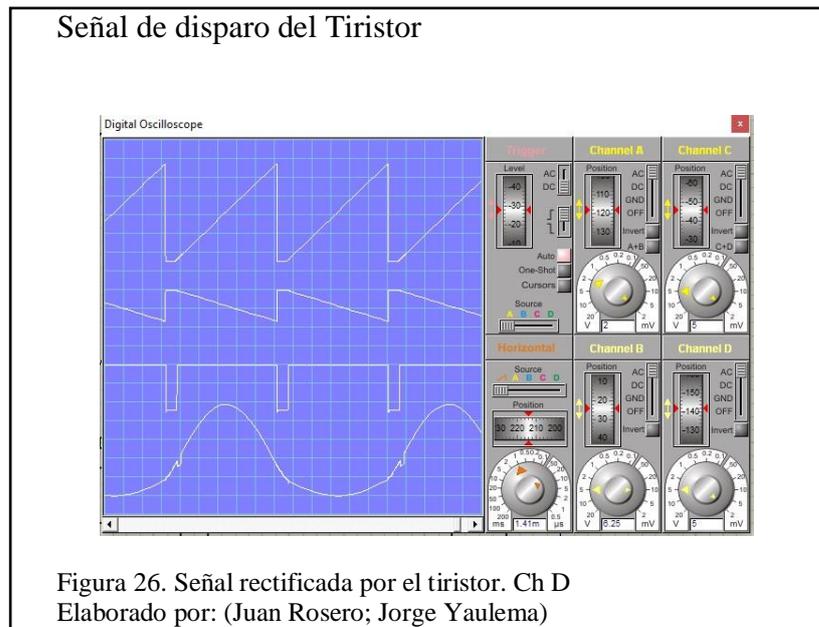
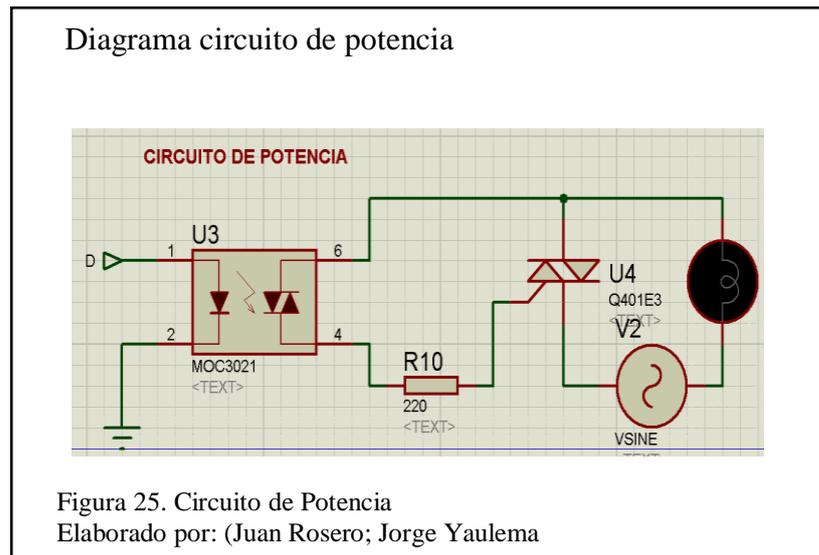


Figura 24. Señal de pulsos a 80%. Ch D
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

3.4.1.5 Quinta Etapa

Circuito de potencia: Esta trama del circuito se procede a conectar la salida del tren de pulsos a un optoacoplador y así separar la parte de baja de potencia con la parte de AC, al disparar el tiristor, esto permitirá rectificar la forma de onda AC a diferentes grados, dependiendo de la señal de entrada controlando de esta manera al motor en forma de un regulador de intensidad como se observa en la Figura 25 y la señal rectificada en la Figura 26.



El controlador mediante la salida analógica permite tener una fuente de voltaje que variaba de 10 V a 0 V para un correcto funcionamiento, alimentará un divisor de voltaje de dos resistencias con la siguiente ecuación:

$$v_{out} = v_{in} \frac{R1}{R1 + R2}$$

De acuerdo a esta ecuación se calcula las dos resistencias iguales para que el voltaje sea dividido en la mitad generando una entrada de 5 a 0 V como muestra la tabla 5, además la corriente está dada al valor de la resistencia y como se desea una corriente baja en la entrada del amplificador, se usa $R1 = R2 = 1 \text{ K}\Omega$.

Tabla 5.
Calculo del Divisor de voltaje.

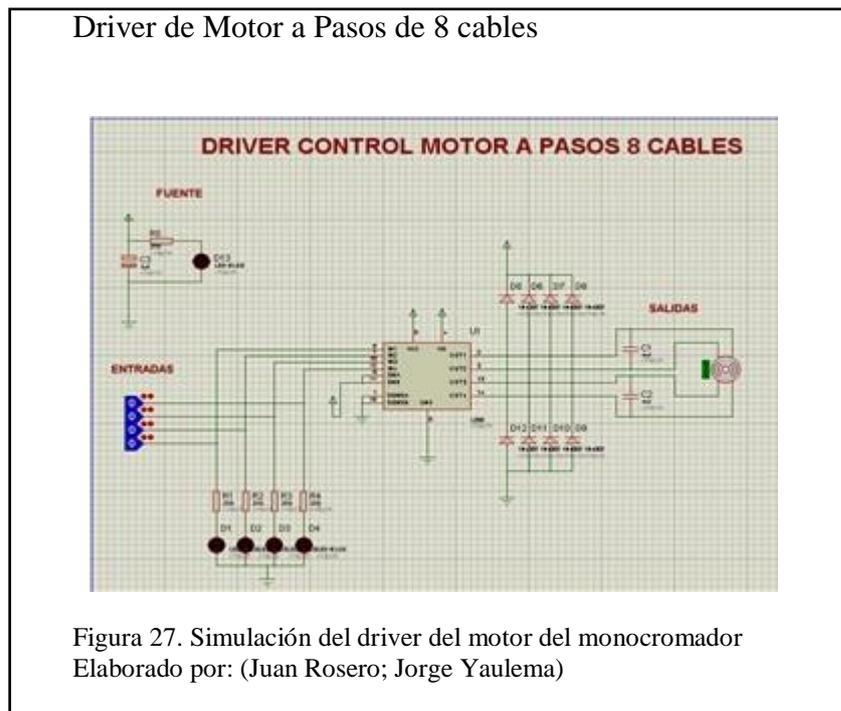
DIVISOR DE VOLTAJE PLC				
VIN (V)	R1	R2	CORRIENTE (mA)	VOUT (V)
7,50	1000	1000	3,75	3,75
7,75	1000	1000	3,88	3,88
8,00	1000	1000	4,00	4,00
8,25	1000	1000	4,13	4,13
8,50	1000	1000	4,25	4,25
8,75	1000	1000	4,38	4,38
9,00	1000	1000	4,50	4,50
9,25	1000	1000	4,63	4,63
9,50	1000	1000	4,75	4,75
9,75	1000	1000	4,88	4,88
10,00	1000	1000	5,00	5,00

Nota: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

3.4.2 Diseño del driver para el motor a pasos del sistema monocromador

En el control del motor se utilizará el circuito Integrado L298. El cual es un conductor de doble corriente, que permite mediante niveles lógicos TTL estándar, manejar cargas inductivas como relés, solenoides DC y motores paso a paso, diodos

leds para indicadores de encendido de cada una de las bobinas, diodos rectificadores para protección, el diagrama se lo aprecia en la Figura 27



3.4.3 Diseño del driver para el motor a pasos para la rendija

Por las características de motor se usara un Tip 122 el diseño completo se lo observa en la Figura 28, para generar un puente H con capacidad para soportar corrientes mayores a 1 A.

Para la activación de los transistores se usara: entradas lógicas TTL estándar para la activación de los transistores, diodos leds como indicadores de encendido de cada una de las bobinas, diodos rectificadores para protección del driver.

Driver de Motor a Pasos de 6 cables

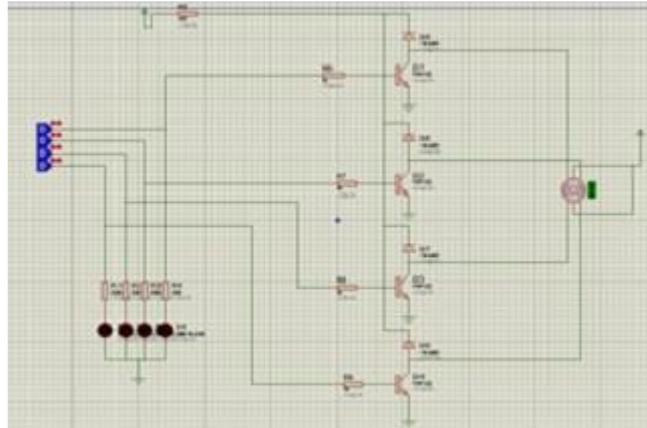


Figura 28. Simulación del driver de la rejilla de selección
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

3.4.4 Circuito PCB (Printed Circuit Board) para el control de los motores

Una vez probado y simulado cada uno de los anteriores diseños procedemos a realizar el diseño PCB en el programa ARES como muestran en el anexo 2, también los circuitos PCB en su forma en 3d de las siguientes figuras: Figura 29, Figura 30 y Figura 31.

Driver Motor AC

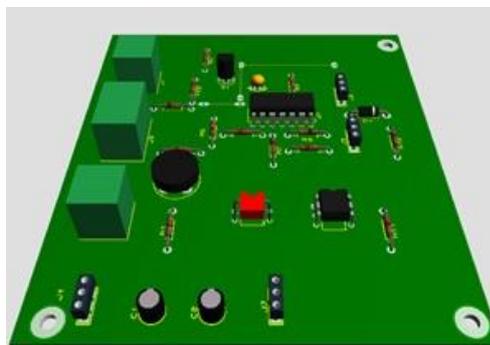


Figura 29. Circuito 3D del Filtro de Choqueo
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Driver Motor a Pasos 8 cables

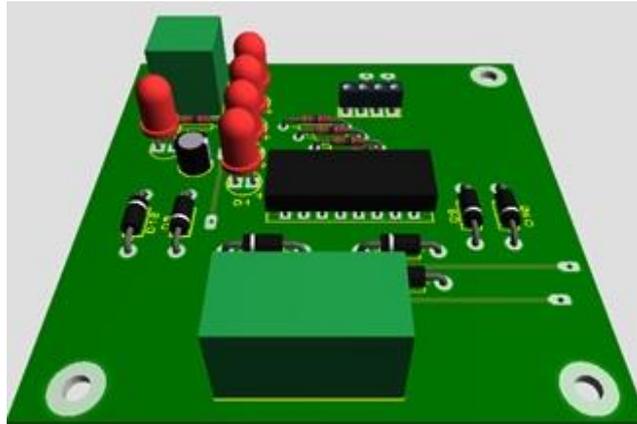


Figura 30. Circuito en 3D del motor Monocromador
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Driver Motor a Pasos 6 cables

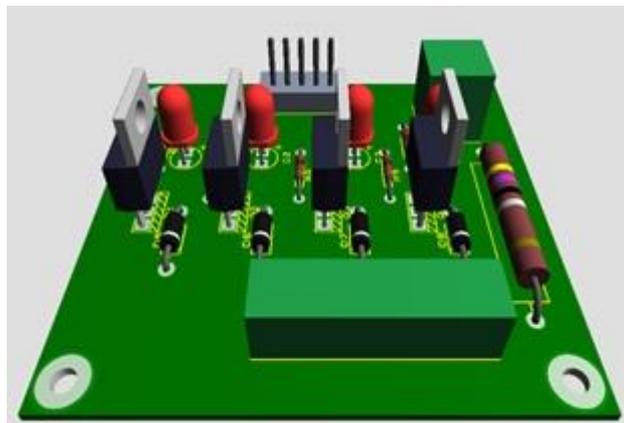


Figura 31. Circuito en 3D del Motor de Rendija de Selección
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

3.4.5 Diseño de amplificación del voltaje para de los opto acopladores de ranuras

Para la detección de la posición del motor y la rueda de engranes que mueven el sistema del monocromador se colocó dos opto acopladores de ranura los cuales a su salida nos entregan un voltaje máximo de 5 V, por lo cual fue necesario el diseño de un circuito de amplificación como se muestra en la Figura 32

Circuito de amplificación Opto acopladores

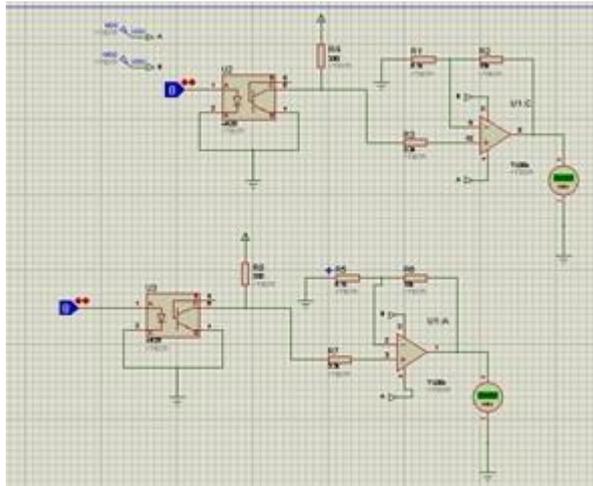


Figura 32. Simulación de circuito de amplificación
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Para el cálculo de las resistencias se utilizó la formula

$$R_3 = \frac{R_2 * R_1}{R_2 + R_1}$$

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra el circuito en 3D

Amplificador de voltaje de optoacoplador

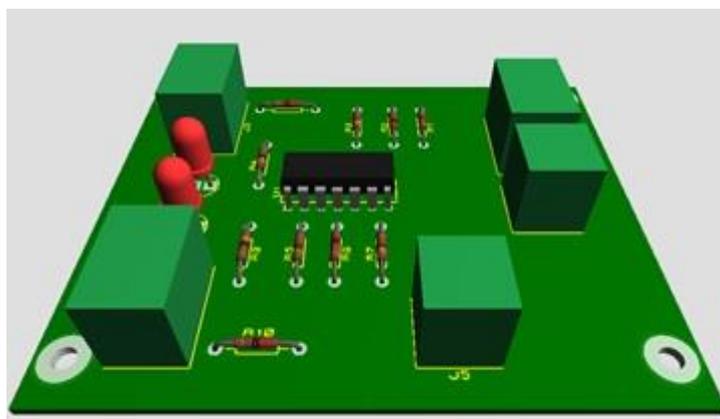


Figura 33. Circuito en 3D del Amplificador de los optoacopladores
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

3.5 Diseño y construcción de la base y la carcasa protectora.

Para la construcción de la carcasa protectora y la base para los espejos y el sistema monocromador, se adquiere materiales con dos fines; se usa para la base un material resistente que soporte el peso todos los componentes, segundo la carcasa protectora tiene que ser de color negro para que así se evite la entrada de luz o salida de la misma evitar contaminación de muestras. En esta sección se describirá los procesos de construcción y los recursos a ser usados para el ensamblaje final del equipo. Los materiales a usarse se describen en la tabla 6

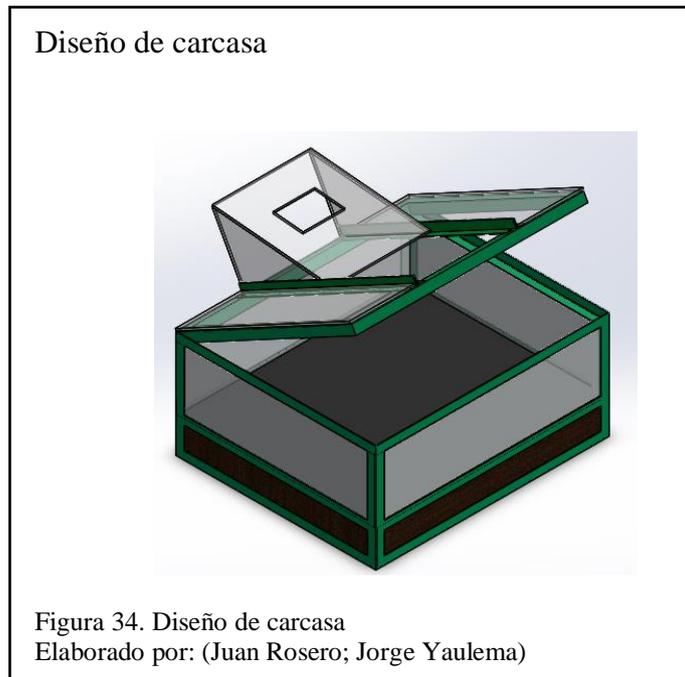
Tabla 6.
Materiales para construcción de carcasa

Materiales	Cantidad
Placa de Acero	1
Planchas de acrílico	4
Pegamento	1
Estructura metálica	1

Nota: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

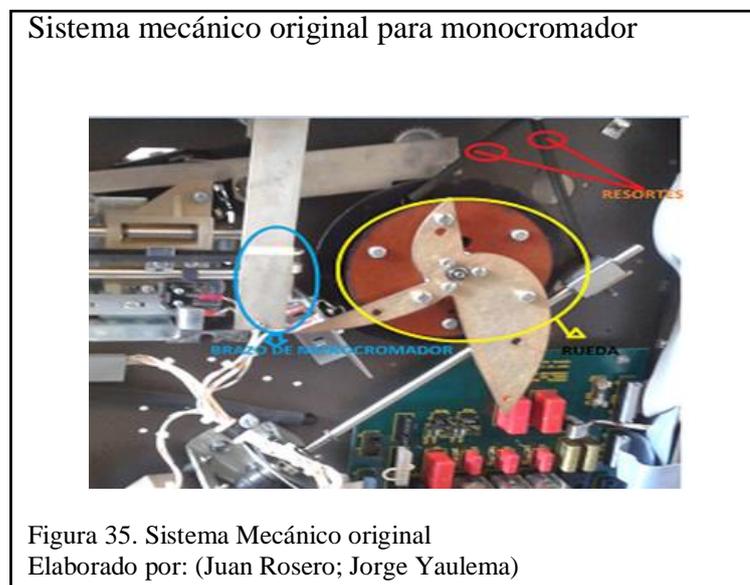
Se realiza un prototipo de la placa en madera para calibrar los espejos y las rendijas, una vez realizadas las pruebas e identificar las posiciones finales de los elementos se procede a implementarla.

En la segunda etapa se realizara la carcasa protectora, cuando se experimenta con luz UV-vis, la primera consideración es tener cuidado de no visualizarla de manera directa, porque el tiempo de exposición puede causar daños menores, o a su vez a la exposición permanente causa daños en corneas y dolores de cabeza. La segunda razón para tener una protección es porque las muestras de luz no pueden ser afectadas por la luminosidad que existente en el medio ambiente, en la Figura 34 se muestra un diseño final de la estructura.

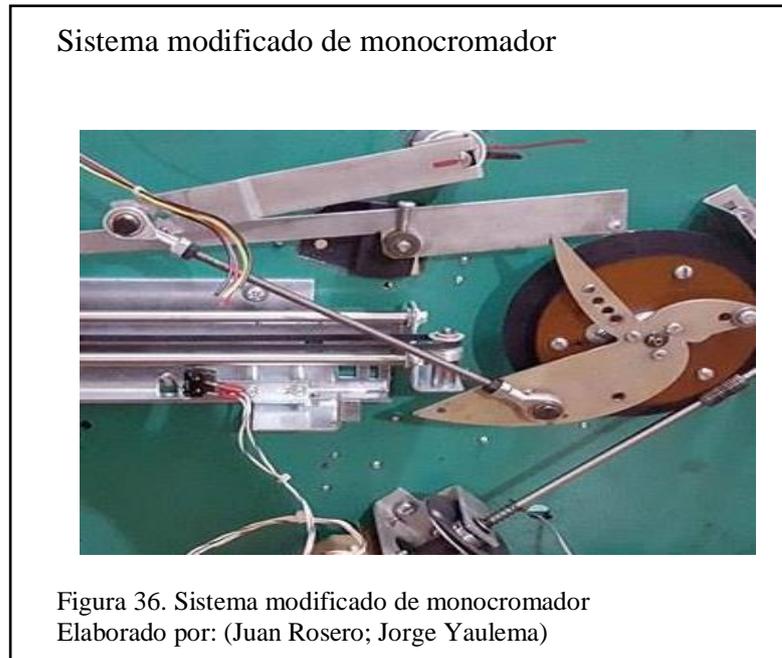


3.6 Rediseño del sistema mecánico monocromador y la rendija

Al despiezar el espectrofotómetro se tuvo varios inconvenientes para poner en marcha el sistema mecánico del monocromador que incluye el colimador y monocromador como se puede apreciar en la Figura 35. El sistema original está regido por una rueda, el monocromador y un resorte. La rendija colimadora se observa en la Figura 35, un motor sujeto a una banda elástica que la hace girar y a su vez esta banda está unida a un brazo mecánico para controlar la apertura y cierre de la rendija selectora.



En el sistema monocromador se cambia directamente a la rueda con dos articulaciones unidas por una varilla, se calibraron los movimientos para conseguir el cambio de longitud de onda como se muestra en la Figura 36.

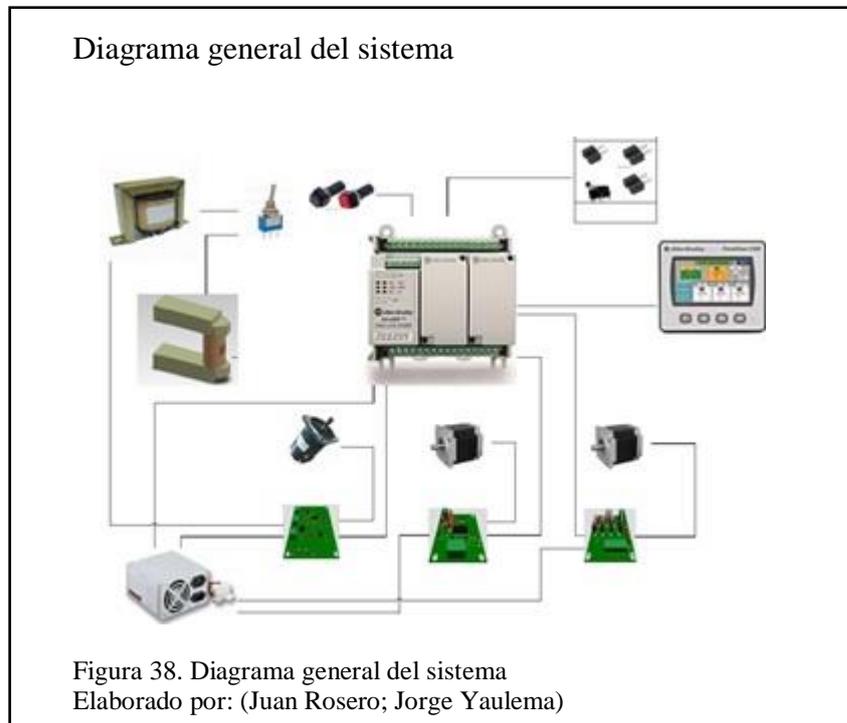


Para el cambio del sistema de rendija selectora se hace una perforación en el brazo que une a la rendija y el motor y se colocó un tornillo, con esto se logró controlar el movimiento, en la Figura 37 se puede ver el tornillo colocado.



3.7 Programación y funcionamiento

Para programar el PLC se considera aspectos importantes los cuales son el control de los actuadores, la adquisición de datos a través del HMI y los sensores del sistema. En la Figura 38 se muestra un esquema general del sistema para comprender su funcionamiento y relaciones existentes entre los componentes.



La parte de control se divide en dos etapas, el control de los motores a pasos y de los filtros del sistema. Cada uno se programa en una subrutina la cual usa distintas salidas del PLC, se utiliza las salidas del PLC también para el control de la lámpara como muestra la tabla 7.

Tabla 7.
Variables del programa

VARIABLE	TIPO	DIRECCION EN PLC
GLOBAL VARIABLES		
_IO_EM_DI_04	BOOL	IN_RIGH
_IO_EM_DI_05	BOOL	ST1 PRINCIPAL
_IO_EM_DI_06	BOOL	MANUAL
_IO_EM_DI_07	BOOL	IN_LEFTH
_IO_EM_DI_08	BOOL	IN_M
_IO_EM_DI_09	BOOL	IN_R
_IO_EM_DO_00	BOOL	LUZ
_IO_EM_DO_03	BOOL	OUT1 CM_STEPS_M

_IO_EM_DO_04	BOOL	OUT2 CM_STEPS_M
_IO_EM_DO_05	BOOL	OUT3 CM_STEPS_M
_IO_EM_DO_06	BOOL	OUT4 CM_STEPS_M
_IO_EM_AO_00	WORD	OUT V_VOLTAJE
_IO_P1_DO_03	BOOL	OUT1 CM_STEPS_R
_IO_P1_DO_02	BOOL	OUT2 CM_STEPS_R
_IO_P1_DO_01	BOOL	OUT3 CM_STEPS_R
_IO_P1_DO_00	BOOL	OUT4 CM_STEPS_R
ENCENDER	BOOL	VAR
STOP_IN	BOOL	VAR
CO_UP	BOOL	VAR
M_UP	BOOL	VAR
CO_DOWN	BOOL	VAR
M_DOWN	BOOL	VAR
RESET	BOOL	VAR
ST1	BOOL	VAR
STOP	BOOL	VAR
CH_DOWN	BOOL	VAR
CH_UP	BOOL	VAR
M_R_D	BOOL	VAR
M_R_I	BOOL	VAR
MOTOR_CH	REAL	VAR
M_ONDA	REAL	VAR
F	REAL	VAR
M1_UP	BOOL	VAR
M1_DOWN	BOOL	VAR

Nota: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Para el control del filtro de chopeo utilizaremos una de la salida análoga del PLC por lo cual para el escalamiento de nuestra señal usaremos la siguiente formula.

$$V_{out} = \frac{In * K}{100}$$

Donde:

In: Es el valor de entrada en porcentaje

V_{out}: Es la salida análoga de nuestro PLC

K: Es la constante de escalamiento de tipo palabra equivalente 4096.

Los datos de escalamientos realizados se visualizan en la tabla 8.

Tabla 8.
Escalamiento de valores de la salida analógica del PLC

%	VALOR WORD	VOLTAJE TEORICO (V)
0	0	0
10	410	1
20	819	2
30	1229	3
40	1638	4
50	2048	5
60	2458	6
70	2867	7
80	3277	8
90	3686	9
100	4096	10

Nota: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Las subrutinas creadas para el control son llamadas al programa principal para que sean ejecutadas como se muestra en el Anexo 8.

3.8 Diseño de La Interfaz Hombre Maquina (HMI)

El diseño del HMI se lo realizó en el programa Connected Components Workbench el mismo que sirvió para la programación del PLC, para el diseño de la interfaz se crearon tres ventanas, las cuales constan de una caratula de presentación, el menú principal y una pantalla de calibración manual como muestran las Figura 39, Figura 40 y Figura 41.



Ventana Principal



Figura 40. Menú principal del HMI
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Ventana de Calibración del HMI



Figura 41. Calibración de Motores
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

CAPÍTULO 4.

ANÁLISIS Y RESULTADOS

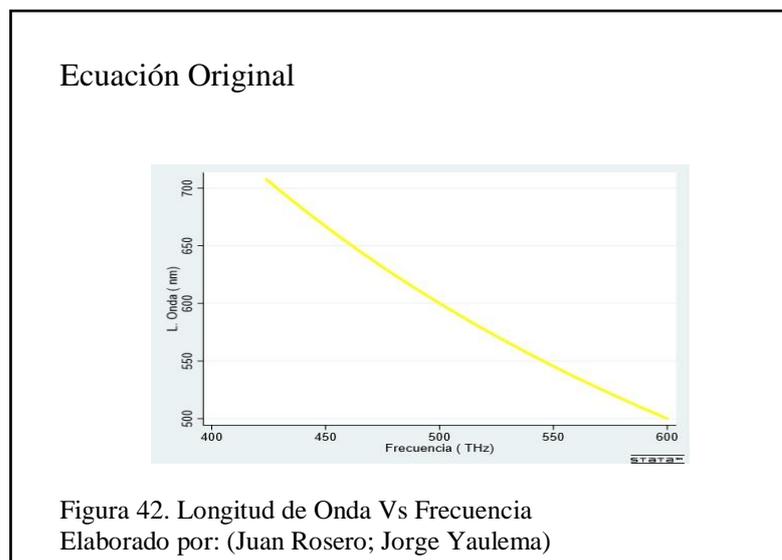
4.1 Resultados

Al rediseñar el dispositivo para medir la longitud de onda, no se encontró información del sensor “fotomultiplicador”, se lo reemplazó por un sensor digital RGB el cual permite diferenciar los espectros electromagnéticos producidos por el haz de luz, pero la energía recibida en la etapa final del sistema óptico es baja por tal motivo el sensor RGB no proporciona la información de los espectros electromagnéticos.

Por tal motivo se realiza una aproximación matemática que permita representar el sistema y medir la longitud de onda he indicarlo en el HMI, estos sistemas deben cumplir las condiciones de los valores teóricos que proporcionan las formulas físicas de longitud de onda que es representada por la siguiente ecuación

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

El prototipo que si diseño trabaja en los rangos de longitud 500 nm hasta 700 nm obteniendo la gráfica frecuencia en función de longitud de onda mostrada en la Figura 42.



Se decidió utilizar métodos estadísticos que se ajusten a los resultados obtenidos los cuales son la regresión lineal a través de mínimos cuadrados, y la interpolación de Newton.

4.1.1 Método de los mínimos cuadrados

Se utilizó el método de los mínimos cuadrados para ajustar los valores obtenidos de una media geométrica de la frecuencia de los espectros electromagnéticos según los valores teóricos, estos puntos generarán una ecuación que satisfaga el sistema.

Para ello se utiliza la herramienta informática Excel, que permita encontrar los valores para la ecuación.

$$\lambda = a_0 + a_1f$$

En la tabla 9, se pueden apreciar los datos obtenidos con el método de los mínimos cuadrados

Tabla 9.
Cálculos de los valores de mínimos cuadrados

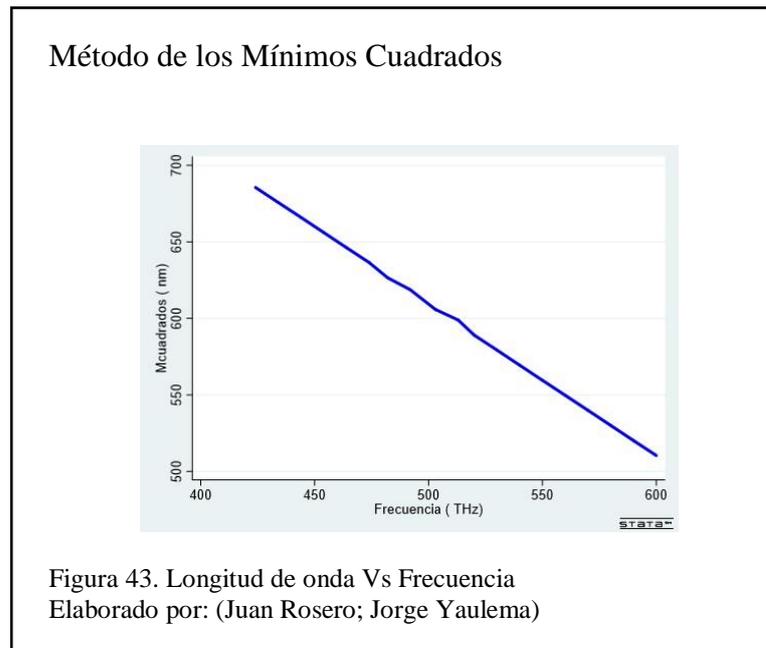
VALORES OBTENIDOS POR EL MÉTODO DE LOS MÍNIMOS CUADRADOS	
$\sum x_i$	2.69E+15
$\sum y_i$	2.86E-06
N	5
$\sum x_i y_i$	1.50E+09
$\sum x_i^2$	1.48E+30
a_0	1.10E-06
a_1	-9.84E-22

Nota: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

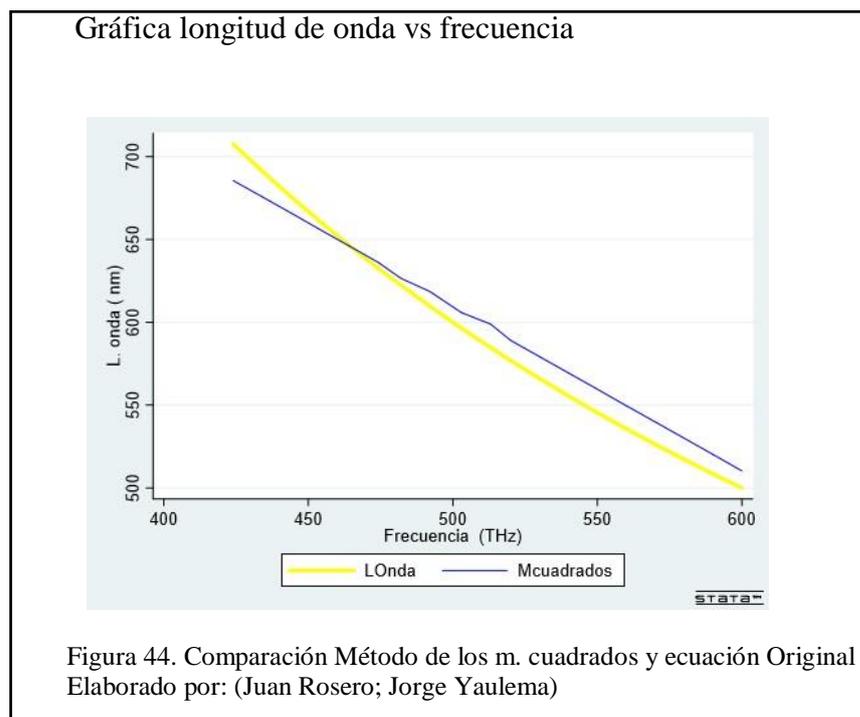
Remplazando estos datos en la ecuación se obtiene.

$$\lambda = 1.10E-06 - 9.75E-22*f$$

Se reemplazó esta ecuación con los valores de frecuencia se obtiene la siguiente gráfica como muestra la Figura 43



Al comparar las gráficas obtenidas en la Figura 42 y Figura 43 se pueden apreciar que estas no siguen un mismo camino, por lo que se puede deducir que este método no es el que mejor se aproxima como se muestra en la Figura 44.



4.1.2 Método de interpolación de Newton

Este método al igual que los mínimos cuadrados, permite generar una ecuación que satisfaga a el sistema, para ello se utilizó la siguiente ecuación

$$\lambda = b_0 + b_1(f - f_0) + b_2(f - f_0)(f - f_1) + b_3(f - f_0)(f - f_1)(f - f_2) + b_4(f - f_0)(f - f_1)(f - f_2)(f - f_3) + b_5(f - f_0)(f - f_1)(f - f_2)(f - f_3)(f - f_4)$$

Para obtener los valores del índice se utilizó las fórmulas de interpolación y se obtuvo los siguientes datos representados en la tabla 10.

Tabla 10.
Cálculos de Interpolación de Newton

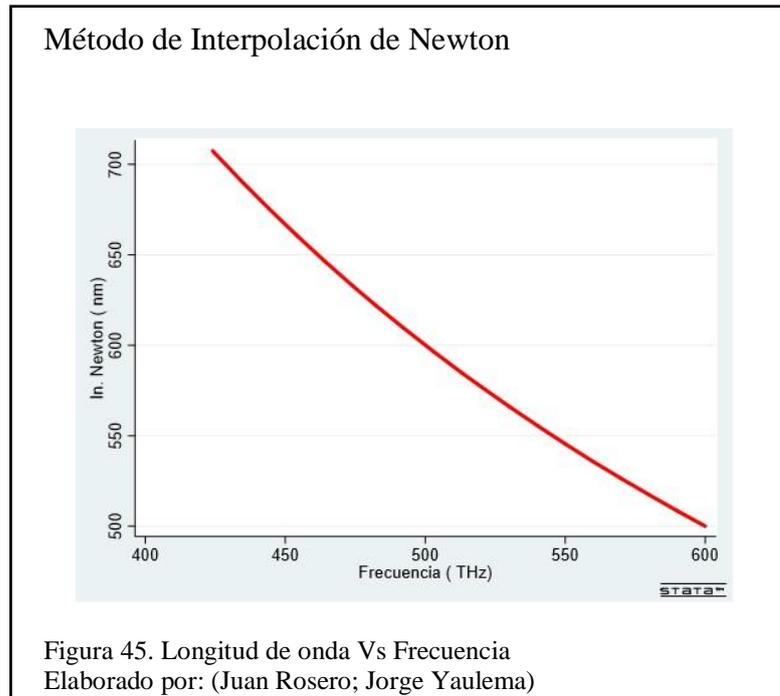
I	X	Y	PRIMERO	SEGUNDO	TERCERO	CUARTO	QUINTO
0	7.13E+14	4.21E-07	-6.63E-22	1.17E-36	-2.32E-51	4.73E-66	-1.10E-80
1	6.35E+14	4.73E-07	-8.38E-22	1.66E-36	-3.37E-51	7.82E-66	
2	5.64E+14	5.32E-07	-1.05E-21	2.14E-36	-4.96E-51		
3	5.06E+14	5.93E-07	-1.21E-21	2.80E-36			
4	4.92E+14	6.10E-07	-1.42E-21				
5	4.31E+14	6.96E-07					

Nota: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

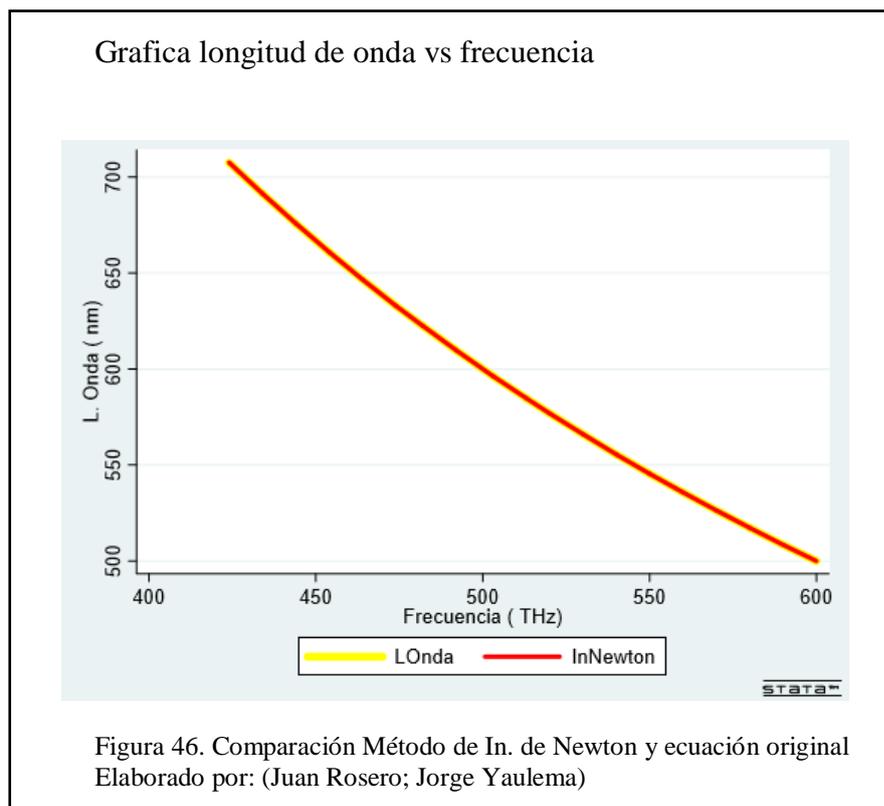
Remplazando estos datos en la ecuación anterior se tiene:

$$\begin{aligned} \lambda = & 4.21E - 07 - 6.63E - 22(f - 7.13E + 14) + 1.17E - 36(f - 7.13E + 14)(f - 6.35E + 14) \\ & - 2.32E - 51(f - 7.13E + 14)(f - 6.35E + 14)(f - 5.64E + 14) + 4.73E \\ & - 66(f - 7.13E + 14)(f - 6.35E + 14)(f - 5.64E + 14)(f - 5.06E + 14) \\ & - 1.10E \\ & - 80(f - 7.13E + 14)(f - 6.35E + 14)(f - 5.64E + 14)(f - 5.06E + 14)(f \\ & - 4.92E + 14) \end{aligned}$$

Se reemplazó los datos en la ecuación obtenida y tenemos la siguiente gráfica como muestra la Figura 45.



Al comparar las gráficas obtenidas en la Figura 42 y la Figura 45 se obtiene la gráfica que se muestra en la Figura 46, como se puede apreciar las curvas siguen de mejor manera la original, por lo que se deduce que es la que mejor se aproxima al método y se va a calcular el error de ambos casos.



4.1.3 Cálculo del error

Para analizar el error que se generó al utilizar cada método se utilizó la ecuación

$$Error = \frac{\lambda_{teorico} - \lambda_{ajuste}}{\lambda_{teorico}} * 100$$

Esta ecuación será aplicada para los valores obtenidos con las ecuaciones.

Tabla 11.
Cálculos del error

VALORES OBTENIDOS			ANALISIS DE ERROR	
L. DE ONDA	M. CUADRADOS	INTERPOLACION	ERROR M.C. %	ERROR IN. %
3.90E-07	3.44E-07	3.90E-07	11.83	0.14
3.95E-07	3.54E-07	3.95E-07	10.48	0.09
4.01E-07	3.64E-07	4.00E-07	9.20	0.06
4.06E-07	3.74E-07	4.06E-07	7.99	0.03
4.12E-07	3.83E-07	4.11E-07	6.84	0.01
4.17E-07	3.93E-07	4.17E-07	5.76	0.00
4.23E-07	4.03E-07	4.23E-07	4.75	0.00
4.29E-07	4.13E-07	4.29E-07	3.80	0.00
4.35E-07	4.23E-07	4.35E-07	2.91	0.01
4.42E-07	4.33E-07	4.42E-07	2.09	0.01
4.48E-07	4.42E-07	4.48E-07	1.34	0.00
4.55E-07	4.52E-07	4.55E-07	0.65	0.00
4.69E-07	4.71E-07	4.69E-07	0.47	0.00
4.76E-07	4.81E-07	4.76E-07	0.97	0.00
4.84E-07	4.91E-07	4.84E-07	1.40	0.00
4.92E-07	5.00E-07	4.92E-07	1.77	0.00
5.00E-07	5.10E-07	5.00E-07	2.07	0.00
5.08E-07	5.20E-07	5.08E-07	2.30	0.00
5.17E-07	5.30E-07	5.17E-07	2.47	0.00
5.26E-07	5.40E-07	5.26E-07	2.58	0.00
5.36E-07	5.50E-07	5.36E-07	2.61	0.00
5.45E-07	5.60E-07	5.45E-07	2.59	0.00
5.56E-07	5.69E-07	5.56E-07	2.49	0.00
5.66E-07	5.79E-07	5.66E-07	2.33	0.00
5.77E-07	5.89E-07	5.77E-07	2.11	0.00
5.88E-07	5.99E-07	5.85E-07	1.82	0.00
5.96E-07	6.06E-07	5.96E-07	1.58	0.00
6.12E-07	6.19E-07	6.10E-07	1.04	0.00
6.22E-07	6.26E-07	6.22E-07	0.66	0.00
6.36E-07	6.36E-07	6.33E-07	0.12	0.00

6.49E-07	6.46E-07	6.47E-07	0.49	0.00
6.64E-07	6.56E-07	6.61E-07	1.16	0.00
6.79E-07	6.66E-07	6.76E-07	1.89	0.00
6.94E-07	6.76E-07	6.91E-07	2.70	0.00
7.11E-07	6.86E-07	7.08E-07	3.56	0.00
7.28E-07	6.95E-07	7.25E-07	4.50	0.00
7.46E-07	7.05E-07	7.42E-07	5.50	0.01
7.65E-07	7.15E-07	7.61E-07	6.56	0.02
7.81E-07	7.23E-07	7.81E-07	7.46	0.03

Nota: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

4.2 Análisis de Resultados

4.2.1 Análisis de la longitud Onda con los métodos de ajuste utilizados

Para el análisis de resultados se utilizó el cálculo de la varianza representado en la tabla 12

Tabla 12. Análisis de Varianza Longitudes de onda

Parámetro	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Media cuadrada	Valor F	Pr(>F)
Métodos	2	1.91E-15	9.57E-16	0.0735	0.9292
Residuos	117	1.52E-12	1.30E-14		

Nota: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Analizando la anova (Analysis of variance) se observó que el valor de la probabilidad es de 0.9292, esto quiere decir que no existe una diferencia significativa entre los métodos utilizados, entonces se puede utilizar el método de los mínimos cuadrados o el de interpolación de newton, para respaldar los resultados de este análisis estadístico, se utilizó la prueba de Duncan, como se muestra en la tabla 13.

Tabla 13.
Análisis de métodos estadísticos

Método	Media	Rango
M. Teórico	5.43E-07	a
M. Interpolación	5.43E-07	a
M. Mínimos Cuadrados	5.35E-07	a
Letras iguales no difieren significativamente con $\alpha = 0.05$		

Nota: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Al utilizar la prueba de Duncan se ratificó los resultados obtenidos en el análisis con la varianza por lo cual estadísticamente al comparar las longitudes de onda cualquier método es conveniente para ser representado en el HMI, pero al ser representados gráficamente se pudo observar que un método tiene un error menor, mediante el cálculo del error se procedió a determinar el mejor método.

4.2.2 Análisis del Error

Para el análisis del error se utilizó el análisis de la varianza representado en la tabla 14

Tabla 14.
Análisis de la varianza del error de los métodos estadísticos

Parámetro	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Media cuadrada	Valor F	Pr(>F)	Significancia
Métodos	1	219.52	219.52	52.14	2.99E-10	***
Residuos	78	328.39	4.21			

Significancia: 0: ***; 0.001: **; 0.01: *

Nota: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Analizando la anova se observó que el valor de la probabilidad es de 2.99E-10, existe una diferencia significativa entre los métodos utilizados y se necesita determinar cuál va a ser utilizado para ello se muestra la tabla 15.

Tabla 15.
Análisis estadístico del error

Método	Media	Rango
Error M. Mínimos Cuadrados	3.32325	A
Error M. Interpolación	0.01025	B

Letras iguales no difieren significativamente con $\alpha = 0.05$

Nota: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Se realizó una prueba de Duncan para determinar el mejor el método mediante el análisis del error, interpretando los resultados obtenidos en las tabla 15, se decidió utilizar el método de interpolación ya que este método tiene una media menor que el de los mínimos cuadrados y al ser un análisis del error entre los métodos es recomendable utilizar el que proporcione menor error

CONCLUSIONES

El mecanismo implementado para generar longitudes de onda UV-vis presenta un rediseño en la parte eléctrica y electrónica reemplazando así el control de motores encendido de lámpara y las protecciones eléctricas se pasó de usar micros controladores a un PLC, el cual permite facilidad de programación, posibilidad de manejar varios actuadores con un solo autómatas, como la conexión de un en HMI.

Se determinó que los rangos de operación de la lámpara UV-vis tienen que estar entre 500 y 700 nm, los cuales son utilizados en los estudios de fotodegradación, catálisis y descontaminación de aguas con surfactantes, esta máquina no va a generar longitudes de onda mayores a este rango, puesto que estos son los valores necesarios y comprobados para la descontaminación de aguas con surfactantes y fenoles.

Se modificó el sistema mecánico del monocromador y rendija selectora para estabilizar los valores de longitud de onda y poder visualizar y modificar con facilidad para el usuario

Para medir la longitud de onda se utilizó fórmulas estadísticas que permitieron generar una función que satisface al sistema, de las dos opciones la interpolación de Newton disminuye el error al 0,05% y la de mínimos cuadrados es 3,32% por lo que se optó por la primera. Con los valores de longitud de onda especificados para descontaminar aguas residuales se comprueba la efectividad del sistema.

El HMI desarrollado permite visualizar la longitud de onda generada además de navegadores para variarla, y el control de motores lo que facilita al operario interactuar con el equipo, mejorando así el sistema original encontrado variando sus actuadores y sensores para obtener las longitudes de onda de 500 nm a 700 nm.

El sistema electrónico hace un énfasis en la protección de la lámpara pues es un elemento de naturaleza endeble, en caso de aumentar los valores de corriente y voltaje de los establecidos se puede dar un efecto flyback en la lámpara terminando así con su vida útil.

RECOMENDACIONES

Al momento de realizar ingeniería inversa y desmantelar el equipo original se recomienda realizar una caracterización de cada uno de sus elementos para conocer su función, por ese motivo se realizaron diagramas mecánicos y electrónicos para alimentar con los voltajes e intensidades adecuadas.

Se recomienda el uso del prototipo en prácticas de física moderna que estudia campos como la óptica y ondas electromagnéticas en la Universidad Politécnica Salesiana.

Este proyecto puede ser desarrollado con mayor profundidad en conjunto con estudiantes de ingeniería ambiental, para llevarlo a una escala mayor para descontaminación de aguas residuales puesto que se ha probado su efectividad al momento de variación de rangos en frecuencias.

Se recomienda que a partir de la base dejada en este trabajo se puedan incurrir en campos más allá de la electrónica como son ámbitos de la salud o medio ambiente, para implementarlos a gran escala y así solucionando problemas que aquejan a la sociedad.

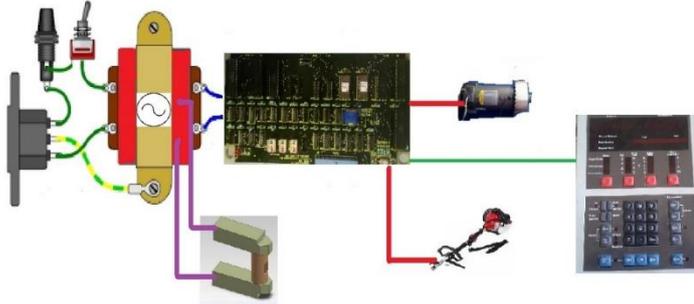
REFERENCIAS

- aulaalic.es*. (s.f.). Obtenido de *aulaalic.es*.
- Cordoba, U. N. (11 de 08 de 2009). *efn.uncor*. Obtenido de Departamento de electrica:
http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electro/cat/eye_archivos/apuntes/a_practico/CAP%209%20Pco.pdf
- Elmer, P. (01 de 09 de 2004). *Perkin Elmer*. Obtenido de Lambda 650, 800, and 950, Spectrophotometers: https://www.perkinelmer.com/lab-solutions/resources/docs/BRO_Lambda950850650Americas.pdf
- fisica1104.wordpress.com*. (s.f.).
- Garcés, L., Mejia, E., & Santamaría, J. (10 de 08 de 2011). *Revista*. Obtenido de Universidad Lasallista:
<http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/Revista/Vol1n1/083-92%20La%20fotocat%20C3%A1lisis%20como%20alternativa%20para%20el%20tratamiento.pdf>
- Granada, U. d. (10 de 05 de 2015). *Espectroscopia*. Obtenido de Espectroscopia Ultravioleta visible: <http://www.ugr.es/~quioired/espec/uv.htm>
- Harris, D. (2006). *Análisis Químico Cuantitativo*. New York: Reverte.
<http://eliizab.blogspot.com/>. (s.f.). Obtenido de <http://eliizab.blogspot.com/>.
- <http://www.ugr.es/~quioired/espec/uv.htm>. (1 de Enero de 2002).
<http://www.ugr.es/~quioired/espec/uv.htm>. Obtenido de <http://www.ugr.es/~quioired/espec/uv.htm>:
<http://www.ugr.es/~quioired/espec/uv.htm>
- <http://www.wotol.com>. (s.f.). Obtenido de <http://www.wotol.com>
<http://www.wotol.com>). (s.f.). Obtenido de <http://www.wotol.com>).
- Juan Rosero; Jorge Yaulema. (s.f.).
- Ortiz, J. G. (11 de Febrero de 2016). *riunet.upv.es*. Obtenido de *riunet.upv.es*:
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/35725/DEPURACIÓN%20DE%20AGUAS%20CONTAMINADAS%20CON%20PLAGUICIDAS%20EMPLEADOS%20EN%20CULTIVOS%20DE%20CAÑA%20DE%20AZÚCAR%20EN%20COLOMBIA.pdf?sequence=1>
- Paullan, D. G. (2015). *Degradación del fenol presnete en las descargas de aguas residuos industriales shushufindi mediante fotooxidacion catalitica homogenea y heterogenea descontaminacion de descargas*. Riobamba: ESPOCH.
- Perez, D., & Rengifo, J. (25 de 03 de 2011). *villamor*. Obtenido de espejosplanosyesfericos:
<http://villamorespejosplanosyesfericos.blogspot.com/>

- Peri, C. (11 de 06 de 2015). *Instituto Argentino de Radioastronomía*. Obtenido de iar.unlp.edu.ar: <http://www.iar.unlp.edu.ar/divulgacion/art-difu-21.htm>
- Requena, A., & Zuñiga, J. (2004). *Espectroscopía*. Murcia: Pearson.
- Rioja, Universidad de. (02 de 03 de 2004). *Instrumentos para la medida de color*. Obtenido de Espectrofotometro: http://www.unirioja.es/cu/fede/color_de_vino/capitulo05.pdf
- RockwellAutomation. (27 de 02 de 2014). *rockwellautomation*. Obtenido de literature/documents: http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/br/2080-br001_-es-p.pdf
- rockwellautomation.com* . (s.f.). Obtenido de rockwellautomation.com .
- Rosero, J., & Yaulema, J. (s.f.).
- Skoog, D. A. (2008). *Principios Analisis Instrumental*. Mexico: CENGAGE.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2008). *Principios de analisis Instrumental*. Mexico: CENGAGE.
- Todorobot. (15 de 02 de 2016). *todorobot*. Obtenido de motores: <http://www.todorobot.com.ar/tutorial-sobre-motores-paso-a-paso-stepper-motors/>
- Viticodoc. (29 de 07 de 2010). *Scribid*. Obtenido de user/2168362: <http://es.scribd.com/doc/35067879/FISICA-Y-OPTICA#scribd>
- Zuñiga, A. R. (2004). Espectroscopía . En A. R. Zuñiga, *Espectroscopía* (pág. 39). Murcia: Pearson.

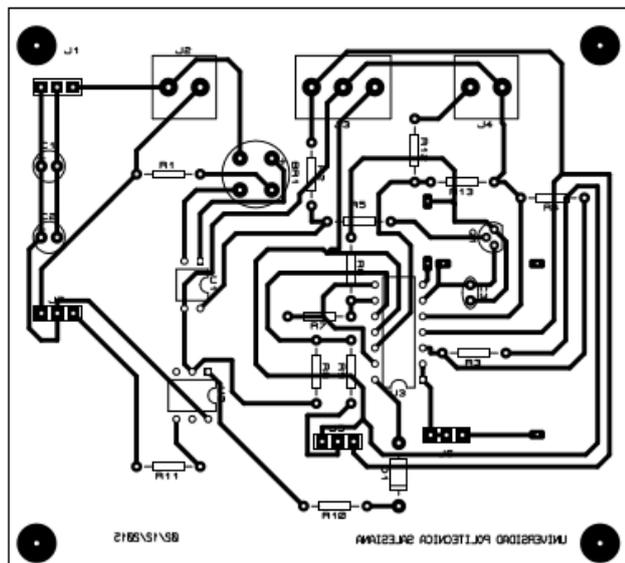
ANEXOS

Mapa eléctrico no real del equipo original Perkin Elmer 781



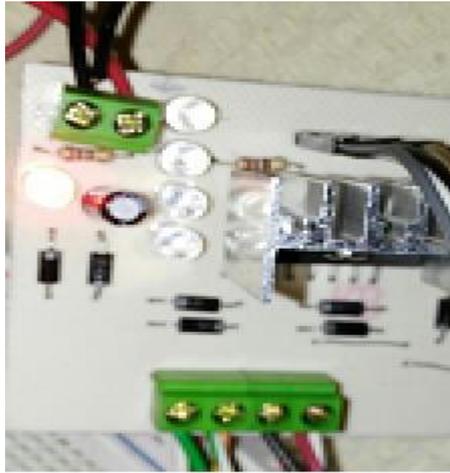
Anexo 1. Diagrama de conexiones del equipo original
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

PCB Motor de Filtro de Choqueo



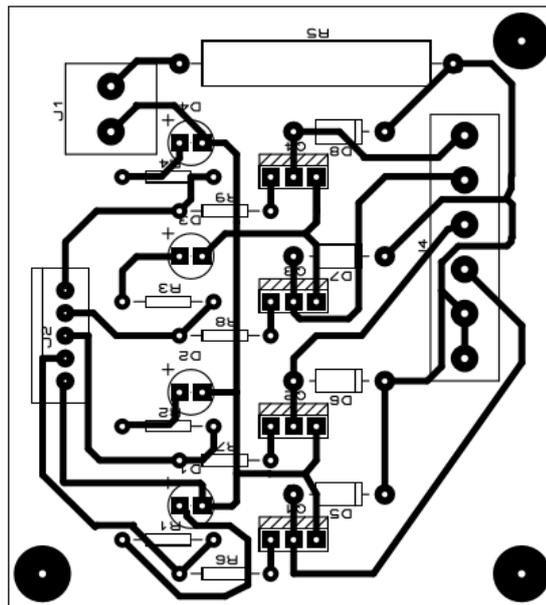
Anexo 2. Pistas del diseño del Motor de Choqueo
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Circuito Real del Motor del monocromador



Anexo 5. Circuito de control del Motor del Monocromador
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

PCB Motor de la rendija selectora



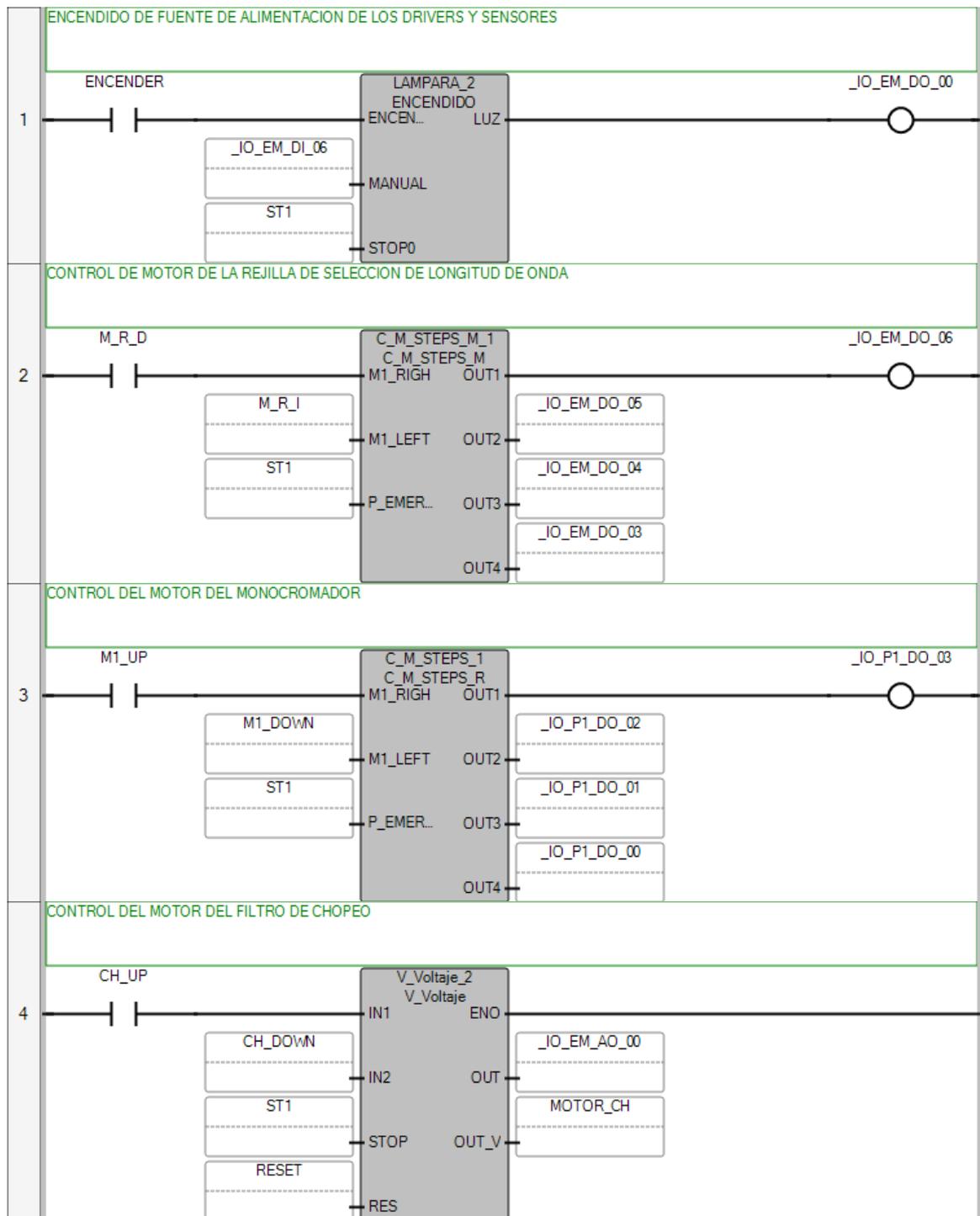
Anexo 6. Diseño de pistas de la rendija selectora
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

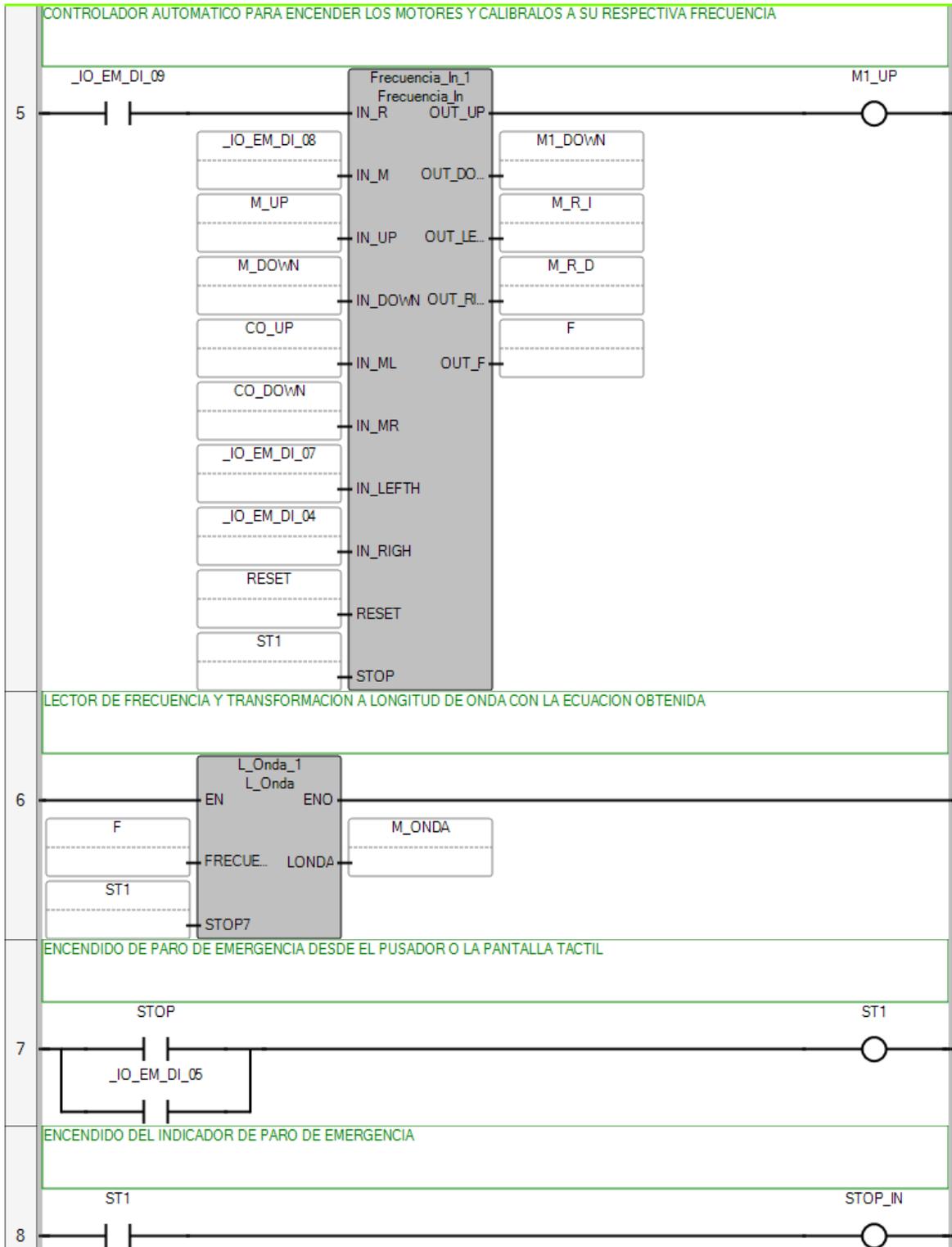
Circuito Real del Motor de Rendija Selectora



Anexo 7. Circuito Motor de la rendija selectora
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

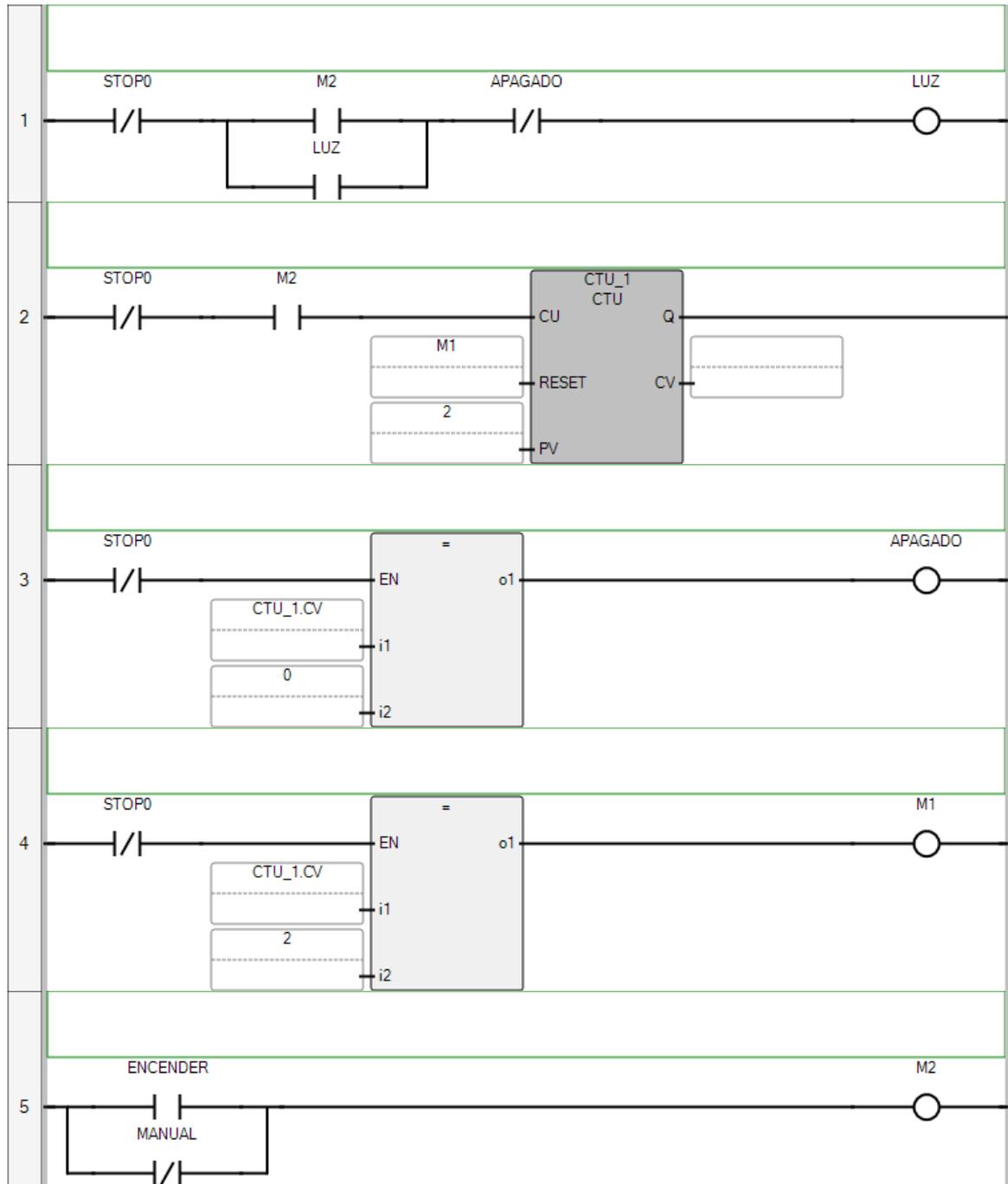
Anexo 8. Programa Principal





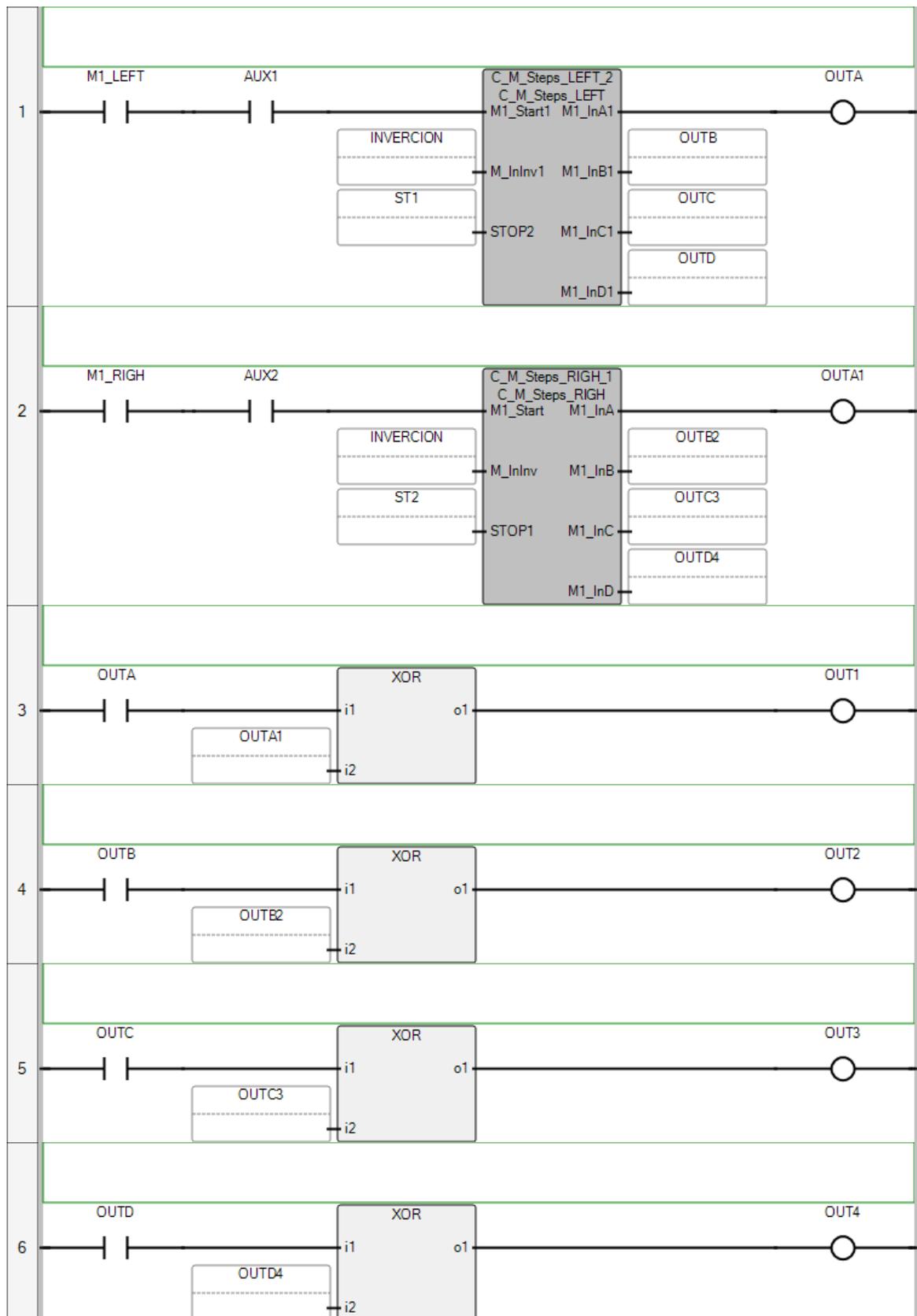
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

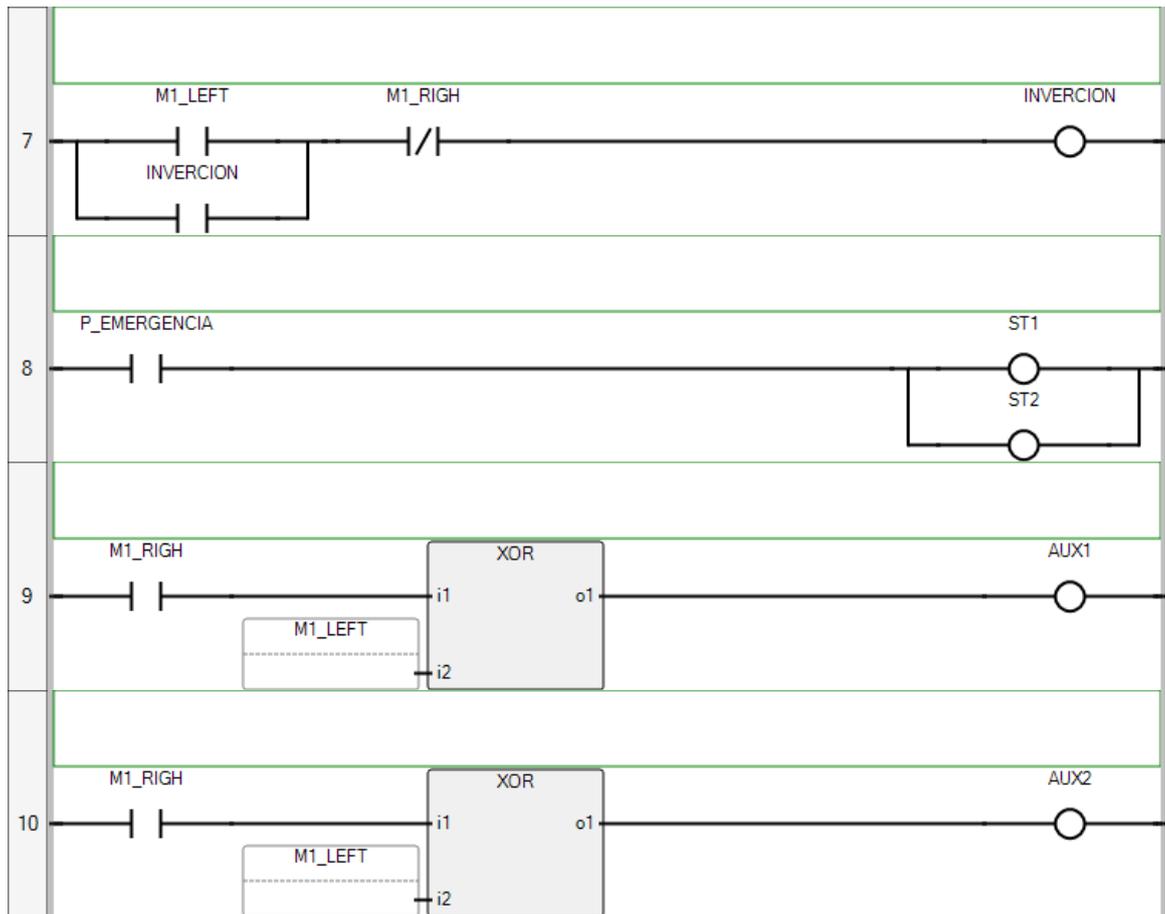
Anexo 9. Subrutina Encendido



Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

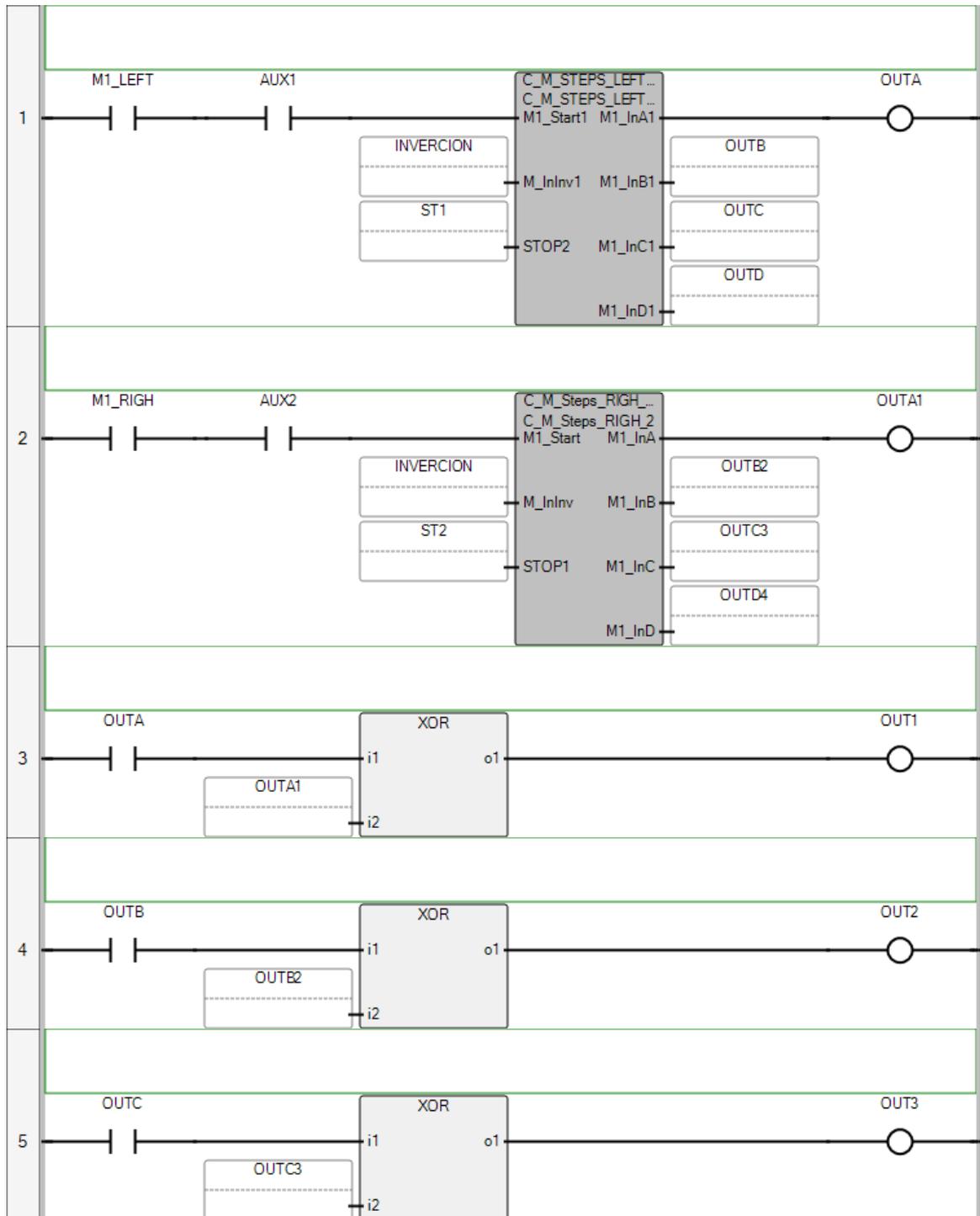
Anexo 10. C_M_STEPS_R

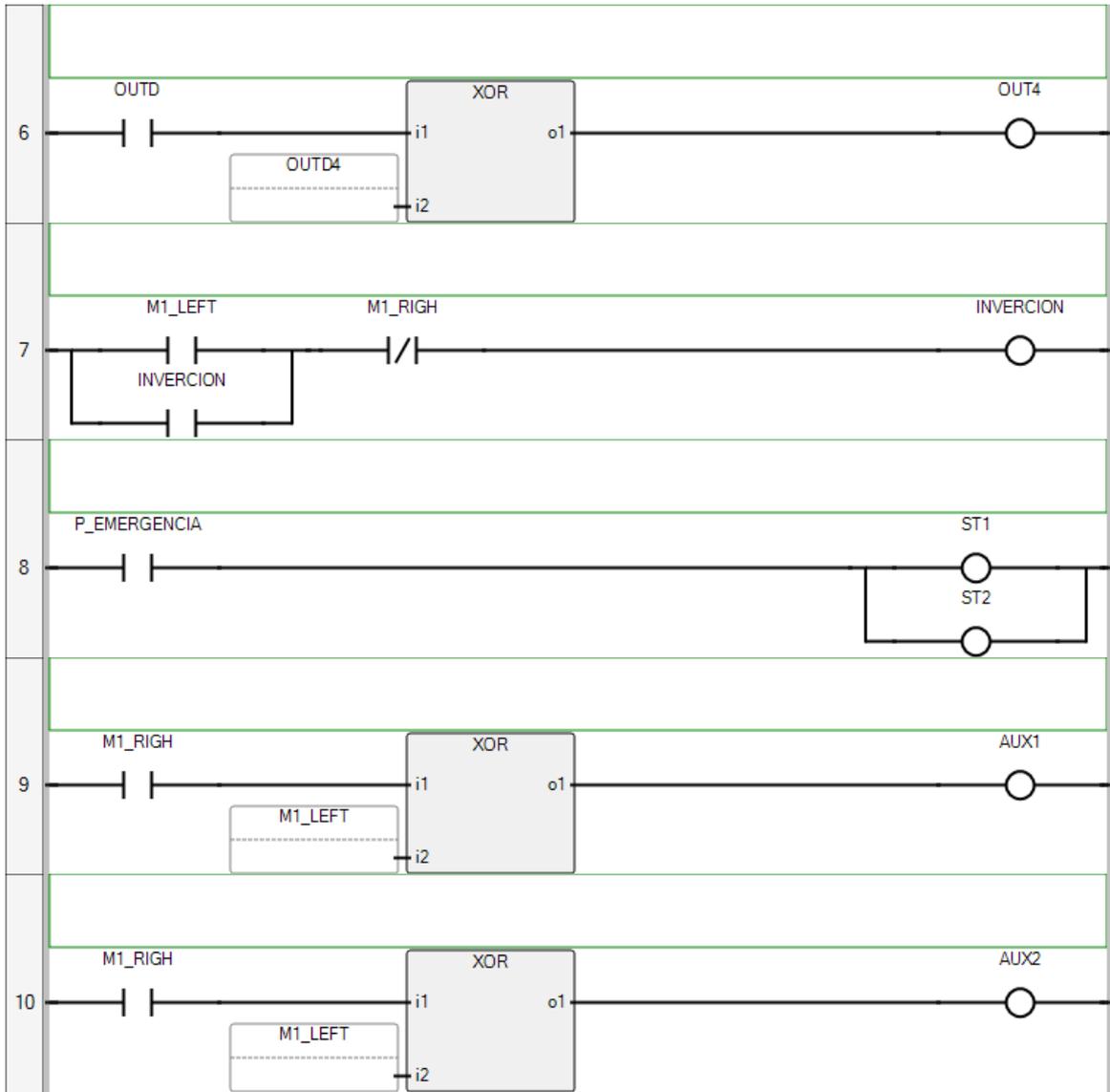




Nota: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

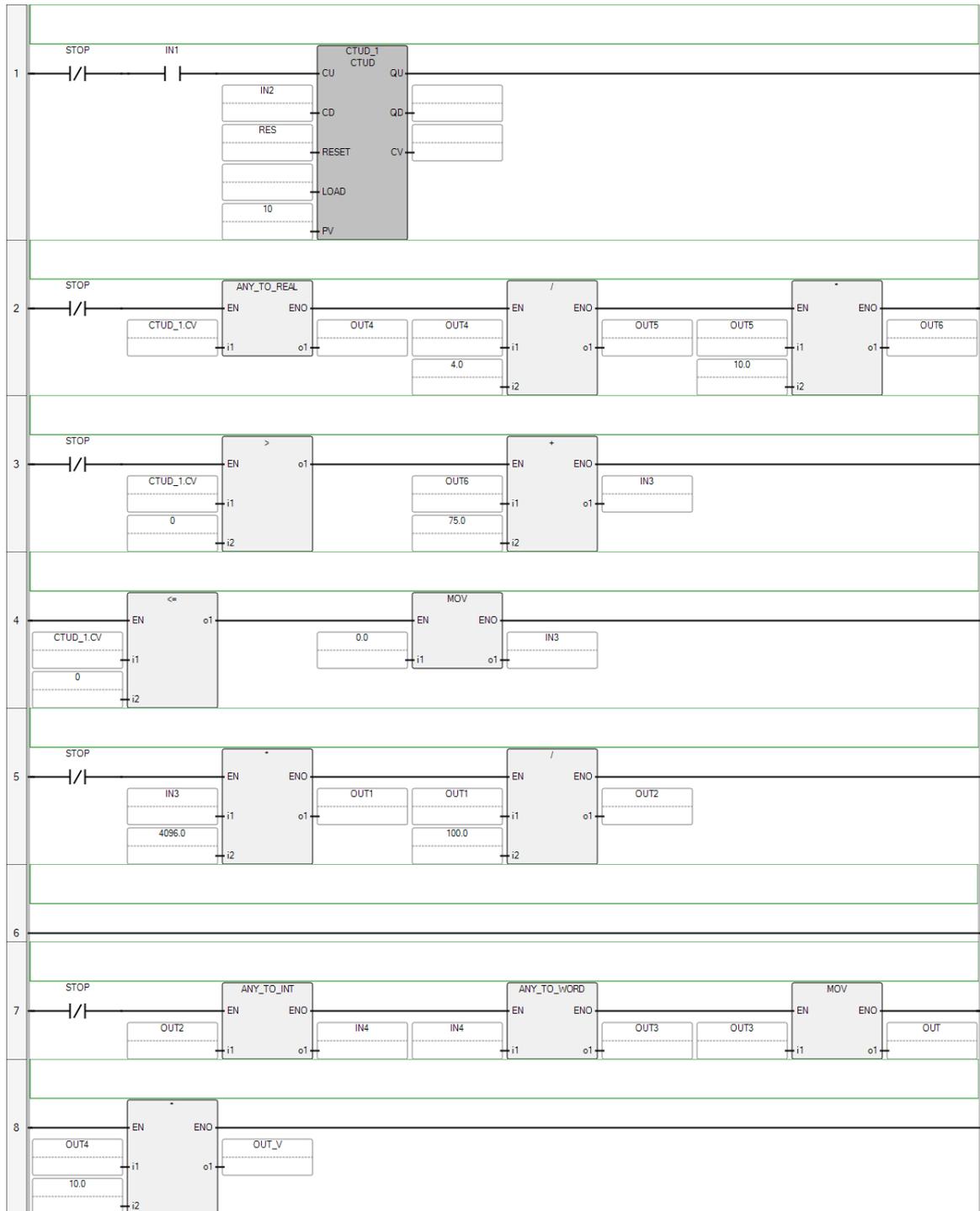
Anexo 11. C_M_STEPS_M





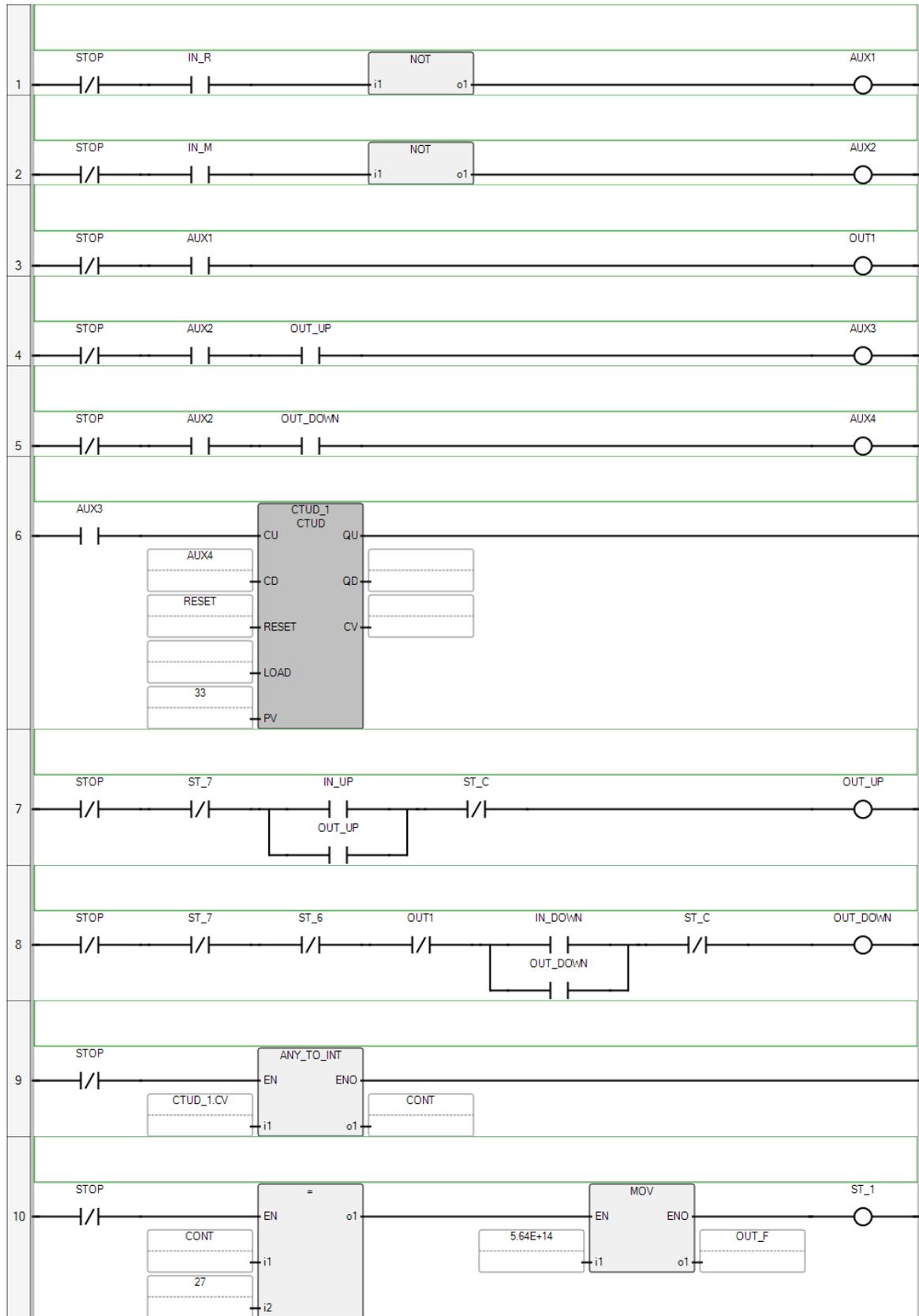
Nota: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

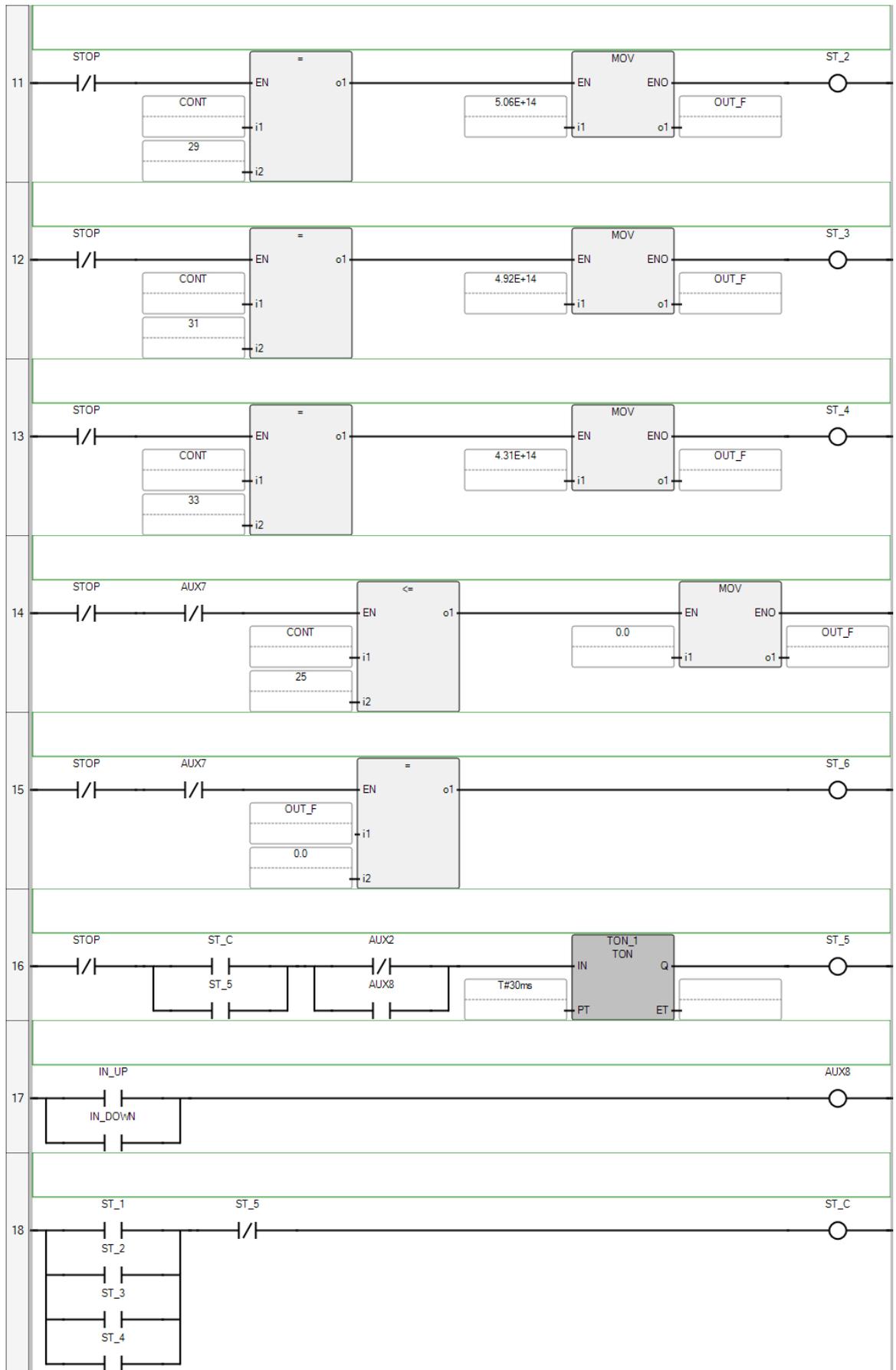
Anexo 12. V_Voltaje

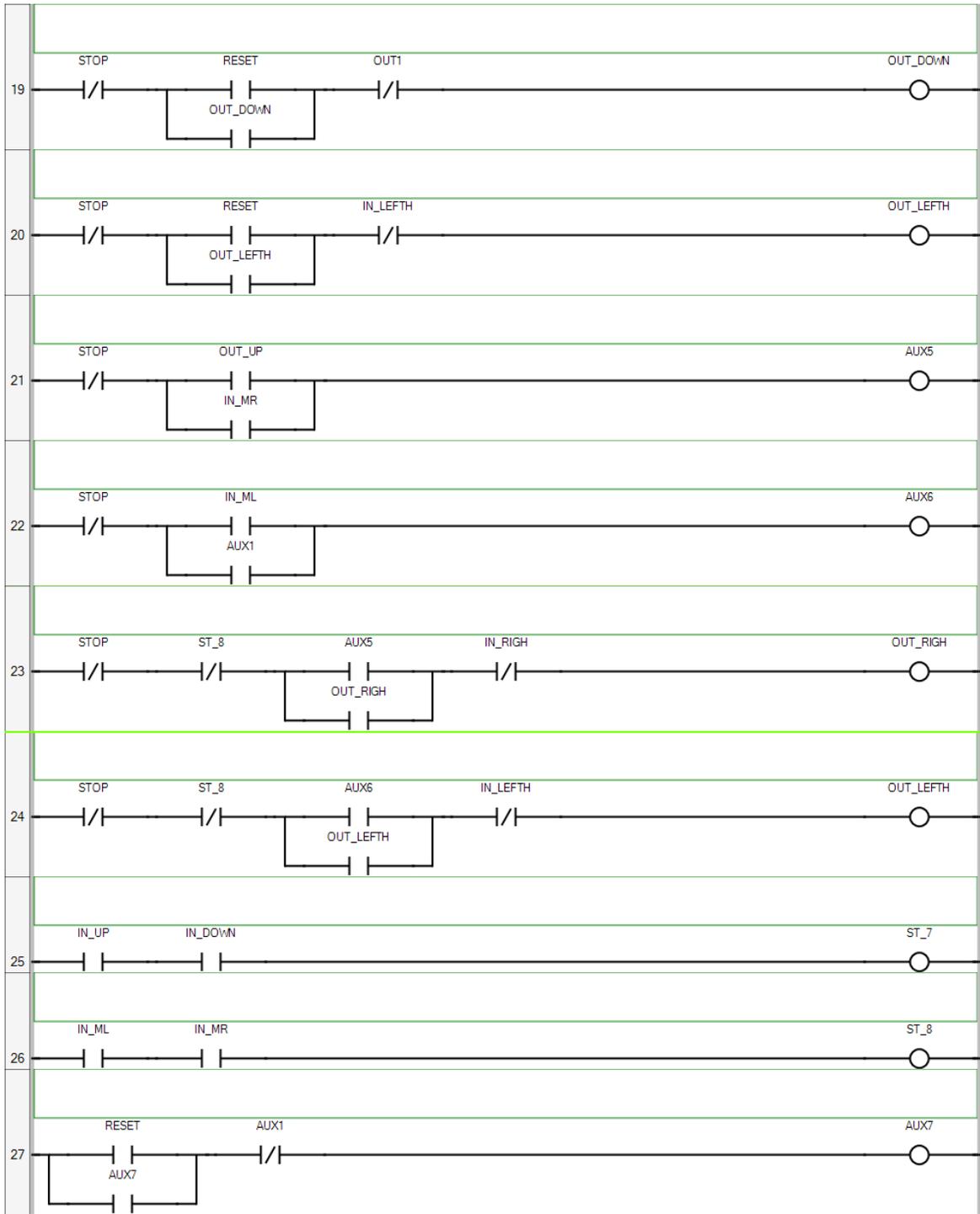


Nota: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Anexo 13. Frecuencia_In

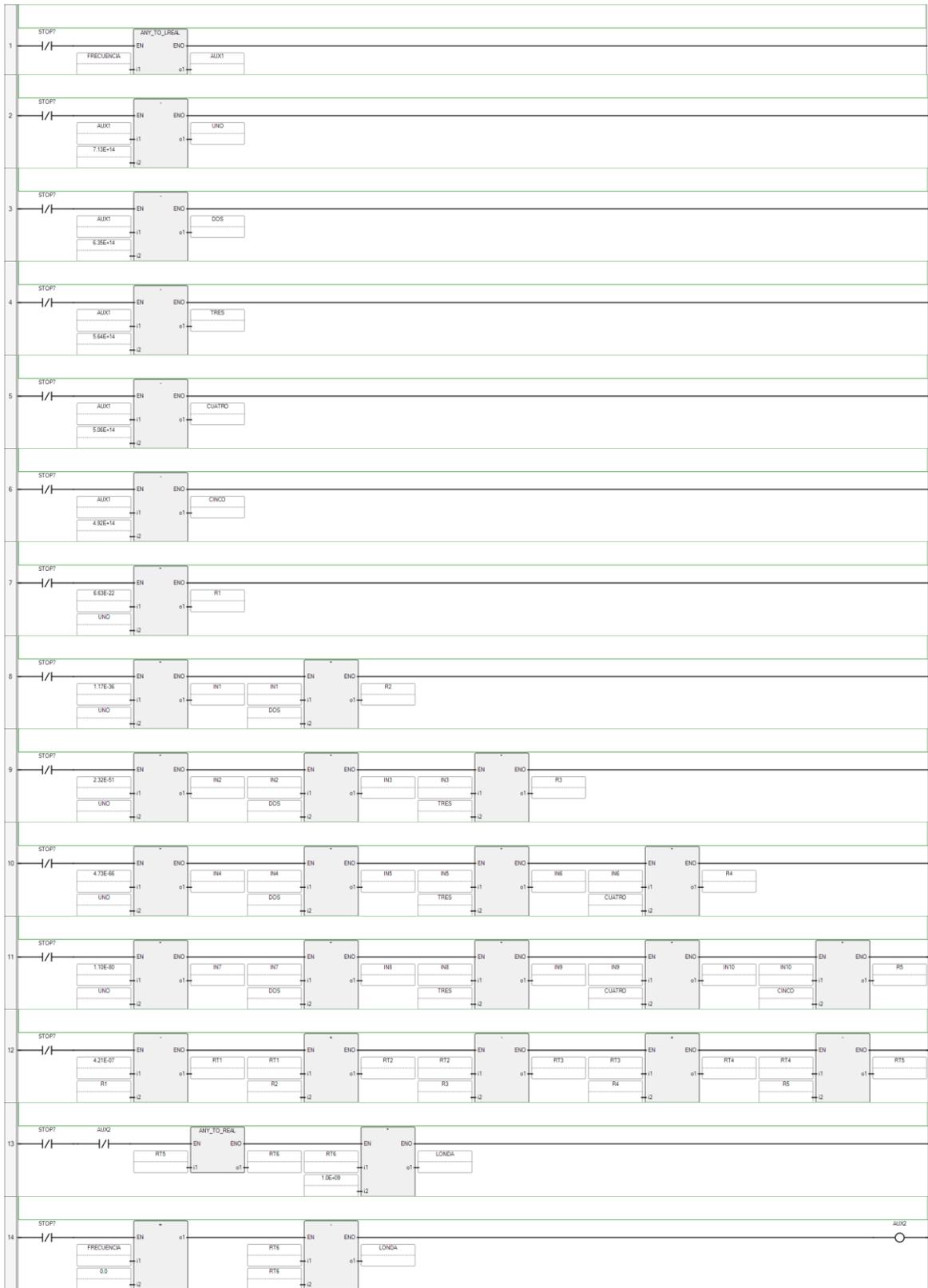






Nota: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Anexo 14. L_Onda



Nota: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Anexo 15. Tabla de variables de programación

VARIABLE	TIPO	DIRECCION EN PLC
SUBROUTINA ENCENDIDO		
ENCENDER	BOOL	VARINPUT
MANUAL	BOOL	VARINPUT
STOP0	BOOL	VARINPUT
LUZ	BOOL	VAROUTPUT
APAGADO	BOOL	VAR
CTU_1	CTU	VAR
M1	BOOL	VAR
M2	BOOL	VAR
SUBROUTINA C_M_STEPS_R		
M1_RIGH	BOOL	VARINPUT
M1_LEFTH	BOOL	VARINPUT
P_EMERGENCIA	BOOL	VARINPUT
OUT1	BOOL	VAROUTPUT
OUT2	BOOL	VAROUTPUT
OUT3	BOOL	VAROUTPUT
OUT4	BOOL	VAROUTPUT
INVERCION	BOOL	VAR
OUTA	BOOL	VAR
OUTB	BOOL	VAR
OUTC	BOOL	VAR
OUTD	BOOL	VAR
OUTA1	BOOL	VAR
OUTB2	BOOL	VAR
OUTC3	BOOL	VAR
OUTD4	BOOL	VAR
ST1	BOOL	VAR
ST2	BOOL	VAR
AUX1	BOOL	VAR
AUX2	BOOL	VAR
C_M_Steps_LEFT_2	C_M_Steps_LEFT	VAR
C_M_Steps_RIGH_1	C_M_Steps_RIGH	VAR
SUBROUTINA C_M_STEPS_M		
M1_RIGH	BOOL	VARINPUT
M1_LEFTH	BOOL	VARINPUT
P_EMERGENCIA	BOOL	VARINPUT
OUT1	BOOL	VAROUTPUT
OUT2	BOOL	VAROUTPUT
OUT3	BOOL	VAROUTPUT
OUT4	BOOL	VAROUTPUT
INVERCION	BOOL	VAR
OUTA	BOOL	VAR
OUTB	BOOL	VAR
OUTC	BOOL	VAR
OUTD	BOOL	VAR
OUTA1	BOOL	VAR
OUTB2	BOOL	VAR
OUTC3	BOOL	VAR

OUTD4	BOOL	VAR
ST1	BOOL	VAR
ST2	BOOL	VAR
AUX1	BOOL	VAR
AUX2	BOOL	VAR
C_M_Steps_LEFT_2_1	C_M_Steps_LEFTH_2	VAR
C_M_Steps_RIGH_2_1	C_M_Steps_RIGH_2	VAR
SUBROUTINA V_VOLTAJE		
IN1	BOOL	VARINPUT
IN2	BOOL	VARINPUT
IN3	REAL	VAR
IN4	INT	VAR
STOP	BOOL	VARINPUT
RES	BOOL	VARINPUT
OUT	WORD	VAROUTPUT
OUT_V	REAL	VAROUTPUT
OUT1	REAL	VAR
OUT2	REAL	VAR
OUT3	WORD	VAR
OUT4	REAL	VAR
OUT5	REAL	VAR
OUT6	REAL	VAR
CTDU_1	CTDU	VAR
SUBROUTINA L_ONDA		
FRECUENCIA	REAL	VARINPUT
LONDA	REAL	VAROUTPUT
STOP7	BOOL	VARINPUT
IN1	LREAL	VAR
IN2	LREAL	VAR
IN3	LREAL	VAR
IN4	LREAL	VAR
IN5	LREAL	VAR
IN6	LREAL	VAR
IN7	LREAL	VAR
IN8	LREAL	VAR
IN9	LREAL	VAR
IN10	LREAL	VAR
UNO	LREAL	VAR
DOS	LREAL	VAR
TRES	LREAL	VAR
CUATRO	LREAL	VAR
CINCO	LREAL	VAR
R1	LREAL	VAR
R2	LREAL	VAR
R3	LREAL	VAR
R4	LREAL	VAR
R5	LREAL	VAR
RT1	LREAL	VAR
RT2	LREAL	VAR
RT3	LREAL	VAR
RT4	LREAL	VAR
RT5	LREAL	VAR

RT6	REAL	VAR
AUX1	LREAL	VAR
AUX2	BOOL	VAR
SUBROUTINA Frecuencia_In		
AUX1	BOOL	VAR
AUX2	BOOL	VAR
AUX3	BOOL	VAR
AUX4	BOOL	VAR
AUX5	BOOL	VAR
AUX6	BOOL	VAR
AUX7	BOOL	VAR
AUX8	BOOL	VAR
CONT	INT	VAR
CTDU_1	CTUD	VAR
IN_DOWN	BOOL	VARINPUT
IN_LEFTH	BOOL	VARINPUT
IN_M	BOOL	VARINPUT
IN_ML	BOOL	VARINPUT
IN_MR	BOOL	VARINPUT
IN_R	BOOL	VARINPUT
IN_RIGH	BOOL	VARINPUT
IN_UP	BOOL	VARINPUT
OUT1	BOOL	VAR
OUT_DOWN	BOOL	VAROUTPUT
OUT_F	REAL	VAROUTPUT
OUT_LEFTH	BOOL	VAROUTPUT
OUT_RIGH	BOOL	VAROUTPUT
OUT_UP	BOOL	VAROUTPUT
RESET	BOOL	VARINPUT
STOP	BOOL	VARINPUT
ST_1	BOOL	VAR
ST_2	BOOL	VAR
ST_3	BOOL	VAR
ST_4	BOOL	VAR
ST_5	BOOL	VAR
ST_6	BOOL	VAR
ST_7	BOOL	VAR
ST_8	BOOL	VAR
ST_C	BOOL	VAR
TON_1	TON	VAR
PANTALLA TOUCH		
ENCENDER	BOOLEAN	ENCENDER
STOP_IN	BOOLEAN	STOP_IN
M_UP	BOOLEAN	M_UP
CO_UP	BOOLEAN	CO_UP
CO_DOWN	BOOLEAN	CO_DOWN
M_DOWN	BOOLEAN	M_DOWN
STOP	BOOLEAN	STOP
CH_UP	BOOLEAN	CH_UP
CH_DOWN	BOOLEAN	CH_DOWN
ON	BOOLEAN	_IO_EM_DO_00
S_STOP1	BOOLEAN	S_STOP1
S_STOP2	BOOLEAN	S_STOP2

MOTOR_CH	REAL	MOTOR_CH
L.ONDA	REAL	M_ONDA
RESET	BOOLEAN	RESET

Nota: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Interior del prototipo



Anexo 16 Sistema óptico final
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Exterior del Prototipo



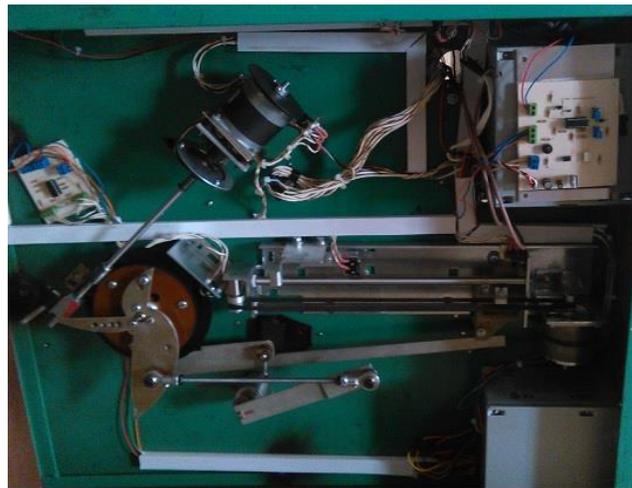
Anexo 17 Visualización del HMI
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Parte frontal del prototipo



Anexo 18 PLC, Botones de encendido y paro de emergencia
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Parte electrónica del Prototipo



Anexo 19 Cableado, fuente de alimentación, drivers y motores
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Parte mecánica del prototipo



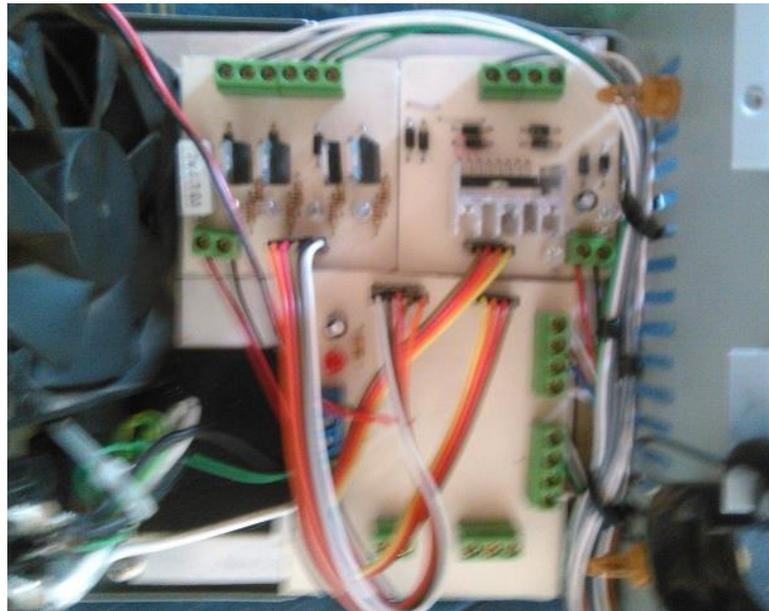
Anexo 20 Sistema mecánico rendija y monocromador
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Parte de alimentación del prototipo



Anexo 21 Fuente de alimentación y drivers de motores
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Acoplamiento de Alimentación y drivers del motor



Anexo 22 Conexión de drivers, alimentación de PLC, y transformador
Elaborado por: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Anexo 23. Calculo de resistencia amplificador no inversor

V _i	V _o	R1	R2	R3	Ganancia
5	10.8039216	5100	10000	3377	2.96078431
4	8.84313725	5100	10000	3377	2.96078431
3	6.88235294	5100	10000	3377	2.96078431
2	4.92156863	5100	10000	3377	2.96078431
1	2.96078431	5100	10000	3377	2.96078431
0	1	5100	10000	3377	2.96078431

Nota: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Anexo 24. Interpolación de Newton

Λ	F	M.G	INTERPOLACION F	ERROR ESTIMADO IN.
6.96E-07	4.31E+14	7.13E+14	6.96E-07	-2.30E-14
3.95E-07	7.59E+14	6.35E+14	3.95E-07	-3.79E-10
4.01E-07	7.49E+14	5.64E+14	4.00E-07	-2.32E-10
4.06E-07	7.39E+14	5.06E+14	4.06E-07	-1.29E-10
4.12E-07	7.29E+14	4.92E+14	4.11E-07	-5.98E-11
4.17E-07	7.19E+14	4.31E+14	4.17E-07	-1.64E-11

Nota: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)

Anexo 25. Mínimos Cuadrados

N°	F	λ	MG	$x_i y_i$	x_i^2	$y = a_0$
1	7.69E+14	3.90E-07	6.88E+14	3.00E+08	4.73E+29	3.44E-07
2	7.59E+14	3.95E-07	5.64E+14	3.00E+08	3.18E+29	3.54E-07
3	7.49E+14	4.01E-07	5.11E+14	3.00E+08	2.61E+29	3.64E-07
4	7.39E+14	4.06E-07	4.92E+14	3.00E+08	2.42E+29	3.74E-07
5	7.29E+14	4.12E-07	4.31E+14	3.00E+08	1.86E+29	3.83E-07

Nota: (Juan Rosero; Jorge Yaulema)