



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MICROSCOPIO ÓTICO
DIGITAL PARA NANOESTRUCTURAS 2D”**

AUTOR: CASTILLO ROJAS, RICARDO DANIEL

DIRECTOR: ING. ESCOBAR CARVAJAL, LUIS FERNANDO

SANGOLQUÍ

2019



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICADO DEL DIRECTOR

Certifico que el trabajo de titulación, *“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MICROSCOPIO ÓPTICO DIGITAL PARA NANOESTRUCTURAS 2D.”* fue realizado por el señor *Castillo Rojas, Ricardo Daniel*, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 1 de agosto del 2019

Una firma manuscrita en tinta azul que parece leerse "Luis Fernando Escobar Carvajal".

Ing. Luis Fernando Escobar Carvajal

C.I. 1002403200

Director del Trabajo de titulación



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, *Castillo Rojas, Ricardo Daniel*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: “*Diseño y construcción de un microscopio óptico digital para nanoestructuras 2D.*” es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 1 de agosto del 2019

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir "Ricardo Daniel Castillo Rojas".

Ricardo Daniel Castillo Rojas

C.I. 2100235320



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, Castillo Rojas, Ricardo Daniel, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “Diseño y construcción de un microscopio óptico digital para nanoestructuras 2D.” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 1 de agosto del 2019

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir "Ricardo Daniel Castillo Rojas".

Ricardo Daniel Castillo Rojas

C.I. 2100235320

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi familia en especial a mi madre Judy y madre abuelita Emérita quienes, con su amor, paciencia y esfuerzo, son pilares fundamentales en todos mis logros, me enseñaron a ser perseverante, paciente y apoyarme hasta el final de la carrera.

A mi hijo Ricardo Josué quien fue mi motor de superación para ser un ejemplo a seguir.

Al resto de mi familia Jessenia, Jorge, Naty, Sofia, Pedro, Lucy, Cecis, Deysi, Cosme, y todos mis primos quienes siempre estuvieron pendientes en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a la Virgen, por bendecirme una familia tan especial que son mi motor, mi apoyo incondicional y mi pilar fundamental, gracias por no rendirse nunca, y siempre confiar en mí.

A mi director de Proyecto de Titulación Ing. Luis Escobar por darnos la confianza en el proyecto, además por su orientación, seguimiento y supervisión.

A la Universidad por brindarme todos los conocimientos y por permitirme conocer a grandes personas.

INDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DEL DIRECTOR	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO 1	1
1. GENERALIDADES	1
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes	1
1.3. Justificación e importancia.....	3
1.4. Alcance.....	4
1.4.1. Sistema de posición.....	5
1.4.2. Sistema de enfoque	5
1.4.3. Sistema de control.....	6
1.4.4. Sistema de potencia.....	7
1.5. Área de influencia	8
1.6. Objetivos	8
1.6.1. Objetivo general.....	8
1.6.2. Objetivos específicos	8
CAPÍTULO 2.....	10
2. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. Sistemas robóticos.....	10
2.2. ¿Qué es un robot?.....	11
2.3. Robots industriales	12
2.4. Sistemas de posicionamiento	13

2.5.	Arquitectura de los robots industriales.....	14
2.6.	Robot cartesiano.....	16
2.7.	Opciones de implementación de un manipulador robótico cartesiano (Electric, 2013). 16	
2.8.	Elementos estructurales.....	19
2.8.1.	Eslabones (Puente Mendez, 2014).....	19
2.8.2.	Articulaciones	20
2.8.3.	Cadenas porta cables.....	20
2.9.	Procedimiento básico del modelo V.....	21
2.10.	Grafeno	22
2.11.	Microscopio óptico.....	24
2.11.1.	Principales elementos de un microscopio	25
2.11.2.	Aplicaciones del microscopio	26
2.12.	Prototipos similares	27
2.12.1.	Microscopio digital PentaView LCD Celestron.....	27
2.13.	Marco legal y normativo.....	28
CAPITULO 3.....		31
3.	DESARROLLO DEL SISTEMA MECATRÓNICO.....	31
3.1.	Definición del concepto	31
3.1.1.	Requerimientos (matriz de necesidades)	31
3.1.2.	Diseño del sistema (características técnicas)	32
3.2.	Definición de los subsistemas	34
3.2.1.	Componentes mecánicos (subsistemas).....	35
3.2.2.	Componentes electrónicos	37
3.2.3.	Tecnología de la información	40
3.2.4.	Eléctrica / Electrónica.....	61
3.2.5.	Software	68
CAPÍTULO 4.....		80
4.	PRUEBAS Y RESULTADOS.....	80

4.1. Prueba y resultados.....	80
4.1.1. Luminosidad	80
4.1.2. Pruebas y resultados mecánicos.....	82
4.1.3. Pruebas y resultados de funcionamiento.....	86
CAPÍTULO 5.....	89
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
5.1. Conclusiones	89
5.2. Recomendaciones.....	89
5.3. Trabajos futuros.....	90
CAPÍTULO 6.....	91
6. BIBLIOGRAFÍA	91
ANEXO.....	93

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Sistema de posición.....</i>	5
<i>Figura 2. Sistema de enfoque.....</i>	6
<i>Figura 3. Sistema de control.....</i>	7
<i>Figura 4. Sistema de potencia.....</i>	8
<i>Figura 5. Línea del tiempo de la evolución de los robots.....</i>	12
<i>Figura 6. Representación robot cartesiano.....</i>	16
<i>Figura 7. Volumen de trabajo e implementación de un robot cartesiano.....</i>	17
<i>Figura 8. Partes principales de un robot cartesiano.....</i>	19
<i>Figura 9. Cadena porta cables interior.....</i>	20
<i>Figura 10. Modelo VDI 2206.....</i>	21
<i>Figura 11. Estructura del grafeno.....</i>	23
<i>Figura 12. Diagrama simple de la óptica de un microscopio.....</i>	26
<i>Figura 13. Cáscara de cebolla en microscopio.....</i>	27
<i>Figura 14. Microscopio digital PentaView.....</i>	28
<i>Figura 15. Matriz QFD.....</i>	34
<i>Figura 16. Diagrama de viga empotrada en ambos extremos.....</i>	45
<i>Figura 17. Gráfico de cortante en estructura soporte.....</i>	46
<i>Figura 18. Gráfica de momento flector del eje guía de la estructura.....</i>	46
<i>Figura 19. Eje guía soporta el peso del efector final.....</i>	47
<i>Figura 20. Diagrama de cuerpo libre tornillo sin fin.....</i>	50
<i>Figura 21. Guía de soporte de la cámara de microscopía (estudio realizado a 15 N).....</i>	54
<i>Figura 22. Desplazamiento de la guía de soporte (estudio realizado a 15 N).....</i>	54
<i>Figura 23. Curva de convergencia del guía soporte de la cámara.....</i>	55
<i>Figura 24. Esfuerzos de la columna de la estructura. (Estudio realizado a 20 N).....</i>	56
<i>Figura 25. Desplazamientos de la columna de la estructura. (Estudio realizado a 20 N).....</i>	57
<i>Figura 26. Curva de convergencia del perfil de la estructura.....</i>	58
<i>Figura 27. Esfuerzos del rodamiento 608RS de la mesa. (Estudio realizado a 20 N).....</i>	59

<i>Figura 28.</i> Desplazamientos del rodamiento 608RS de la mesa. (Estudio realizado a 20 N).	59
<i>Figura 29.</i> Esfuerzos realizados en el soporte del tornillo sin fin. (Estudio realizado a 50 N). ...	60
<i>Figura 30.</i> Desplazamiento soporte del tornillo sin fin. (Estudio realizado a 50 N).	60
<i>Figura 31.</i> Curva de convergencia realizados en el soporte del tornillo sin fin	61
<i>Figura 32.</i> Arquitectura del sistema	62
<i>Figura 33.</i> Diagrama de circuito de conexión de luz LED.	66
<i>Figura 34.</i> Circuito tiras led.....	67
<i>Figura 35.</i> Diagrama de circuito de conexión de fines de carrera.....	68
<i>Figura 36.</i> Circuito fines de carrera.....	68
<i>Figura 37.</i> Diseño electrónico para un motor a pasos mediante el driver A4988.	70
<i>Figura 38.</i> Procesamiento de Arduino para la estructura robótica de microscopio.....	71
<i>Figura 39.</i> Comunicación Qt 5 con Arduino.	76
<i>Figura 40.</i> Diagrama de arquitectura y navegación del HMI.	77
<i>Figura 41.</i> Ventana de inicio.	78
<i>Figura 42.</i> Ventana de confirmación "ingreso".	78
<i>Figura 43.</i> Ventana de configuración y monitoreo.....	79
<i>Figura 44.</i> Precisión de posicionamiento y repetitividad.	84
<i>Figura 45.</i> Imagen óptica de grafeno.....	86
<i>Figura 46.</i> Imagen de grafeno con el equipo construido y diseñado.....	86
<i>Figura 47.</i> Imágenes reales de la cámara y su sistema de medición.	87
<i>Figura 48.</i> Izq. Regla con medidas microscópicas. Der. Medida en tiempo real.	88

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Clasificación de los robots según La Asociación Francesa de Robótica Industrial</i>	13
Tabla 2. <i>Tipos de Robots industriales</i>	15
Tabla 3. <i>Matriz de necesidades</i>	32
Tabla 4. <i>Características técnicas</i>	33
Tabla 5. <i>Matriz de calificación para selección de forma de la estructura del robot</i>	35
Tabla 6. <i>Matriz de calificación para selección de forma de transmitir movimiento</i>	36
Tabla 7. <i>Matriz de calificación para selección movimiento al enfoque de la cámara</i>	37
Tabla 8. <i>Matriz de calificación para selección de sensor de posición de eslabones</i>	38
Tabla 9. <i>Matriz de calificación para selección de actuadores del movimiento de eslabones</i>	39
Tabla 10. <i>Matriz de calificación para selección de actuador para movimiento de enfoque</i>	40
Tabla 11. <i>Tabla de pesos que soportara la estructura</i>	43
Tabla 12. <i>Matriz de calificación para selección de material para la estructura del robot</i>	43
Tabla 13. <i>Características fin de carrera</i>	63
Tabla 14. <i>Características de tira led</i>	63
Tabla 15. <i>Características motor a pasos</i>	64
Tabla 16. <i>Características tarjeta adquisición de datos</i>	64
Tabla 17. <i>Características RaspBerry PI 3</i>	65
Tabla 18. <i>Elementos utilizados en el circuito de luz LED</i>	66
Tabla 19. <i>Elementos utilizados en el circuito fin de carrera</i>	67
Tabla 20. <i>Selección del entorno de programación</i>	72
Tabla 21. <i>Selección de software</i>	74
Tabla 22. <i>Control de luminosidad</i>	81
Tabla 23. <i>Datos obtenidos de pruebas de posicionamiento realizadas en el equipo</i>	82

RESUMEN

Actualmente los análisis de muestras que se vienen realizando en el laboratorio de Nanotecnología perteneciente a la Universidad de Yachay Tech, se están haciendo con el microscopio de manera manual, ocasionando retrasos en los trabajos de laboratorio y márgenes de errores en el análisis. El proyecto que se presenta a continuación, consiste en desarrollar un prototipo robótico cartesiano que sea capaz de posicionar el microscopio en los movimientos de sus coordenadas eje X,Y y Z, el sistema será concebido para que realice los movimiento de manera autónoma, desarrollando el prototipo de un robot cartesiano, esto permitirá a través de una ventana HMI, manipular el robot, capturando imágenes con ajuste de enfoque de una manera precisa para poder ser comparado con valores preestablecidos, ofreciendo mayor precisión en los análisis y optimización de los tiempos. La capacidad del volumen de trabajo ayudará al usuario a alcanzar el objetivo en algunos campos de investigación. El proyecto pretende automatizar el proceso de análisis de laboratorios, creando un modelo de mejora tecnológica en los microscopios, marcando un precedente de automatización y que se pueda establecer como guía para cualquier investigador que se encuentre resolviendo problemas tecnológicos similares.

PALABRAS CLAVES:

- **NANOTECNOLOGÍA**
- **ROBOT CARTESIANO**
- **VENTANA HMI**
- **MICROSCOPIO**

ABSTRACT

At present, the analyses of samples being carried out in the laboratory of Nanotechnology belonging to Yachay Tech are performed with a microscope manually, causing delays in laboratory work and margins of errors in analysis. The present project has a main objective which consists in the development of a Cartesian robotic prototype capable of positioning the microscope in the movements of its X, Y, and Z axis. The system will be designed to perform precise and guided movements, allowing the user to interact with it through an HMI window like, manipulate the robot, capturing images with focus adjustment in a precise way, and the ability to compare the results with preset values, offering greater accuracy in the analysis and optimization of the times. The work volume feature of the device will help the user to accomplish objectives in some investigation fields. The project aims to automate the laboratory analysis process, creating a model of technological improvement in microscopes, setting an automation precedent that can be set as a guide for any researcher who is solving similar technological problems.

KEY WORDS:

- **NANOTECHNOLOGY**
- **CARTESIAN ROBOT**
- **HMI WINDOW**
- **MICROSCOP**

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

1.1. Introducción

En el presente capítulo se detallan los antecedentes, justificación, alcance y objetivos que determinaron el desarrollo de un microscopio óptico digital para nanoestructuras 2D. Se presenta la importancia del problema en el trabajo de investigación y la inclusión del robot como material didáctico. Para alcanzar este fin se describe y presenta diferentes investigaciones existentes relacionadas con el proyecto. Se detalla de manera general el contenido de los siguientes capítulos.

1.2. Antecedentes

El Laboratorio de Mecatrónica y Sistemas Dinámicos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, lo conforman un grupo de estudiantes y docentes capacitados que investigan y ayudan en diversas áreas con soporte físico, intelectual y tecnológico. Los estudiantes y docentes de la carrera de Ingeniería Mecatrónica han desarrollado proyectos de robótica como, por ejemplo: enseñanza de ajedrez (Carrera y Morales, 2017), corte por plasma (Lara y Muso, 2018), impresión 3D (Aguinsaca, 2017), entre otros. Los proyectos antes mencionados pueden brindar información importante a la presente investigación sobre normas, procesos de construcción, diseño de máquinas, cinemática y dinámica de robots.

El laboratorio de Nanotecnología de la Universidad de Yachay Tech, está investigando nuevos materiales y fabricación de dispositivos para el uso nanotecnológico. Dada esta necesidad el laboratorio de Nanotecnología de la Universidad de Yachay Tech, no cuenta con un equipo

preciso para realizar este tipo de análisis, por consiguiente, existe la oportunidad de desarrollar un Microscopio Digital Óptico para Nanoestructura 2D, que permita realizar este tipo de investigación.

La nanotecnología, este término fue descrito por primera vez en 1974 por Norio Taniguchi como “la separación, consolidación y deformación de la materia a nivel atómico o molecular”. Hoy en día existen múltiples definiciones validas de nanotecnología, siendo quizás la más adecuada en contexto actual aquella que la considera como el conjunto de conocimientos y metodologías dirigidas a el diseño, producción, caracterización y aplicación de nuevos materiales y dispositivos funcionales de tamaño manométrico mediante la manipulación controlada de la materia a escala atómica o molecular.

El rápido progreso de la nanotecnología ha sido posible gracias a la aparición de nuevos instrumentos capaces de observar y manipular átomos y moléculas individuales, impulsando el estudio de materiales en micro y nana escala. Concretamente, en 1981 dos investigadores de IBM, H. Rohrer y G. Bining, dieron a conocer el **Microscopio de Efecto Túnel**, (STM Scanning Tunneling Microscope), lo que permitió “ver” por primera vez la topografía de una superficie con resolución atómica, así como mover y ordenar las unidades atómicas y moleculares sobre distintos soportes, con una resolución lateral de 0,1 nm (nanómetro).

Por el diseño de esta técnica los dos investigadores recibieron el premio Nobel de Física en 1986, siendo compartido con el inventor del primer **Microscopio Electrónico de Trasmisión** (TEM, Transmission Electron Microscope) Ernst Ruska, otra herramienta esencial para la moderna ciencia de nanomateriales, que son microscopios de luz transmitida, con una resolución aproximado de 0,05 nm (nanómetro).

El investigador Manferid Bon Enfarden, fue quien logró inventar el **Microscopio Electrónico de Barrido** (MEB o SEM, por Scanning Electron Microscope) es una técnica de microscopía electrónica capaz de producir imágenes de alta resolución de la superficie de una muestra utilizando las interacciones electrón-materia. Utiliza un haz de electrones en lugar de un haz de luz para formar una imagen, ha logrado aumentos de hasta cerca de 0,005 nm (nanómetro). El **Microscopio de fuerza atómica**, (AFM, Atomic Force Microscope) gracias a la fuerza nuclear, este instrumento detecta fuerzas en nanonewtones, puede alcanzar rangos de 0,1nm a 10 nm.

En esta investigación se busca generar un microscopio que tenga la capacidad de detectar la formación de estructuras hexagonales del grafeno, con una resolución de 0.1um (micrómetro).

1.3. Justificación e importancia

Actualmente en las investigaciones y proyectos que vienen desarrollando en el Laboratorio de Nanotecnología perteneciente a la Universidad de Yachay Tech, se están realizando la toma de muestras de nanomateriales en una forma manual, lo que trae retraso y dificultades en sus investigaciones. Los instrumentos que actualmente posee el laboratorio de Nanotecnología arrojan resultados con poco confiables con mucho tiempo en su preparación, por lo tanto, requieren una máquina de laboratorio más óptima para realizar la toma de muestras.

Este proyecto pretende cumplir con los requerimientos solicitados por la Universidad de Yachay Tech. El Laboratorio de Nanotecnología requiere de un microscopio óptico para la obtención y posterior estudio de imágenes para confirmar la conformación de nano estructuras para estudios posteriores. En el análisis de imágenes se realizan comparaciones entre las fotografías obtenidas con patrones predertminados. El microscopio permitirá obtener una imagen clara y

centrada, la cual debe ser comparada con las características y valores, de acuerdo a la muestra tomada. Por ello, la cámara debe ser posicionada con exactitud, realizar el ajuste del lente óptico y brindar información acerca de su ubicación en el espacio. Además, el diseño y construcción provocará una estructura robusta que no genere vibraciones y soporte perturbaciones, producto de las operaciones que se ejercen a causa del funcionamiento normal del microscopio. Con la finalidad que la imagen no se distorsione y el objeto se mantenga en su sitio.

Además, se pretende abrir un campo de investigación al desarrollo de microscopios, obteniendo un instrumento de toma de muestras diseñado para cumplir con las especificaciones requeridas, a bajo costo para el análisis de nanoestructura.

1.4. Alcance

En esta investigación se busca desarrollar un prototipo modular que permita al usuario controlar los mecanismos robóticos con un computador, a través de una ventana HMI. El manipulador robótico tendrá tres grados de libertad para controlar únicamente la posición de la muestra que se esté analizando. El efector final consistirá en una cámara HD de alta calidad de imagen con conexión USB con un mecanismo de lente invertido que hace la función del microscopio con un ajuste del enfoque, también se tendrá un ambiente cerrado con un control de luz. El movimiento de los ejes X, Y y Z, se podrá realizar con una precisión de dos milímetros. Tendrá un botón para poder capturar imágenes y guardarlas. Todo esto será controlado y manipulado mediante la ventana HMI ubicada en el computador, permitiendo monitorear la imagen del microscopio.

1.4.1. Sistema de posición

La trascendencia del diseño y construcción del prototipo, radica en que el sistema de posicionamiento posea una estructura mecánica resistente, fácil ensamble y que garantice repetibilidad. Con fines de carrera, se logrará controlar el desplazamiento y evitar choques entre elementos. Observar Figura 1.

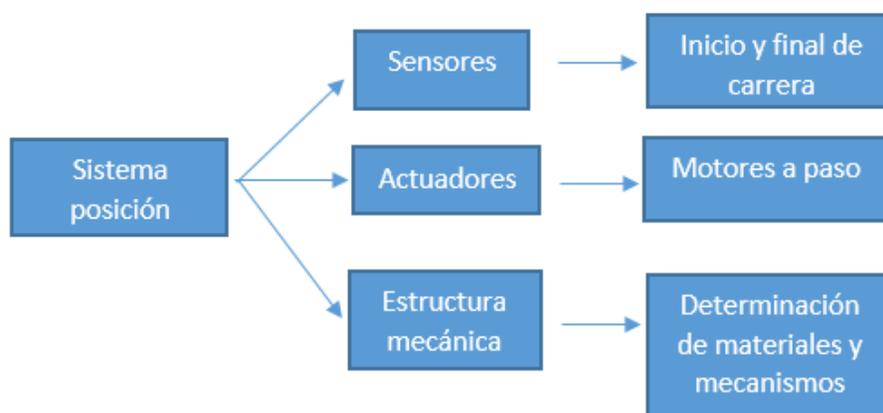


Figura 1. Sistema de posición.

1.4.2. Sistema de enfoque

El movimiento rotacional del mecanismo que controla el lente de la cámara conjuntamente con la iluminación, permitirá un ajuste visual más detallado y permitirá al usuario obtener una mejor apreciación de las muestras para sus respectivas interpretaciones. Los parámetros propuestos a realizar en este sistema se pueden observar en la Figura 2.

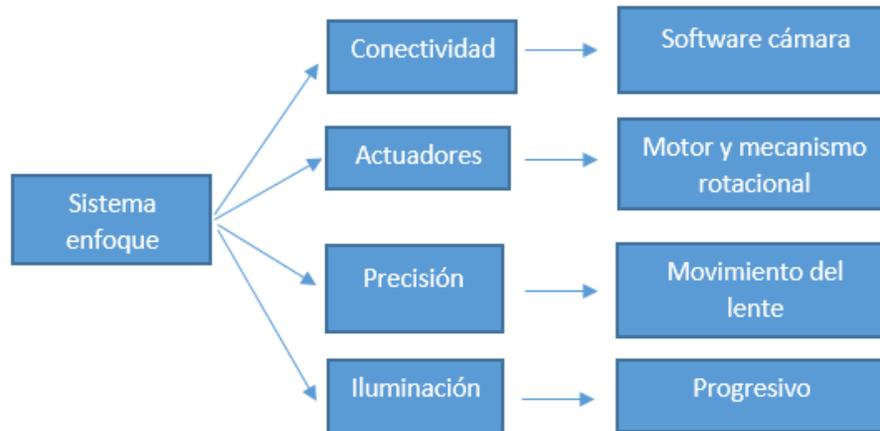


Figura 2. Sistema de enfoque.

1.4.3. Sistema de control

El sistema de control de la máquina será implementado, utilizando un computador central, que se encargará de procesar las señales y un microcontrolador que ejecutará las acciones requeridas por el usuario. Observa *Figura 3*.

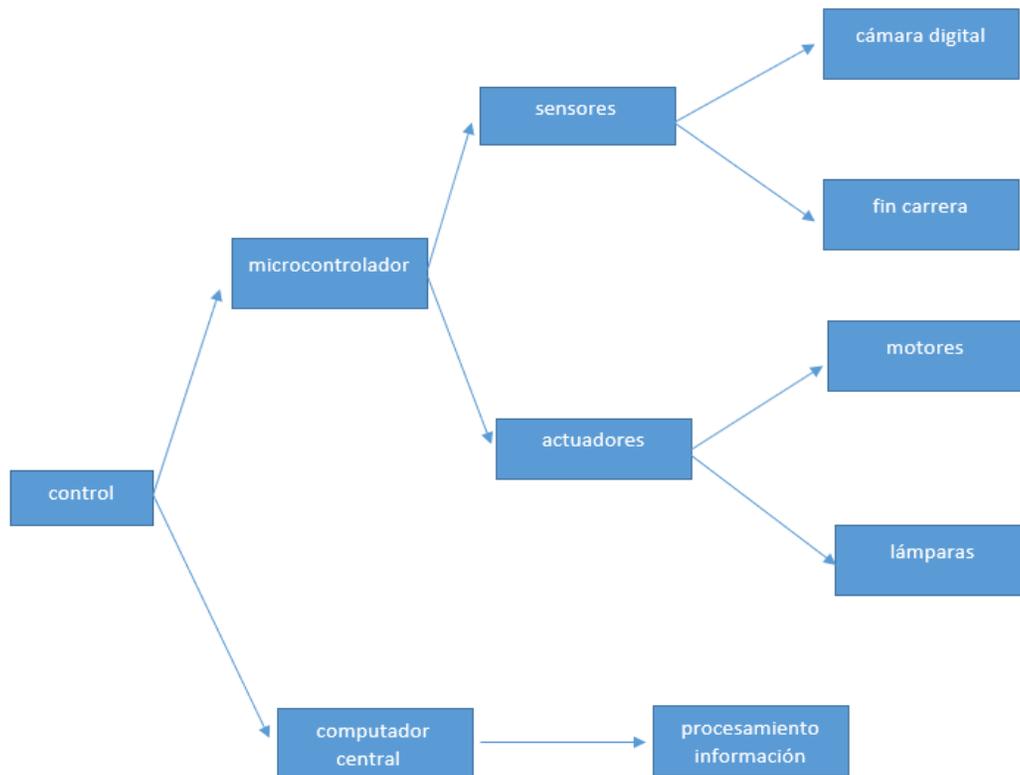


Figura 3. Sistema de control.

1.4.4. Sistema de potencia

Debido a la necesidad de modularidad se trabaja (110 V), por lo que se adaptará un transformador de 12 V, lo cual evitará caídas de tensión en el funcionamiento del prototipo. Conexión y seguridad son dos parámetros importantes a considerar en el sistema de potencia al momento de diseñar y construir el microscopio. Observar Figura 4

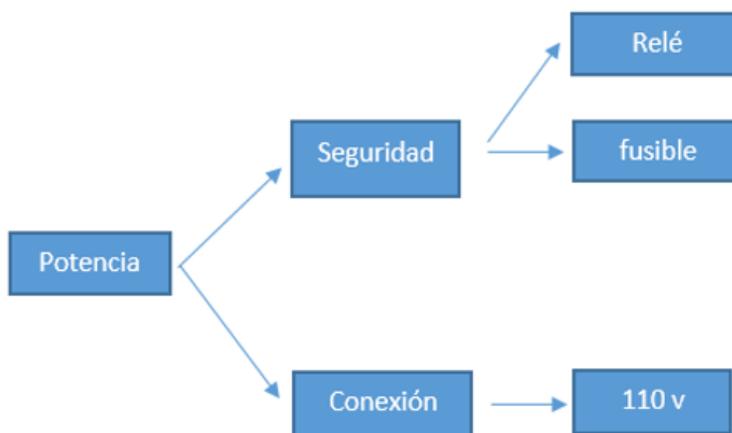


Figura 4. Sistema de potencia.

1.5. Área de influencia

El proyecto beneficiará a la investigación educativa y toma de muestras de micro y nanomateriales de una manera más eficiente, constante y precisa. Mejorando el rendimiento diario en los procesos de investigación.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Diseño y construcción de un microscopio óptico digital para nanoestructuras 2D.

1.6.2. Objetivos específicos

- Diseñar y construir la estructura de soporte de la máquina.
- Realizar el control de los actuadores que permita el correcto posicionamiento del lente óptico de la cámara de alta definición.
- Considerar una precisión de 2 mm o menor.

- Crear una interfaz HMI para controlar el movimiento de los ejes, luz y enfoque de la cámara.
- Adaptación de cámara con un mecanismo automatizado para capturas de imágenes de nanoestructuras 2D, capaz de brindar 3 grados de libertad y optimizar el tiempo de los investigadores en las tomas de imágenes.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se realizó un amplio estudio bibliográfico, donde se consideró términos y definiciones que ayudarán a dar un sustento científico, confiable y de calidad. Para establecer nuevas tecnologías, requerimientos y objetivos previo a la etapa de diseño del microscopio digital óptico.

2.1. Sistemas robóticos

La tecnología es tan antigua como el hombre mismo según McCloy (1992). Los hombres se convirtieron en tecnólogos cuando aprendieron a aprovechar los materiales y fenómenos naturales del mundo físico que lo rodeaba. Las máquinas y la mecanización, han incrementado la fuerza muscular; la computadora ha incrementado el poder mental; los sentidos del hombre se han ampliado por medio de instrumentos y dispositivos de medición, hemos llegado a una era en la cual la tecnología, especialmente la de los robots dice McCloy (1992), no sólo incrementará nuestras capacidades humanas, sino que también podrá reemplazarlas por completo.

La inflexibilidad de muchas maquinas nos ha llevado al interés del uso de robots industriales. La aplicación de los robots para manejo de materiales ofrece gran potencial para librar a la mano de obra humana de trabajos monótonos, cansados o peligrosos. Incluye la transferencia de partes entre sistemas de bandas transportadoras o líneas de procesos en los que las partes pueden ser pesadas, estar calientes, tener propiedades abrasivas o incluso ser radiactivas.

La integración de sistemas robóticos, ayuda a grandes y pequeñas fábricas a mejorar los procesos industriales conjuntamente con los robots y sistemas inteligentes, para la fabricación de un artículo desde la materia prima hasta el embalaje para la entrega del producto terminado.

Según ABB Robotics, la integración de sistemas robóticos, tiene a la mayoría de empresas en constante evolución y competición. Se busca reducir costos con un aumento de calidad, seguridad y productividad. (Robotics, s.f.).

2.2. ¿Qué es un robot?

Es complicado mencionar la definición de este término de manera general, para encerrar un amplio campo de dispositivos como hoy en día son reconocidos. Por tal razón, es importante revisar definiciones técnicas para su mejor entendimiento.

Un robot es un dispositivo mecánico con capacidades motoras construido para cumplir una serie de actividades o tareas. Tales tareas son asignadas por un programador o aprendidas por el propio robot. (Bolton, 2013)

Un manipulador reprogramable y multifuncional concebido para transportar materiales, piezas, herramientas, o dispositivos especiales a través de movimientos programados variables para llevar a cabo tareas diversas. (Robot Institute of America/ [Schlssel, 85]).

Los robots son utilizados ampliamente en aplicaciones industriales en las cuales se necesita cumplir con actividades repetitivas con un alto nivel de precisión. (Groover, 1990)

Estas definiciones encierran que el robot debe ser programable y multifuncional. Entonces, según la Asociación de Industrias Robóticas (RIA), se dice que un robot industrial con diversas

funciones reprogramables, es capaz de mover piezas o herramientas, según trayectorias variables o establecidas previamente programadas para realizar múltiples tareas. (Barrietos, 2007)

En la **Figura 5**, podemos observar en plano general de la evolución en la robótica.

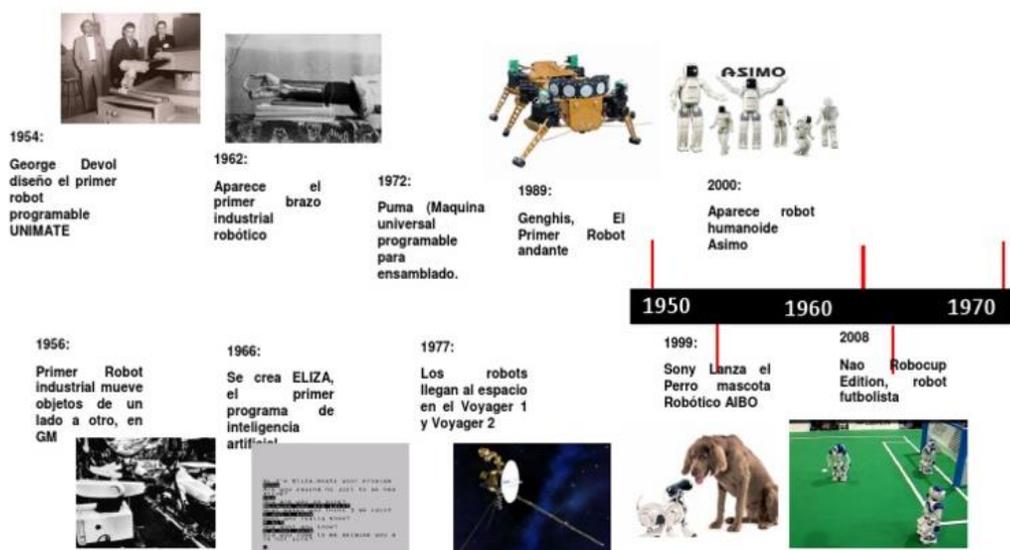


Figura 5. Línea del tiempo de la evolución de los robots.

Fuente: (Antonio Barrietos, 2007)

2.3. Robots industriales

La Organización Internacional de Estándares (ISO) define al robot industrial como un manipulador que puede ejecutar multitareas caracterizado por varios grados de libertad, con la capacidad de manipular herramientas siguiendo trayectorias específicas. (Barrietos, 2007)

Teniendo las premisas citadas, es necesario exponer una última definición dada por la Federación Internacional de Robótica (IFR) presentado en su informe técnico ISO 83737 (septiembre 1988) en el cual se expone que un robot industrial es una máquina de manipulación automática, reprogramable y multifuncional con varios ejes que pueden posicionar y orientar

herramientales para la realización de distintas aplicaciones en varios niveles de producción (Barrietos, 2007).

En la Tabla 1 se especifica la clasificación de los manipuladores robóticos de acuerdo a la Asociación Francesa de Robótica Industrial.

Tabla 1.

Clasificación de los robots según La Asociación Francesa de Robótica Industrial

TIPO	CARACTERÍSTICAS
A	Manipulador con control manual o telemando.
B	Manipulador automático con ciclos prefijados; regulación mediante fines de carrera topes; accionamiento neumático, eléctrico o hidráulico.
C	Robot programable con trayectoria continua o punto a punto. Carece de conocimiento sobre su entorno.
D	Robot capaz de adquirir datos de su entorno, readaptando su tarea en función de estos.

Fuente: (Barrietos, Fundamentos de robótica, 1997)

2.4. Sistemas de posicionamiento

Para el posicionamiento de un punto en el espacio, es necesario considerar dos aspectos fundamentales de estudio, que dependen entre sí; para su correcto funcionamiento como son: el sistema eléctrico y el mecanismo de posicionamiento.

Dentro de la robótica existen diferentes estructuras mecánicas capaces de posicionar un objeto en el espacio, dichas estructuras pueden ser tan simples como el mecanismo biela manivela para cambiar el sentido de movimientos, hasta mecanismos sofisticados como cadenas cinemáticas que forman un robot Kuka o humanoides.

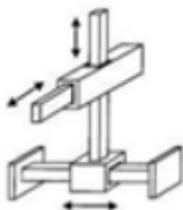
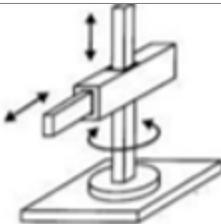
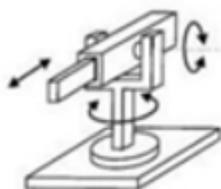
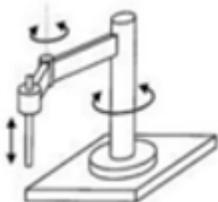
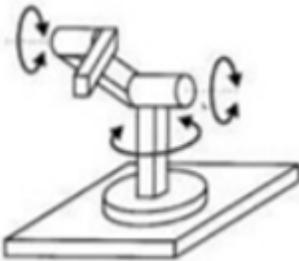
Los sistemas eléctricos son capaces de transmitir señales que activan los componentes de los mecanismos, para ser procesadas y activar actuadores para cumplir la tarea asignada.

En el estudio realizado por el Ing. Guillermo Almeida, en su trabajo de “Fundamentos generales de la robótica” (2009), explica que los robots cartesianos tienen un tipo de configuración, la cual da lugar a robots de alta precisión, capacidad de carga y velocidad constante en toda su área de alcance, además de poseer una amplia zona de trabajo y simplificación del sistema de control. (Almeida, 2009)

2.5. Arquitectura de los robots industriales

Los tipos de robots industriales actuales según Barrientos et al. (2007) son: cartesiano, cilíndrico, polar, SCARA, antropomórfico. Se detallan a continuación.

Tabla 2.
Tipos de Robots industriales

Robot	Características	Aplicaciones	Figura
Cartesiano (PPP)	3 Movimientos lineales	Tareas repetitivas y soporta grandes pesos	
Cilíndrico (RPP)	1 Movimiento rotacional y 2 lineales	Traslado de materiales, soldadura de punto y embalaje	
Esférico o Polar (RRP)	2 Movimientos rotacionales y 2 lineales	Levantamiento piezas pesadas alto torque	
Scara (RRP)	2 Movimientos rotacionales y 1 prismático	Ciclos repetitivos excelente repetitividad	
Antropomórfico (RRR)	3 Movimientos rotacionales	Aplicaciones industriales: soldadura, pintura, empaclado carga y descarga, etc.	

Fuente: (Barrietos, Fundamentos de robótica, 1997)

2.6. Robot cartesiano

Los robots cartesianos son un tipo de robot industrial, que poseen tres brazos o eslabones deslizantes y perpendiculares uno a continuación de otro, que hacen referencia al sistema de coordenadas X, Y, Z, y que forman en su espacio de trabajo una forma tridimensional referente a un cubo o un paralelepípedo recto (rectángulo en 3D), tales medios incluyen vehículos de oruga y la locomoción bípeda y múltipoda. La movilidad permite al robot desplazarse en el área de trabajo o trasladar objetos a distancias largas sin necesidad de transporte especial (P. Moubarak, 2011).

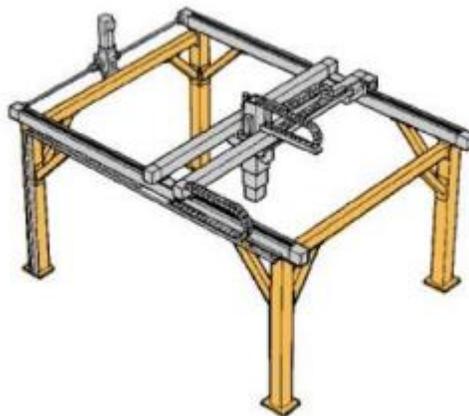


Figura 6. Representación robot cartesiano

Fuente: (anónimo, 2008)

2.7. Opciones de implementación de un manipulador robótico cartesiano (Electric, 2013)

Dentro de las distintas opciones de implementación de un manipulador robótico cartesiano, se toman en cuenta aspectos como la función a realizar y el espacio de trabajo disponible; según la empresa Schneider Electric, clasifica los robots cartesianos en cuatro tipos, indicados en la *Figura 7*; y sus opciones de implementación son:

- Posicionador Lineal: Ubicado por encima o bajo el área de trabajo; el cual opera en dirección x/z (2D); diseñado para transportar de cargas a grandes distancias.
- Robot Lineal: Posicionado junto al área de trabajo y diseñado para manipular objetos a gran velocidad en trayectorias cortas.
- Robot Portal: Situado sobre el área de trabajo y es factible su uso cuando de ahorrar espacio se trata; puede transportar cargas en trayectorias de largo recorrido.
- Robot Portal de Pared: Diseñado para operar en superficies verticales, con un funcionamiento similar al robot portal.

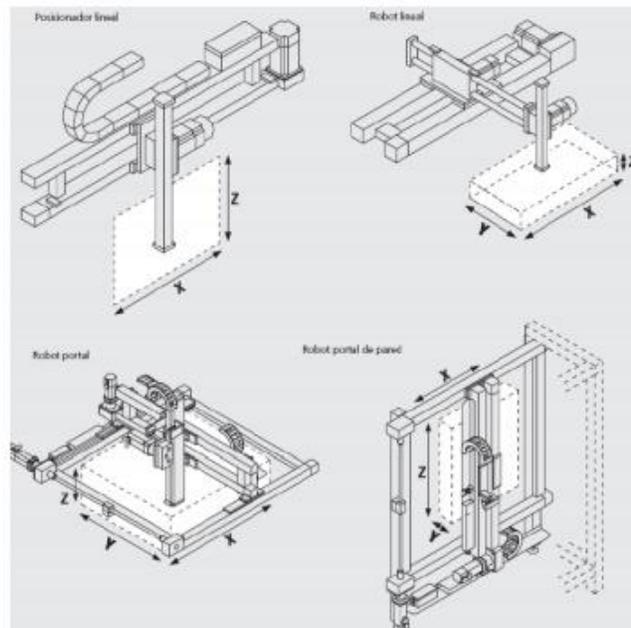


Figura 7. Volumen de trabajo e implementación de un robot cartesiano

Fuente: (Electric, 2013)

De acuerdo a la tesis de grado de Roberto Andino y Christian Salgado, “Diseño e implementación de una estación de entrenamiento con un robot cartesiano para el laboratorio de robótica y PLC’s del departamento de eléctrica y electrónica de la ESPE” (2012) existen ventajas y desventajas a considerar en los manipuladores cartesianos.

Ventajas de los robots cartesianos

Entre sus ventajas principales se encuentran las siguientes:

- Poseen estructuras rígidas y su capacidad de carga no depende de la distancia de la última articulación del robot dónde se encuentra la carga.
- Los movimientos sobre su área de trabajo no se dificultan debido a que el robot se desplaza en la parte superior de la estructura.
- La resolución espacial de este tipo de robot es constante en todo su volumen de trabajo.
- La precisión que se puede llegar a obtener con estos robots es muy alta en función de otros tipos de robots.
- Para controlar este tipo de estructuras no se necesita realizar cálculos de transformaciones de coordenadas, por lo que el control de sus articulaciones es más sencillo.

Desventajas de los robots cartesianos

En cuanto a sus desventajas se presentan las siguientes:

- Su peso estructural y potencia en motores aumenta en gran medida acorde aumente las cargas a transportar.
- Solo sirven para trabajar en espacios que se encuentren bajo la estructura del robot.
- El volumen de trabajo es menor que el volumen de la estructura del robot.

2.8. Elementos estructurales

2.8.1. Eslabones (Puente Mendez, 2014)

Son las piezas o miembros estructurales de un robot que se consideran piezas rígidas e indeformables, estos componentes pueden estar formados por varias piezas, como se puede observar en la *Figura 8*. Los eslabones son los siguientes:

- Las piezas que se encuentran hasta la primera articulación denominadas como base.
- Piezas que se encuentran entre dos articulaciones de un robot.
- Las piezas que se encuentran desde la última articulación hasta el extremo final del robot.
- Para generar una respuesta más rápida a un movimiento y a los sistemas de accionamiento, los eslabones que conforman la estructura deben ser lo más ligeros posibles. (Informáticos, 2014).

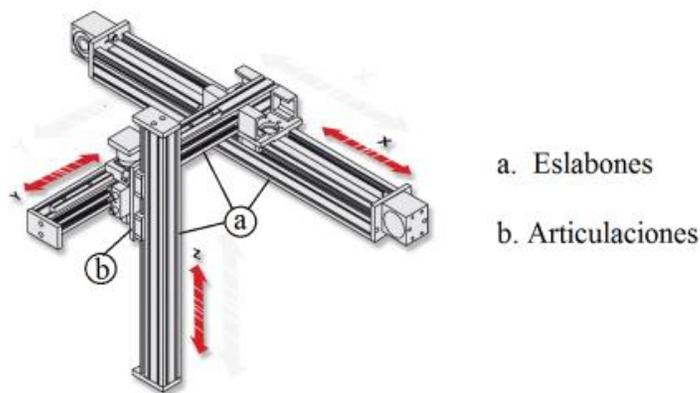


Figura 8. Partes principales de un robot cartesiano

Fuente: (Informáticos, 2014)

2.8.2. Articulaciones

Son lugares o partes donde se unen dos eslabones para permitir el movimiento entre los mismos, y se dividen en dos tipos que son: prismáticos y rotacionales. Los manipuladores de características cartesianas poseen articulaciones de tipo prismática o lineal, en la cual el eslabón se apoya en bandas deslizantes o vigas lineales, que actúa desplazándose linealmente mediante los tornillos sin fin o bandas dentadas, acopladas a los motores.

2.8.3. Cadenas porta cables

Son cadenas plásticas formadas a base de polímeros y se las usa industrialmente para transportar el cable en secciones móviles, tanto por estética como por cuidado del cableado eléctrico del robot y viene en diferentes presentaciones acorde al campo y materiales en el entorno donde vaya a estar la cadena porta cables. Un ejemplo de cadena portacables se la puede observar en la *Figura 9*.



Figura 9. Cadena porta cables interior

Fuente: (Informáticos, 2014)

2.9. Procedimiento básico del modelo V

Una guía del procedimiento básico del modelo en V adaptado a los requisitos de la ingeniería mecatrónica, el cual describe una secuencia lógica de sub pasos en el desarrollo del sistema descritos a continuación: Requerimientos, diseño del sistema, diseño específico del dominio, modelado y análisis de modelos, integración del sistema, verificación de las propiedades.

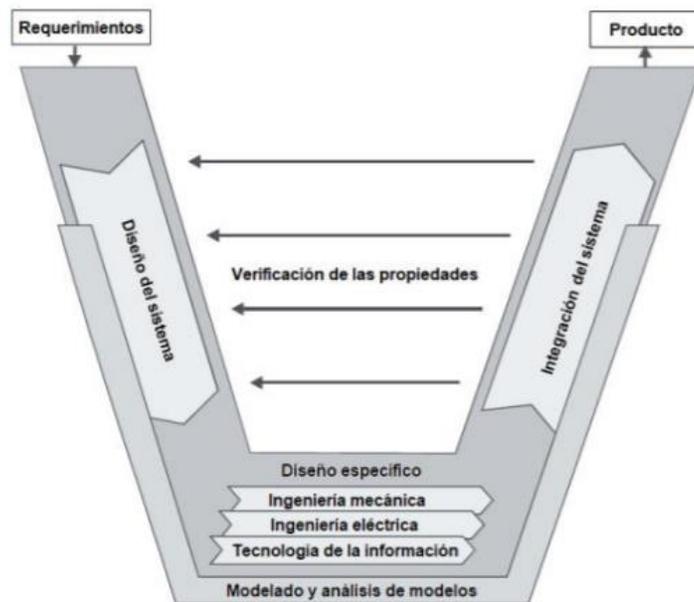


Figura 10. Modelo VDI 2206

Fuente: (Moehringer, 2003)

Requerimientos

Los requerimientos son establecidos por el consumidor final o aquella persona que lo solicite.

Diseño del sistema

Se eligen alternativas para cumplir las características deseadas. Usando herramientas como matrices de selección y siguiendo el procedimiento (Ulrich & Eppinger, 2014).

Diseño específico del dominio

Haciendo uso de herramientas matemáticas y ayuda de software se calcula dimensiones necesarias para garantizar el desempeño del mecanismo.

Integración del sistema

Los resultados individuales de los dominios se unen para formar el producto terminado.

Verificación de las propiedades

Pruebas y análisis de resultados, es la etapa donde culmina la fabricación y así puede salir al mercado a ser comercializado.

2.10. Grafeno

En la década de los 30 del siglo pasado, se descubre el grafeno, debido a su inestabilidad fue abandonado.

En 1986, Boehm determinó que el grafito se puede considerar progenitor del grafeno. Es decir, una lámina de grafeno dura y resistente, está compuesta por muchas láminas superpuestas de grafito, debido a que las láminas de carbono se unen por las fuerzas Van der Waals.

En el 2004, Geim y Novoselov descubrieron la existencia del grafeno en estado libre, logrando aislarlo a temperatura ambiente. Acontecimiento que centralizó la investigación inmediata de sus propiedades.

En la actualidad, el grafeno se lo conoce como un nano material bidimensional, son partículas cuya dimensión se las puede observar en escalas de micrómetros y nanómetros. A partir del carbono se consigue el grafeno, uno de los elementos químicos más abundantes en la naturaleza, según su distribución de átomos se pueden formar compuestos con características diferentes.

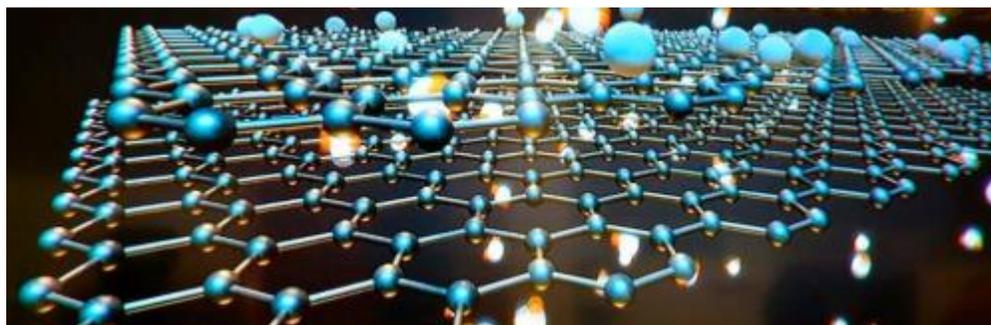


Figura 11. Estructura del grafeno

Fuente: (<http://www.eslocotidiano.com/articulo/sociedad/grafeno-material-batalla-aplicaciones-futuro/20180404191645044515.html>, s.f.)

Las increíbles propiedades térmicas, electrónicas, ópticas y mecánicas que presenta el grafeno y la abundancia de carbono que se encuentra en la naturaleza, indican a este material como el “material del futuro”. Las principales propiedades del grafeno.

Dureza: Es un material resistente al desgaste y puede soportar grandes pesos. Para atravesar una lámina de grafeno, es necesario definir un peso mayor o igual a cuatro toneladas con un objeto afilado.

Elasticidad: El grafeno presenta una alta elasticidad, por lo que puede ser aplicado en distintas superficies. Esto permite al material que tenga menos posibilidad de quebrarse.

Flexibilidad: Esta propiedad permite que el grafeno se pueda moldear de diferentes maneras. Lo que lleva a utilizar este material en distintos campos.

Conductor de calor: Es una propiedad física que permite el paso a través del grafeno. Elevada en metales, pero baja en el resto de materiales.

Transparente y ligero: Esta propiedad permite al grafeno ser utilizado para crear pantallas ligeras.

Reacciona químicamente con otras sustancias: El grafeno permite servir de base para crear nuevos materiales dentro de su estructura, para modificar las propiedades de esta materia.

Soporta la radiación ionizante: Esta propiedad permite al grafeno, una alta resistencia a ser modificado por algún tipo de radiación.

Elevada densidad: El grafeno se presenta como un material muy denso. Ni los átomos de Helio son capaces de atravesarlo.

Efecto antibacteriano: Esta propiedad permite que no se reproduzcan bacterias en el grafeno, debido a que existen microorganismos vivos en este material.

2.11. Microscopio óptico

En el año 1590, los fabricantes de anteojos Zacharias Janssen y su padre Hans Martens, construyen el primer microscopio compuesto.

En el año 1610, Galileo Galilei, desarrolló un microscopio al que lo llamó occholino (microscopio compuesto de un lente convexo y un cóncavo). Se lo utilizó para las descripciones e ilustraciones de los capilares sanguíneos de la mano de William Harvey.

En 1665, Publica Robert Hook su obra Micrographia. En la cual, presentaba una colección de objetos pequeños imposibles de observar a simple vista. Los objetos se los podía ver desde un microscopio. En esta obra también relataba los métodos de la microscopía y un análisis del microscopio de Hooke.

El microscopio proviene de dos palabras compuestas griegas: micrós (pequeño) y scopéo (mirar).

Un microscopio sencillo, está compuesto de un solo lente sujetado por un anillo, incrustado en una placa y el mecanismo de enfoque se encuentra sujeto a un dispositivo.

Un microscopio óptico, está basado en lentes ópticos, también es conocido como microscopio de luz o microscopio de campo claro. Estos aparatos constan de una lente pequeña convexa, la cual está montada sobre una plancha, sobre la cual se colocará la muestra a examinar.

2.11.1. Principales elementos de un microscopio

Los microscopios suelen tener varias lentes en el objetivo ocular, con la finalidad de reducir la aberración cromática y la aberración esférica.

En los microscopios modernos, el espejo es sustituido por una lámpara que ofrece iluminación estable y controlable.

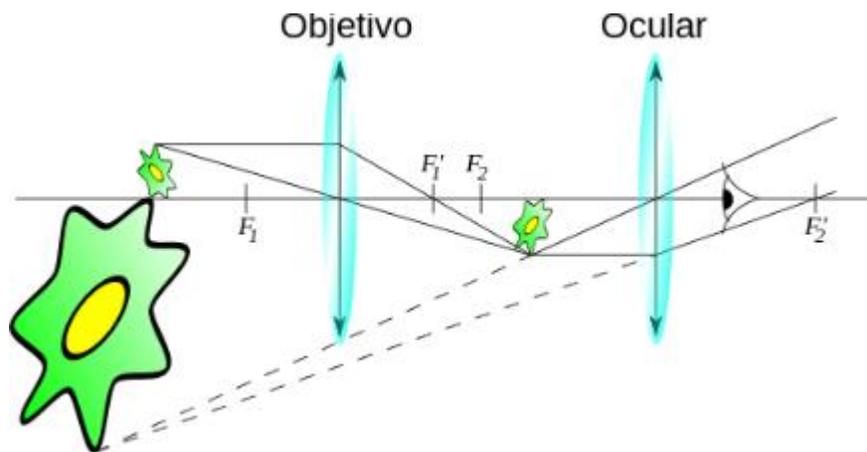


Figura 12. Diagrama simple de la óptica de un microscopio.

Fuente: (Informáticos, 2014)

La resolución de los microscopios ópticos está restringida por el fenómeno de difracción, la cual depende de la apertura numérica A_n del sistema óptico y la longitud de onda de luz utilizada λ , estableciendo un límite definido d a la resolución óptica. Suponiendo que las aberraciones ópticas fueran despreciables, la resolución sería:

$$\delta = \frac{\lambda}{2 * A_n}$$

Normalmente, suponemos un λ de 550 nm, el cual corresponde a luz verde, si el medio de medición es aire, A_n práctica es de 0.95, y si el caso es aceite, hasta 1.5. Esto implica que incluso el mejor microscopio óptico se limita a una resolución de unos 0.2 micrómetros.

2.11.2. Aplicaciones del microscopio

El instrumento ha sido de gran utilidad en campos de ciencia, donde la estructura y organización microscópica es de gran importancia, así como lo son; el área de química en el estudio de cristales, física en la investigación de propiedades físicas de materiales, geología en análisis de

composición mineralógica y textural de rocas, biología en el estudio de estructuras microscópicas de materia viva, entre otras.

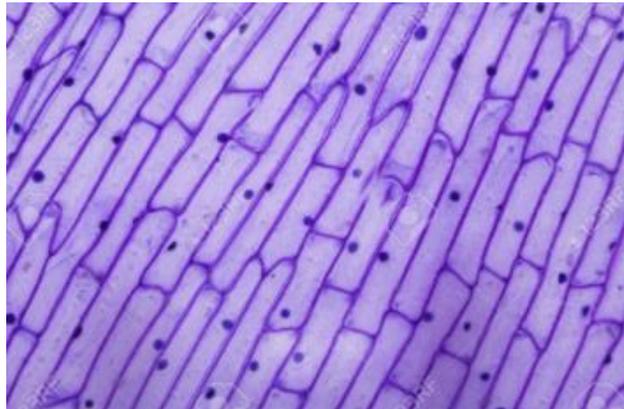


Figura 13. Cáscara de cebolla en microscopio.

Funte: (Informáticos, 2014)

2.12. Prototipos similares

2.12.1. Microscopio digital PentaView LCD Celestron

Este microscopio posee una pantalla táctil LCD incluida y programable, tiene 5 lentes objetivo acromática (4x, 10x, 20x, 40x, 60x). Este microscopio digital es diferente a los microscopios tradicionales, en lugar de usar los oculares para ver un espécimen en un microscopio tradicional, el monitor LCD sustituye a los oculares para que se pueda observar el espécimen en la pantalla.



Figura 14. Microscopio digital PentaView

Fuente: (cnme, 2018)

Las características principales se muestran a continuación:

- Aumento de 40x a 2400x
- Cámara digital integrada 5MP
- Carro móvil XY
- Voltaje de entrada de 110V a 220V
- Pantalla lcd integrada de 4.3"

2.13. Marco legal y normativo

- **AEN/CTN 116 - Sistemas Industriales Automatizados:** Norma que abarca la automatización industrial e integración relacionada con la fabricación de componentes de

múltiples tecnologías, se aplica al presente trabajo en cuanto a los ensayos realizados a el robot, a los parámetros de calidad y otros fundamentos.

- **ANSI RIA R15.06: Robot and Robot System Safety:** Incluye apartados sobre la definición de riesgos y de probabilidades de la ocurrencia de un accidente y el grado de severidad de un posible daño físico a una persona, se aplica en el proyecto en temas pertinentes con los requisitos para el diseño inherente de seguridad y medidas de protección para el uso del robot.
- **CEN 310 – Advanced Automation Technologies and Their Applications:** Normaliza los campos que se refieren a los sistemas de automatización y su aplicación e integración para asegurar estándares requeridos para el diseño, aprovisionamiento, fabricación y entrega de productos y servicios, también la automatización y control de equipos industriales, aplica en cuanto a el área del control del equipo y la especificación de los aspectos del software y el personal humano que van a gobernar el uso del robot.[9]
- **ISO 10218:1992: Manipulating Industrial Robots – Safety:** Contiene los análisis de seguridad, definición de riesgos e identificación de posibles fuentes de peligros o accidentes. De igual manera contiene secciones sobre el diseño y fabricación de sistemas robotizados, teniendo en cuenta aspectos mecánicos, ergonómicos y de control, se aplicará a este proyecto para determinar planes de seguridad para prevenir accidentes producidos por una mala manipulación de los sistemas y componentes del robot. [18]
- **ISO 9283: 1998 Manipulating Robots - Performance Criteria and Related Test Methods:** Define las principales características de funcionamiento, describe cómo deben especificarse y recomienda como se deben realizar los test. También se recogen ejemplos

prácticos de cómo deben realizarse los informes de resultados, permite aplicar en este proyecto las características que describe la norma para realizar pruebas de rendimiento de los sistemas del robot como los son la precisión y repetibilidad, tiempo de estabilización de la posición, precisión de la trayectoria, entre otras. [19]

CAPITULO 3

3. DESARROLLO DEL SISTEMA MECATRÓNICO

La metodología usada en el diseño y desarrollo del sistema se basa en el modelo en V, alimentado con herramientas de diseño del producto de Ulrich (Ulrich & Eppinger, 2013). El diseño parte de la definición del concepto microscopio óptico digital, se estableció necesidades y características principales. Posteriormente se detalla el diseño. En el aspecto técnico, el capítulo muestra el proceso de diseño aplicado para el sistema de microscopio óptico digital, traslación en dos dimensiones, así como su estructura de soporte y fijación. Se diseña el efector final especializado para este sistema, y se detallan los aspectos físicos (hardware) considerados en el diseño del módulo de visión artificial. Se muestra también el diseño electrónico, las técnicas de obtención de datos de sensores, el tratamiento de señales y el diseño del circuito general. En cuanto al software se muestra el proceso de diseño de los algoritmos para el software de aplicación (interfaz), parte de control y potencia. Un aporte importante por parte del usuario es la entrega de una cámara digital USB de alta definición, como parte del efector final.

3.1. Definición del concepto

En el desarrollo del concepto del sistema se realizan tablas describiendo las necesidades y las características técnicas del proyecto, considerando a (Ulrich & Eppinger, 2013).

3.1.1. Requerimientos (matriz de necesidades)

Para tratar las necesidades del usuario, Ulrich y Eppinger (2013) proponen realizar una tabla de requerimientos por parte del usuario la cual nos ayuda a comprender cuales son los

requerimientos solicitados por el cliente u operador, de esta manera se hace un enfoque global del problema, se determinó la tabla de requerimientos mostradas en la Tabla 3:

Tabla 3.
Matriz de necesidades.

Número	Enunciado de necesidad
1	El tiempo de toma de muestras menor a 2 minutos.
2	Se debe controlar la luz interior
3	El equipo se controla desde un HMI.
4	Se requiere de un movimiento menor o igual a 2mm, en sus ejes
5	El enfoque del microscopio (cámara) debe ser automático.
6	Almacene puntos de la trayectoria realizada.
7	Movimientos constantes durante su desplazamiento.
8	El equipo sea desmontable.
9	La construcción del equipo es de bajo costo.
10	El equipo sea liviano.
11	El equipo es de fácil manipulación.
12	El equipo tiene una larga vida útil.

3.1.2. Diseño del sistema (características técnicas)

Las características técnicas ayudan a recoger las experiencias de los usuarios, por ejemplo: productos similares, ideas, videos. Con lo anterior expuesto se da un criterio de la mejor opción de fabricación.

Tabla 4.
Características técnicas

Número	Número de necesidad	Parámetro	Importancia	Unidades
1	1	Tiempo de toma entre imagen e imagen	5	#muestras/ segundo
2	2	Cantidad de luz interior.	5	Lux
3	3, 6	Fácil de utilizar.	5	min
4	4	Paso en cada eje.	4	μm
5	5	Sistema de enfoque movido por servo.	5	Rad
6	7, 13	Resistencia del material del equipo.	3	Mpa
7	8	Cantidad de piezas para ensamble.	2	#piezas
8	10,12	Masa total.	1	Kg
9	11, 12	Dimensión de ancho de la máquina.	3	m
10	11, 12	Dimensión de largo de la máquina.	3	m
11	11, 12	Dimensión de alto de la máquina.	3	m

El siguiente paso a realizar es el análisis QFD, que trata sobre la etapa de relaciones entre requerimientos y actividades, la cual consiste en identificar las actividades que se van a llevar a cabo para satisfacer que necesidades, y saber la relación están entre sí, como se observa en la **Figura 15**, en donde tenemos que 9 es una alta relación y 1 es una baja relación.

En la **Figura 15** se describe el despliegue de la función de calidad para este proyecto de titulación, con la metodología mostrada por Enrique Yacuzzi et al. (2016). El objetivo se centra en determinar la satisfacción del proyecto en etapas iniciales de diseño.

		<Orden de importancia	Tiempo de toma entre imagen e imagen	Cantidad de luz interior	Fácil de utilizar	Paso en cada eje.	Sistema de enfoque movido por servo.	Resistencia del material del equipo.	Cantidad de piezas para ensamble.	Masa total	Ancho del equipo	Largo del equipo	Alto del equipo
NECESIDADES	Tiempo de toma de muestras debe ser rápido	9	9	6	4	6	7	1	1	1	1	1	1
	Se debe controlar luz interna	2	4	9	4	1	3	1	1	1	1	1	1
	El equipo se controla desde un HMI	3	7	6	9	7	7	1	1	1	1	1	1
	Se requiere de un movimiento en micras	4	4	5	4	9	7	3	1	1	1	1	1
	El enfoque del microscopio debe ser automática.	10	6	6	5	9	9	1	1	1	1	1	1
	Almacenar puntos en la toma de muestra.	7	7	5	9	6	7	1	1	1	1	1	1
	Seguro y estable a movimientos.	13	3	1	3	6	1	9	1	1	1	1	1
	Que el equipo sea desmontable	8	1	1	1	1	1	1	9	1	1	1	1
	Que la construcción del equipo sea de bajo costo	6	1	1	1	3	1	4	7	6	1	1	1
	Que el equipo sea liviano	12	1	1	1	1	1	4	4	9	1	1	1
	Que el equipo ocupe un espacio pequeño en el laboratorio	5	1	1	1	1	1	1	1	1	9	9	9
	Que el equipo sea fácil de transportar	1	1	1	1	1	1	4	4	9	9	9	9
Larga vida útil del equipo.	11	1	1	1	4	1	9	1	1	1	1	1	
	Ponderación absoluta	329.3	342.4	322.4	357	343.8	228.5	263	318.1	320.6	320.6	321	
	Ponderación relativa	9.501	9.88	9.3	10.3	9.92	6.594	7.6	9.178	9.25	9.25	9.25	
	Orden de importancia	4	3	5	1	2	11	10	9	6	7	8	
	Unidad técnica	mstr/s	Lux	Min	µm	Rad	Mpa	#pzs	Kg	m	M	M	

Figura 15. Matriz QFD.

3.2. Definición de los subsistemas

Para el presente proyecto nos enfocamos en el diseño específico, y se hace referencia a los subsistemas con sus características deseadas, haciendo uso de todas las herramientas necesarias lo que permite controlar el proceso final requerido.

Para definir que subsistema es necesario comparar las posibles opciones con los parámetros más importantes anteriormente determinados, permitiéndonos así enfocarnos de mejor manera en los subsistemas que integran el proyecto.

3.2.1. Componentes mecánicos (subsistemas)

Los componentes mecánicos del proyecto presentado son: la estructura del robot, módulo de enfoque y la carcasa que envuelve al proyecto.

3.2.1.1. Estructura del robot

La estructura mecánica del robot está conformada por la disposición del robot y el sistema de transmisión de movimiento de motores a cada eslabón del mismo.

Tabla 5.

Matriz de calificación para selección de forma de la estructura del robot.

Parámetro de selección	Porcentaje de importancia	Cartesiano		SCARA		Antropomórfico	
		Valor	Total	Valor	Total	Valor	Total
Cantidad de piezas para ensamble	50%	2.5	0.8335	1	0.5	1	0.5
Ancho del equipo	16.67%	5	0.8335	3	0.5	3	0.5
Largo del equipo	16.67%	5	0.8335	3	0.5	3	0.5
Alto del equipo	16.67%	5	0.8335	1	0.17	1	0.17
		Total	5.007	Total	1.67	Total	1.67

La Tabla 5, nos indica que para el subsistema de posicionamiento la mejor opción de forma o disposición de robot es la cartesiana, por la facilidad de ensamblaje y de programación, además es de fácil construcción.

Tabla 6.

Matriz de calificación para selección de forma de transmitir movimiento.

Parámetro de selección	Porcentaje de importancia	Tornillo sin fin		Engrane		Banda	
		Valor	Total	Valor	Total	Valor	Total
Paso del sistema	33.33%	5	1.67	5	1.67	3	0.99
Fácil de utilizar	25%	5	1.25	3	0.75	5	1.25
Resistencia de material del equipo	8.33%	5	0.42	5	0.42	1	0.08
Cantidad de piezas para el ensamble	33.33%	5	1.67	1	0.33	3	0.99
		Total	5.01	Total	3.17	Total	3.31

La Tabla 6, indica la mejor forma de transmitir movimiento de motores a eslabones del robot en este caso es mediante tornillos sin fin, por la facilidad de ensamblaje y su cantidad de piezas a ensamblar, además el que, de mayor precisión, la cual es más crítico para este diseño.

3.2.1.2. Módulo de enfoque

En el area de ingenieria mecanica, el modulo de enfoque esta unicamente conformado por la forma de transmitir movimiento del motor al lente de la camara, permitiendo que se acerque o se aleje mas según como sea necesario.

Tabla 7.

Matriz de calificación para selección movimiento al enfoque de la cámara.

Parámetro de selección	Porcentaje de importancia	Tornillo sin fin		Engrane		Banda	
		Valor	Total	Valor	Total	Valor	Total
Paso del sistema	38.46%	5	1.923	5	1.923	3	1.1538
Sistema de enfoque	38.46%	5	1.923	5	1.923	3	1.1538
Masa total	15.38%	3	0.4614	5	0.769	5	0.769
Dimensiones	7.69%	1	0.077	5	0.3845	1	0.077
		Total	4.38	Total	5	Total	3.1536

La Tabla 7, indica que la mejor forma de transmitir movimiento para el enfoque de la cámara es mediante un engrane, por la facilidad de ensamblaje y su cantidad de piezas a ensamblar, además es tan preciso como se desea.

3.2.2. Componentes electrónicos

Los componentes electricos y electrónicos del proyecto presentado son: Sensor de posicionamiento de eslabones, actuador para movimiento de eslabones, actuador para movimiento de modulo de enfoque, iluminación, tarjeta de adquisición de datos, tarjeta de procesamiento, alimentación electrica del equipo.

3.2.2.1. Sistema de posicionamiento

Los sensores serán utilizados únicamente para que los eslabones de la estructura no se salgan de su pista.

Para determinar el porcentaje de importancia de cada función o parámetro a ser tomado en cuenta en esta sección de este subsistema, se realizará una tabla comparativa entre los parámetros, como se observa en la tabla 7.

Tabla 8.

Matriz de calificación para selección de sensor de posición de eslabones.

Parámetro de selección	Porcentaje de importancia	Fin de carrera		Infrarrojo		Capacitivo	
		Valor	Total	Valor	Total	Valor	Total
Fácil de utilizar	16.67%	5	0.8335	1	0.35	1	0.35
Resistencia de material del equipo	16.67%	5	0.8335	1	1.35	3	0.5
Cantidad de piezas para ensamblar	33.33%	5	1.67	3	0.55	3	0.99
Masa total	33.33%	5	1.67	5	0.27	3	0.99
		Total	5.007	Total	2.52	Total	2.83

La Tabla 8, nos indica que la mejor opción de sensores para cuidar que los eslabones no se separen de todo el conjunto son los fines de carrera.

3.2.2.2. Actuador para movimiento de eslabones

Los actuadores serán utilizados para generar movimiento rotacional controlado y así este pueda ser transformado en movimiento lineal para el desplazamiento de los eslabones que comprenden la estructura.

Para determinar el porcentaje de importancia de cada función o parámetro a ser tomado en cuenta, se realizará una tabla comparativa entre los parámetros, como se observa en la Tabla 9.

Tabla 9.

Matriz de calificación para selección de actuadores del movimiento de eslabones.

Parámetro de selección	Porcentaje de importancia	Motor a pasos		Servo motor	
		Valor	Total	Valor	Total
Fácil de utilizar	16.67%	3	0.5	5	0.8335
Paso en cada eje	33.33%	5	1.67	3	0.99
Resistencia de material del equipo	33.33%	5	1.67	3	0.99
Masa total	16.67%	3	0.5	5	0.8335
		Total	4.34	Total	3.65

La Tabla 9, nos indica que para el movimiento de los eslabones la mejor opción de actuadores para generar movimiento son los motores a pasos.

3.2.2.3. Actuador para movimiento de módulo de enfoque

El actuador será utilizado para generar movimiento rotacional controlado y así este pueda rotar el lente de la cámara para poder enfocar de mejor manera la muestra.

Para determinar el porcentaje de importancia de cada función o parámetro a ser tomado en cuenta, se realizará una tabla comparativa entre los parámetros, como se observa en la Tabla 10.

Tabla 10.

Matriz de calificación para selección de actuador para movimiento de enfoque.

Parámetro de selección	Porcentaje de importancia	Motor a pasos		Servo motor	
		Valor	Total	Valor	Total
Fácil de utilizar	16.67%	3	0.5	5	0.8335
Paso en cada eje	25%	3	0.75	3	0.75
Sistema de enfoque	41.67%	5	2.0835	5	2.0835
Masa total	16.67%	1	0.17	5	0.8335
		Total	3.5035	Total	4.5

La Tabla 10, nos indica el movimiento del lente de la cámara, la mejor opción de actuador para generar movimiento de enfoque es el servomotor.

3.2.2.4. Iluminación

Para la iluminación se usará una tira de luz LED DC, por un bajo consumo de energía, facilidad de ensamble y la fabricación del control requiere materiales electrónicos básico como resistencias y transistor.

3.2.3. Tecnología de la información

La tecnología de información trata sobre el software a diseñar y utilizar en el proyecto presentado, en nuestro caso debemos seleccionar un sistema operativo sobre el cual se puedan desarrollar las aplicaciones necesarias, además es necesario seleccionar el lenguaje de programación sobre el que se va a trabajar.

3.2.3.1. Cinemática inversa

La cinemática inversa trata sobre encontrar los valores que deben tomar las articulaciones del robot para que su elemento final se posicione y oriente de la forma deseada. La metodología utilizada para resolver este problema a partir de la matriz de transformación homogénea se muestra a continuación. (Carvajal, 2007).

Obtener la matriz de transformación homogénea T . Para nuestro caso tenemos que

$$T = A_1^0 A_2^1 A_3^2$$

Cuando se ha obtenido esta matriz, procedemos a determinar la inversa de cada una de las matrices A_i^{i-1} , para estos casos la inversa está dada por la matriz siguiente

$$(A_i^{i-1})^{-1} = \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x & -n^T P_x \\ n_y & s_y & a_y & -s^T P_y \\ n_z & s_z & a_z & -a^T P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Y tenemos que:

$$(A_1^0)^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$(A_2^1)^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$(A_3^2)^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Entonces usaremos el siguiente procedimiento para determinar la cinemática inversa partiendo de:

$$(A_1^0)^{-1}T = A_2^1 A_3^2$$

$$(A_1^0)^{-1}(A_2^1)^{-1}T = A_3^2$$

Debido a que la configuración de nuestro robot es cartesiana, no presenta un alto grado de dificultad para determinar su cinemática inversa, ya que solo es necesario conocer cuáles son las coordenadas en el plano cartesiano en las cuales se encuentra el objeto y así determinar la movilidad para cada eslabón.

3.2.3.2. Estructura soporte

Para determinar el tipo de estructura adecuada se debe considerar las cargas que pueden producirse durante su funcionamiento debido a fuerzas y torques por el uso de sus componentes, también es importante los pesos que soportará, los cuales se presentan en resumen en la .

Tabla 11.

Tabla 11.*Tabla de pesos que soportara la estructura.*

Elemento	Peso Unitario [N]	Cantidad	Peso Total [N]
Tornillo sin fin	0.196	1	0.196
Ejes	0.147	2	0.294
Bocines	0.0245	4	0.098
Fin de carrera	0.0735	2	0.147
Estructura de cámara	0.89	1	0.89
Mecanismo de cámara	0.588	1	0.588
Servo MS645	0.49	1	0.49
Motor NEMA	3.43	1	3.13
		TOTAL	5.833

Tabla 12.*Matriz de calificación para selección de material para la estructura del robot*

Parámetro de selección	de	Porcentaje de importancia	Aluminio		Hierro		Plástico	
			Valor	Total	Valor	Total	Valor	Total
Peso total del equipo		50%	4	2	1	0.5	5	2.5
Maquinabilidad		16.67%	5	0.83	2	0.33	3	0.5
Resistencia mecánica		16.67%	4	0.67	5	0.67	1	0.17

Resistencia térmica	16.67%	5	0.83	5	0.67	1	0.17
		Total	4.33	Total	2.17	Total	3.34

La

Tabla 12, indica que el material óptimo para la construcción de la estructura es el aluminio.

La mayor deformación de soporte se dará en la viga en la cual se está realizando el análisis, la cual tiene 26 cm de longitud. La estructura esta empotrada en ambos extremos, con lo cual tenemos una viga hiperestática, con doble empotramiento con una carga puntual en el centro de la estructura como se observa en la *Figura 16*. La carga total que soporta la viga se la obtiene sumando la carga que cada elemento de la .

Tabla 11, aporta individualmente.

$$W_{TOTAL} = 0.196 + 0.294 + 0.098 + 0.147 + 0.89 + 0.588 + 0.19 + 3.13 + 5.833$$

$$W_{TOTAL} = 5.833 [N]$$



Figura 16. Diagrama de viga empotrada en ambos extremos.

Fuente: Propia

Para calcular los momentos generados en cada empotramiento tenemos que:

$$M = \frac{P * L}{8}$$

$$M_A = M_B = \frac{5.833 * 0.13}{8}$$

$$M_A = M_B = 0.19 [Nm]$$

Es necesario hallar las reacciones en la viga, las cuales podemos obtener de la sumatoria de fuerzas en “Y”.

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A + R_B - P = 0$$

$$R_A + R_B = 5.833[N]$$

Se realiza suma de momentos en el punto A:

$$\sum M_A = 0$$

$$-M_A + M_B + R_B * L - P * \frac{L}{2} = 0$$

$$R_B = \frac{P}{2} = 2.9165 \text{ [N]}$$

$$R_A = 2.9165 \text{ [N]}$$

Se debe realizar el diagrama de cortante, el cual sera analizado en los tres puntos mas criticos, los cuales son el centro y los extremos de la viga, obteniendo el diagrama indicado en la **Figura 17**:

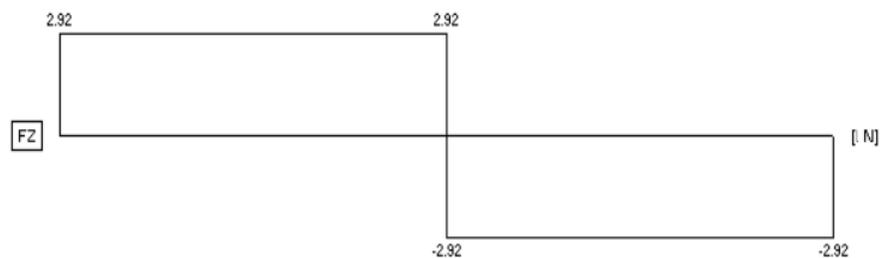


Figura 17. Gráfico de cortante en estructura soporte.

Fuente: Propia

Luego se calcula los momentos críticos que tendrá la viga en los puntos indicados anteriormente, obteniendo un diagrama de momento flector mostrado en la Figura 18.

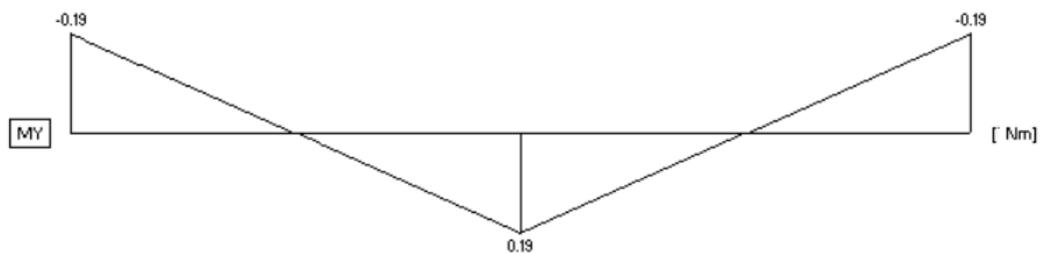


Figura 18. Gráfica de momento flector del eje guía de la estructura.

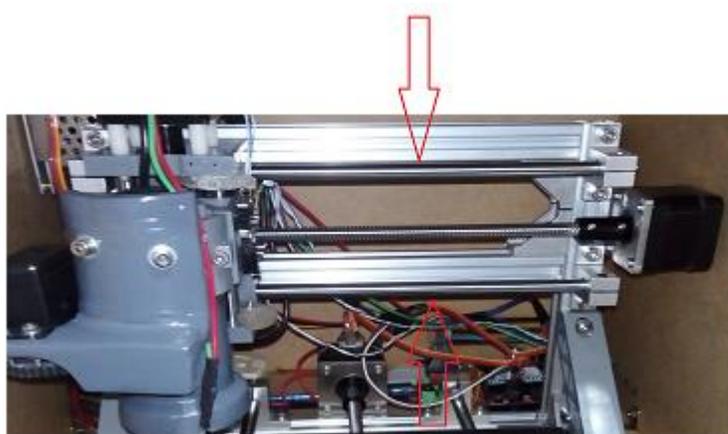


Figura 19. Eje guía soporta el peso del efector final.

A continuación se debe calcular el módulo de sección plástica en torno al eje x (Z_x), basándose en el momento hallado, además se necesita como dato el límite de tensión de fluencia mínima (F_y), de material del cual está hecho el eje que soportara las cargas, para el caso es acero inoxidable con un límite de fluencia de 176 MPa, para lo cual utilizaremos la siguiente ecuación:

$$M_n = M_p = F_y * Z_x$$

$$Z_x = \frac{M_p}{F_y} = \frac{0.19 [N * m]}{176000000 \left[\frac{N}{m^2} \right]} = 0.0000000015 [m^3]$$

A continuación, se debe realizar el análisis de sección para un cilindro de 0.6 cm de diámetro, ya que este cilindro es el que soportará las cargas antes calculadas.

$$Z_x = \frac{4 * R^3}{3} = \frac{4 * 0.0045^3}{3} = 0.0000001215 [m^3]$$

Para verificar que la sección a utilizar en nuestra estructura para soportar las cargas del proyecto, realizamos el calculo del factor de seguridad, relacionando el modulo de sección escogido anteriormente, con el módulo de sección calculado obtenido con las cargas.

$$FS = \frac{0.0000001215[m^3]}{0.0000000015[m^3]}$$

$$FS = 81$$

El factor de seguridad obtenido es relativamente alto, pero se pretende usarlo porque es estándar y específico en el uso de estas aplicaciones, de fácil adquisición y un costo económico en relación a otros materiales

3.2.3.3. Diseño tornillo sin fin

El tornillo sin fin a utilizar tiene las siguientes especificaciones.

- Tornillo: THSL-300-8D
- Material: Acero inoxidable
- Rosca: métrica
- Diámetro: 8 mm
- Paso: 2 mm
- Hilo: 8 mm
- Longitud: 300 mm
- Tuerca de bronce

Para el proyecto, los tornillos en total son tres, cada uno correspondiente a un eje de movimiento diferente, X, Y, Z, respectivamente.

En nuestro caso el eje que tiene mayor carga es el eje Z, según el libro “Diseño en ingeniería mecánica” de Shigley, (Diseño de ingeniería mecánica, 2008) la ecuación de tornillo in fin es la siguiente.

$$Tr = \frac{F * d_m}{2} \left(\frac{l + \pi * f * d_m}{\pi * d_m - f * l} \right)$$

Donde

F = fuerza sobre el tornillo

d_m = diametro de paso

f = fricción

l = avance o paso

$$d_m = d - \frac{p}{2} = 8 \text{ mm} - \frac{2 \text{ mm}}{2} = 7 \text{ mm}$$

$$f = 0,17$$

El valor de f se lo obtiene de la tabla 8 – 5 del libro de “Diseño de ingeniería mecánica” de Shigley. (Diseño de ingeniería mecánica, 2008).

El esfuerzo que va a soportar el tornillo, está indicado en la .

Tabla 11, sin tomar en cuenta el peso del motor, ya que este se encuentra fuera de este sistema, teniendo así una fuerza de aplicación sobre el tornillo de

$$W = 2.703 \text{ [N]}$$

Para determinar la fuerza total que se aplica sobre el tornillo es necesario utilizar la siguiente formula

$$F = W + Fr$$

Donde Fr es la fuerza de fricción, la cual calcularemos con los diagramas de cuerpo libre de la siguiente Figura 20.

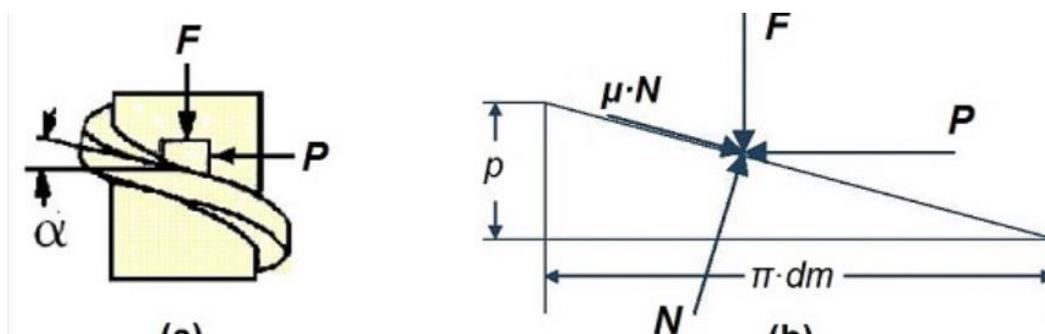


Figura 20. Diagrama de cuerpo libre tornillo sin fin.

Fuente: (Diseño de ingeniería mecánica, 2008)

$$\sum Fy = (\mu * N) \operatorname{sen} \alpha + W - N * \operatorname{Cos} \alpha = 0$$

Según la tabla de fricción de diferentes materiales con acero, del trabajo de titulación “Diseño del sistema eléctrico y de control para una mesa cartesiana XYZ” de Arango Jhon y Carlos Zuluaga, el coeficiente de fricción dinámico entre Acero forjado y Acero es de 0.019, con este dato podemos calcular la normal N.

$$N = 3.1412 [N]$$

$$Fr = 0.06[N]$$

Obteniendo así

$$F = W + Fr$$

$$F = 2.703 + 0.06 = 2.763[N]$$

Donde:

$$Tr = \frac{2.763[N] * 0.007[m]}{2} \left(\frac{0.002[m] + \pi * 0.17 * 0.007[m]}{\pi * 0.007[m] - 0.17 * 0.002[m]} \right)$$

$$Tr = 0.002562[Nm]$$

Ahora se debe calcular el esfuerzo cortante, debido al Tr sobre el exterior del cuerpo del tornillo, esto se hace mediante la siguiente ecuación.

$$\tau = \frac{16 Tr}{\pi d_r^3}$$

Donde

Tr= Torque requerido

dr= Diámetro menor = 7 mm

$$\tau = \frac{16 * 0.002562[N * m]}{\pi * (0.007[m])^3} = \frac{0.041}{0.0000011} = 0.037272[MPa]$$

El esfuerzo axial normal σ es:

$$\sigma = -\frac{4 * F}{\pi * dr^2} = -\frac{11.052}{0.000154} = -0.071766[MPa]$$

El esfuerzo flexionante en la raíz de la rosca σ_b se calcula reemplazando F por 0.38F, debido a que en experimentos realizados en este tipo de tornillos la carga máxima se la toma en la primera rosca, entonces.

$$\sigma_b = \frac{6(0.38F)}{\pi * dr * p} = \frac{6(0.38 * 2.763)}{\pi * 0.007 * 0.002} = 0.14323[MPa]$$

Se obtiene entonces que:

$$\sigma_x = 0.14323 MPa$$

$$\tau_{xy} = 0$$

$$\sigma_y = 0$$

$$\tau_{yz} = 0.037272 MPa$$

$$\sigma_z = -0.071766 MPa$$

$$\tau_{zx} = 0$$

Para determinar qué el tornillo sin fin seleccionado cumplirá con las condiciones de carga a los que estará sometido, se utiliza la teoría de Von Misses, para luego verificar el factor de seguridad a partir del esfuerzo equivalente de Von Misses y el esfuerzo de fluencia del material.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x\sigma_y - \sigma_x\sigma_z - \sigma_y\sigma_z + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}$$

$$\sigma' = \sqrt{0.14323^2 + 0.071766^2 + 0.01028 + 3(0.037272^2)}$$

$$\sigma' = 1.7303[MPa]$$

Con el material del tornillo sin fin que es un acero ASI – SAE 1020, se puede encontrar que su esfuerzo de fluencia $S_y=205$ MPa, entonces nuestro factor de seguridad es:

$$Nf = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{205}{1.7303} = 118.47$$

Como el valor de factor de seguridad garantiza el buen funcionamiento del tornillo en el eje más crítico, podemos considerar este tornillo sin fin funcional para el equipo.

Una vez realizado el análisis teórico de la estructura robotizada, es tiempo de evaluar los cálculos obtenidos con las respectivas acciones y reacciones en los elementos críticos de la misma, y así conocer si la estabilidad se cumple y los elementos están fuera de peligro debido al peso que debe soportar.

En tal virtud se tiene:

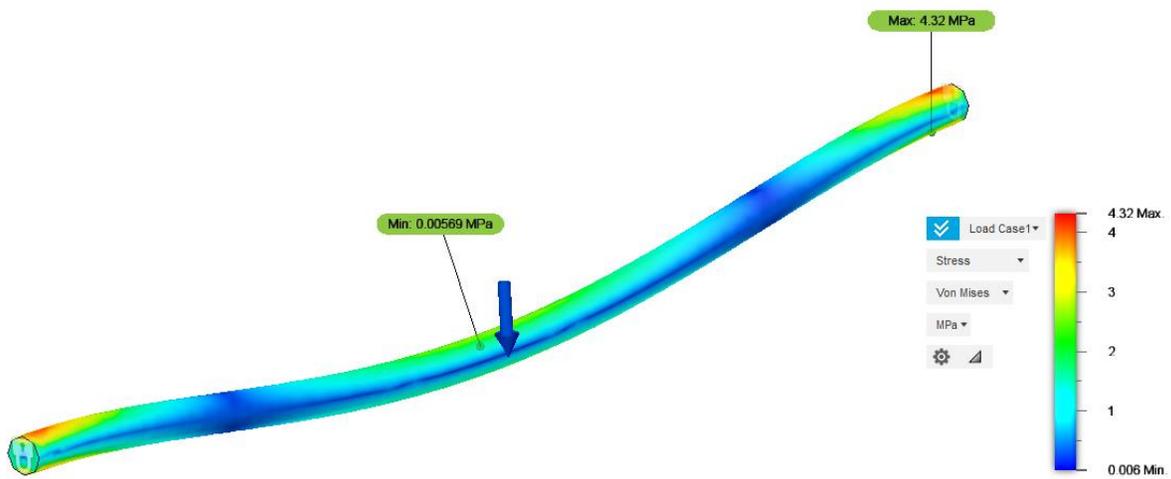


Figura 21. Guía de soporte de la cámara de microscopía (estudio realizado a 15 N).

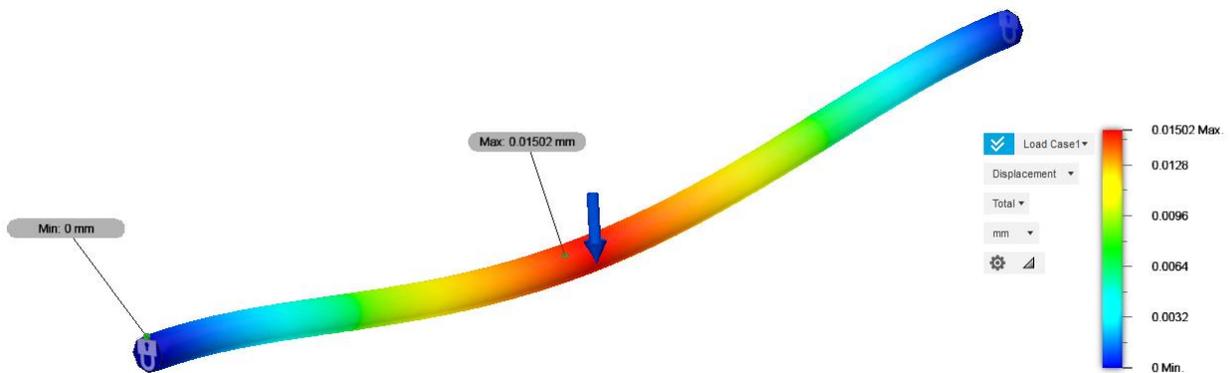


Figura 22. Desplazamiento de la guía de soporte (estudio realizado a 15 N).

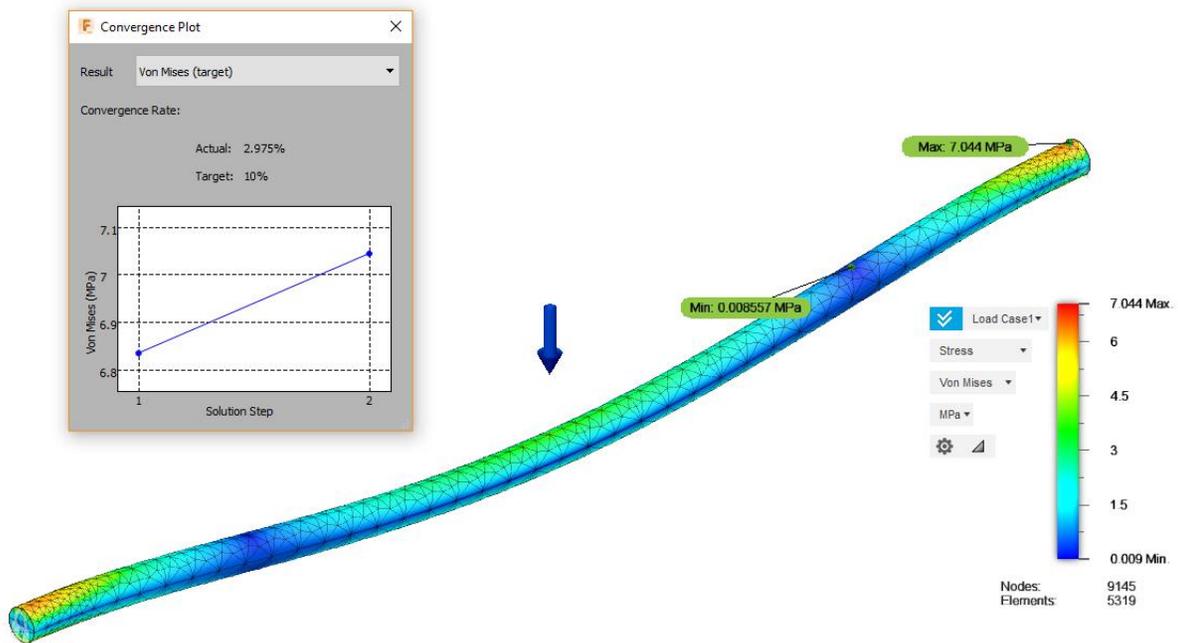


Figura 23. Curva de convergencia del guía soporte de la cámara.

El análisis de la curva de convergencia da como resultado 2.975% estando los parámetros dentro del rango de aceptación.

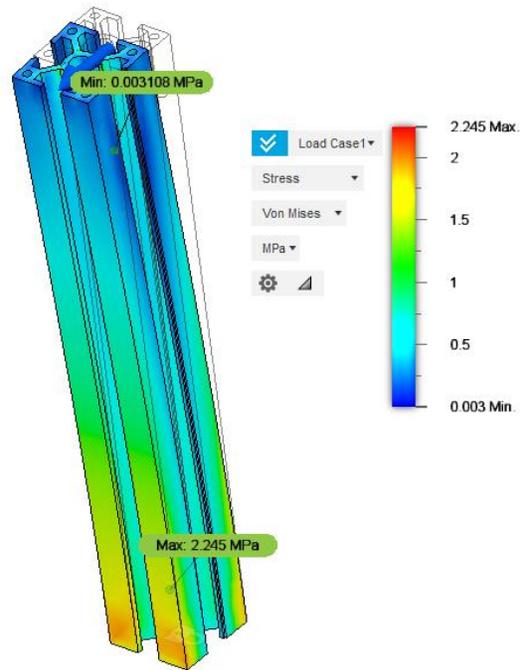


Figura 24. Esfuerzos de la columna de la estructura. (Estudio realizado a 20 N).

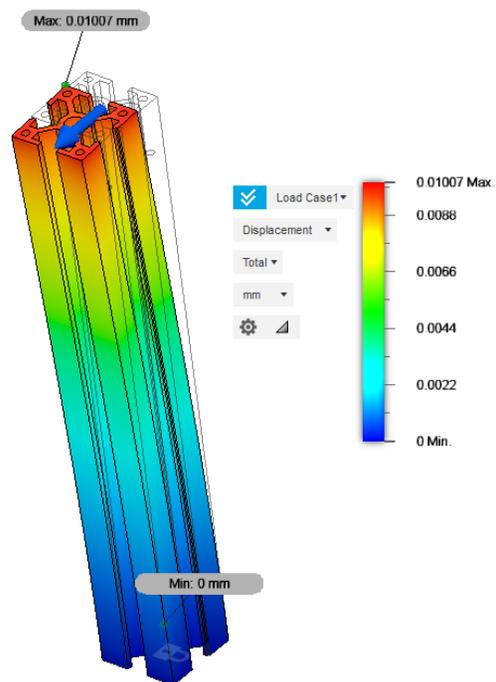


Figura 25. Desplazamientos de la columna de la estructura. (Estudio realizado a 20 N).

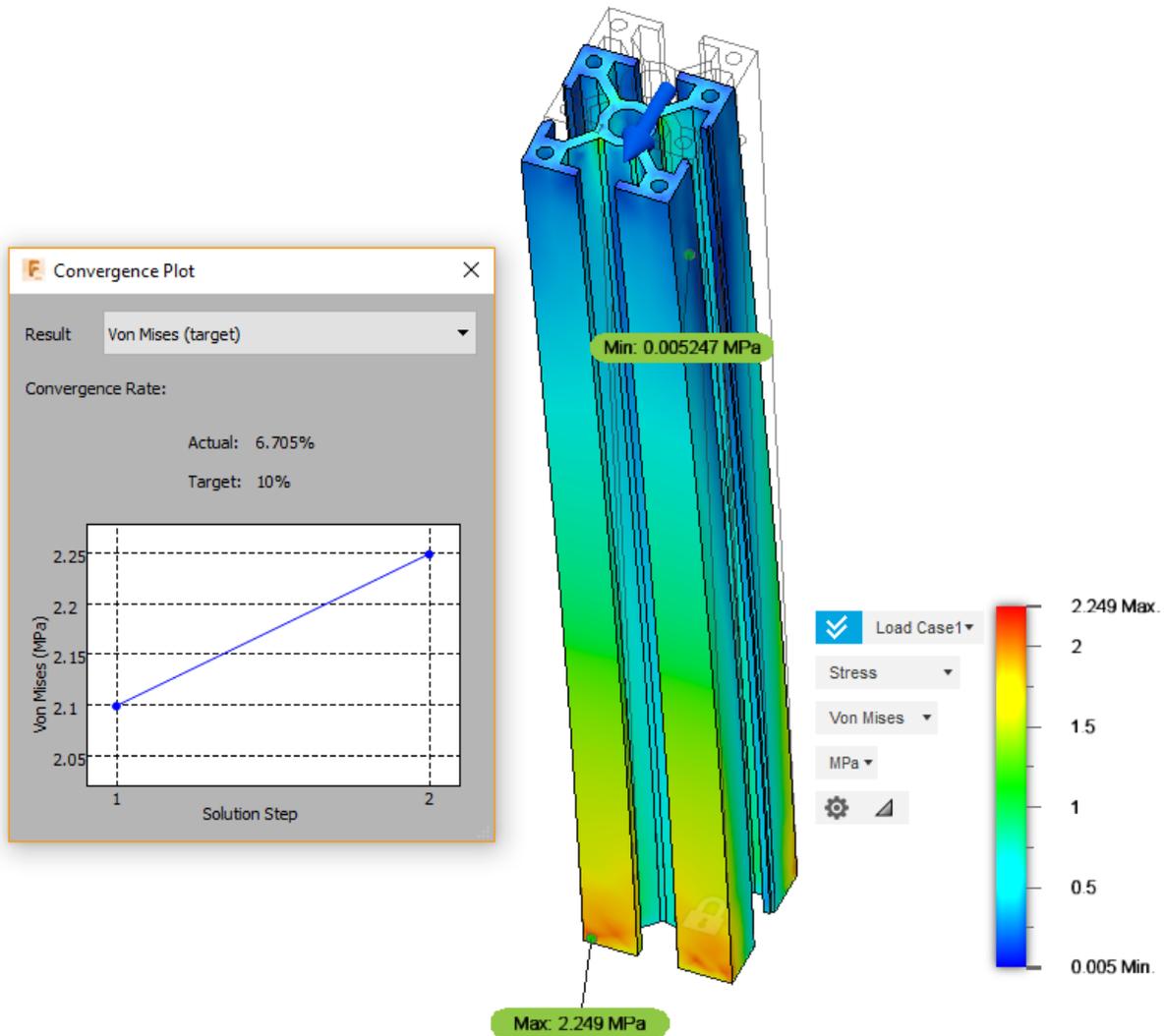


Figura 26. Curva de convergencia del perfil de la estructura.

El análisis de la curva de convergencia da como resultado 6.705% estando los parámetros dentro del rango de aceptación.

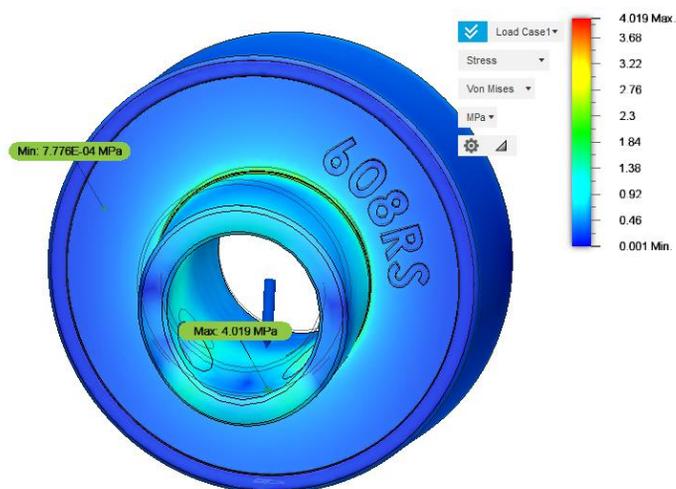


Figura 27. Esfuerzos del rodamiento 608RS de la mesa. (Estudio realizado a 20 N).

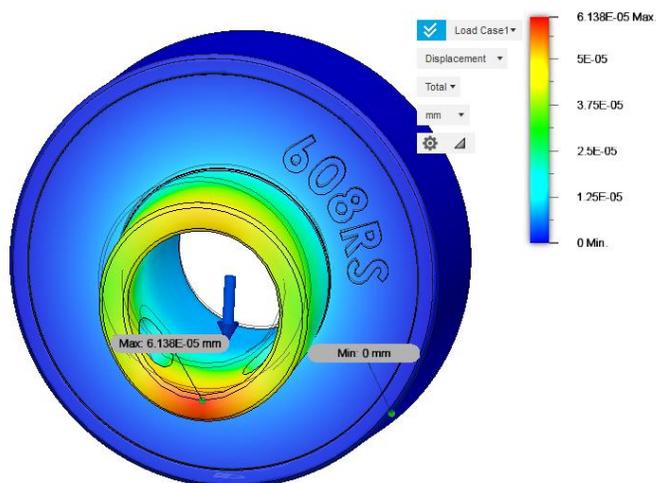


Figura 28. Desplazamientos del rodamiento 608RS de la mesa. (Estudio realizado a 20 N).

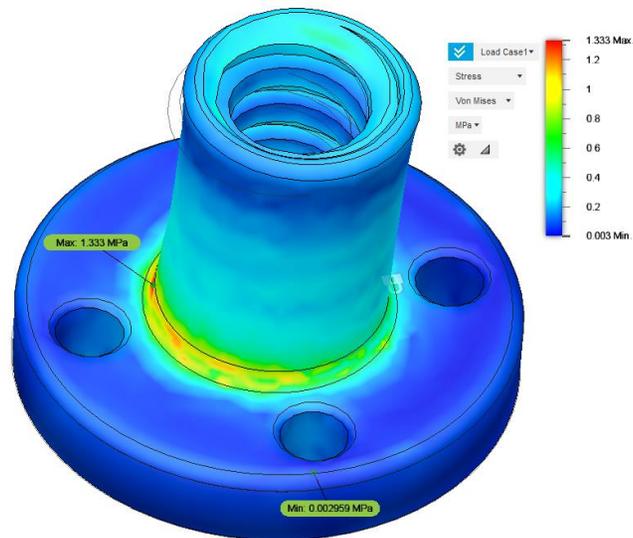


Figura 29. Esfuerzos realizados en el soporte del tornillo sin fin. (Estudio realizado a 50 N).

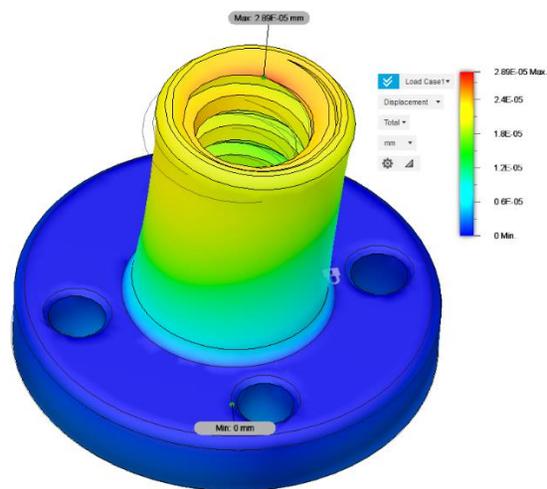


Figura 30. Desplazamiento soporte del tornillo sin fin. (Estudio realizado a 50 N).

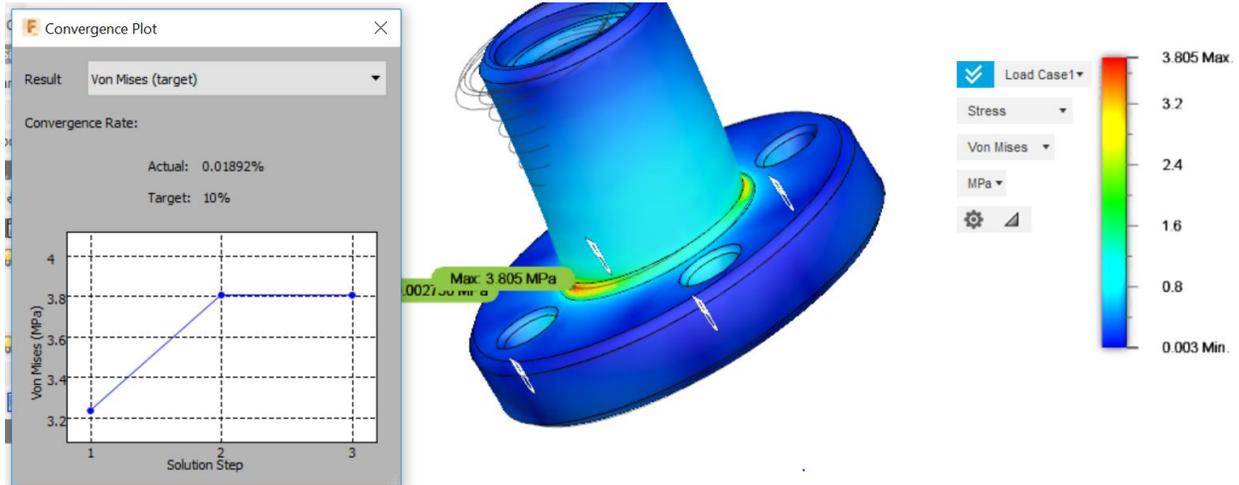


Figura 31. Curva de convergencia realizados en el soporte del tornillo sin fin

El análisis de la curva de convergencia da como resultado 6.705% estando los parámetros dentro del rango de aceptación.

Como se puede observar, los elementos críticos están expuestos a esfuerzos de hasta 15 veces más debido a su factor de seguridad. Esto confirma que los elementos están sobredimensionados y perfectos para la aplicación actual.

3.2.4. Eléctrica / Electrónica

Con el sistema mecánico descrito, es tiempo de implementar el sistema eléctrico y electrónico que gobernará el sistema, para lo cual se demostrará un diseño de arquitectura del sistema en la versión de hardware. Tal y como se muestra en la siguiente Figura 32.

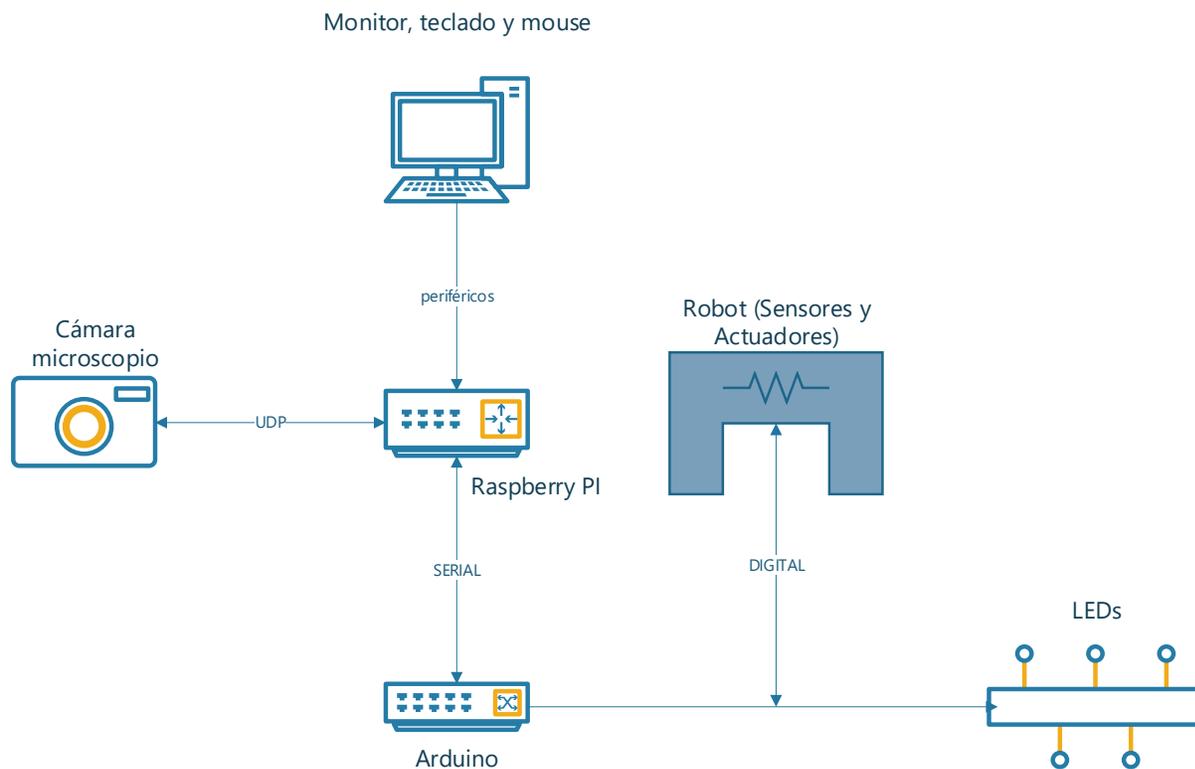


Figura 32. Arquitectura del sistema

3.2.4.1. Dimensionamiento de dispositivos de control

Los elementos de control deben ser seleccionados, por su fácil instalación, uso y mantenimiento de ser necesario, además se debe considerar elementos que existan en el mercado nacional y que cumpla con nuestros requisitos.

3.2.4.1.1. Sensor de posicionamiento

El sensor de posicionamiento seleccionado en la Tabla 8, nos indica que los fines de carrera son la mejor opción para determinar el tope del movimiento de eslabones, las características del fin de carrera utilizado.

Tabla 13.
Características fin de carrera.

Característica	Valor
Actuador	Palanca de articulación
Temperatura funcionamiento	de -25 ° C – 85 ° C
Voltaje	125 – 250 V
Amperaje	5 A

3.2.4.1.2. Luz led

La luz led seleccionada en la Tabla 10, nos indica que la mejor conexión de luz led es DC, las características del sistema de luz escogido se muestran en la siguiente Tabla 14.

Tabla 14.
Características de tira led.

Característica	Valor
Voltaje	12 V
Color	Blanco frío
Ancho	8 mm
Espesor	2.5mm

3.2.4.1.3. Motor a pasos

La selección del motor a pasos realizada en la Tabla 9, nos indica que la mejor opción son los motores a pasos, las características de los motores seleccionados se indican en la siguiente Tabla 15.

Tabla 15.
Características motor a pasos.

Característica	Valor
Longitud	34 mm
Corriente	1.33 A
Voltaje	12 V
Torque	0.25 N/m

3.2.4.1.4. Tarjeta de adquisición de datos

La selección de la tarjeta de adquisición de datos realizada al inicio del proyecto, nos indica que la mejor opción es una tarjeta Arduino Mega, el cual posee las características mostradas en la siguiente Tabla 16.

Tabla 16 .
Características tarjeta adquisición de datos.

Características	Valor
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de entrada	7 – 12 V
Pin digitales	54
Pin analógicos	16
Corriente entrada	20 mA
Velocidad de reloj	16 MHz

3.2.4.1.5. Tarjeta de procesamiento

La selección de la tarjeta de procesamiento de datos realizada como parámetros iniciales, indica que la opción más viable es una tarjeta Raspberry Pi 3, la cual posee las características mostradas en la siguiente Tabla 17.

Tabla 17.
Características RaspBerry PI 3

Características	Valor
Procesador	Quad Core 1.2 GHz
Tarjeta	Broadcom BCM2837 64bit CPU
RAM	1 GB
Puerto USB	4
Pin de salida	40
Resolución	Full size HDMI
Voltaje	5 V

3.2.4.2. Circuitos de control

Los circuitos de control están diseñados para ser reemplazados de forma fácil, de ser el caso.

3.2.4.2.1. Luz led

Para el control de la luz LED, se utiliza una señal que viene controlada desde la tarjeta Raspberry Pi 3, y así se puede aumentar o disminuir la intensidad de la luz las necesidades de las muestras. En la siguiente Tabla 18 se indica los materiales utilizados en el diseño de este circuito.

Tabla 18.

Elementos utilizados en el circuito de luz LED.

CODIGO	MATERIAL	VALOR
R1	Resistencia	470 Ω
Q1	Transistor	2N2222
Fuente	Fuente	12 V
LED1	Tira LED	9 leds

Con los materiales indicados en la Tabla 18, el circuito diseñado se muestra en la Figura 33.

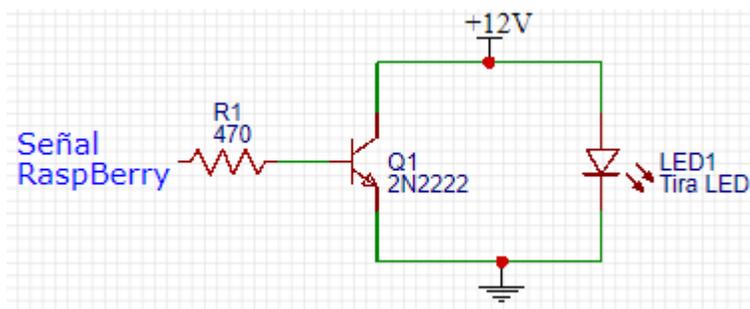


Figura 33. Diagrama de circuito de conexión de luz LED.

3.2.4.2.2. Construcción de circuito de luz led

El diseño realizado previamente en la Figura 33 del circuito para la tira de luz led, nos permite construir un PCB, como se muestra en la Figura 34.

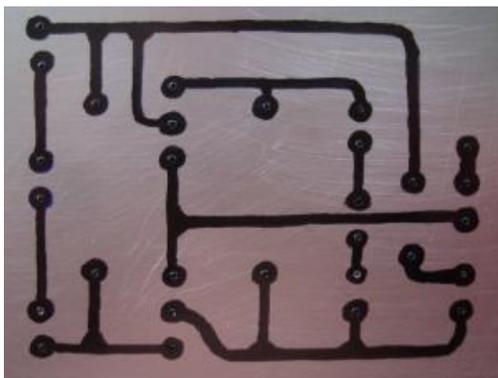


Figura 34. Circuito tiras led.

3.2.4.2.3. Fines de carrera

Para el control que realizan los fines de carrera en el proyecto, es necesario que estos envíen o corten una señal constante informando que el robot llegó a su punto límite, para lo cual se diseñó un circuito el cual posee los siguientes componentes mostrados en la Tabla 19.

Tabla 19.

Elementos utilizados en el circuito fin de carrera.

CODIGO	MATERIAL	VALOR
R1	Resistencia	330 Ω
DIP1	Fin de carrera	5A250
Fuente	Fuente	12 V

Con los materiales indicados en la Tabla 19, el circuito diseñado se muestra en la Figura 35.

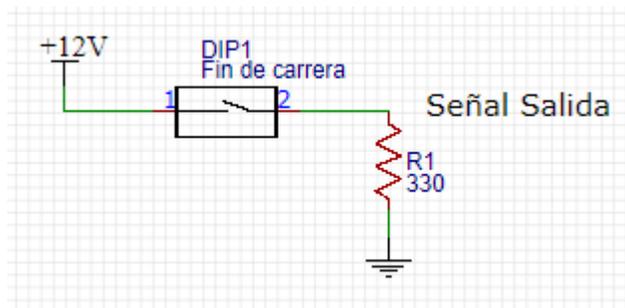


Figura 35. Diagrama de circuito de conexión de fines de carrera

3.2.4.2.4. Construcción de circuito de fines de carrera

El diseño realizado previamente en la Figura 35 del circuito para la tira de luz led, nos permite construir un PCB, como se muestra en la *Figura 36*.

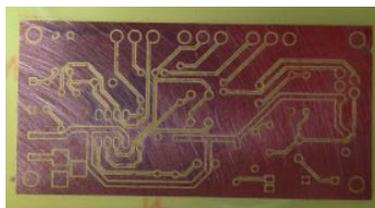


Figura 36. Circuito fines de carrera.

3.2.5. Software

El apartado siguiente demuestra el acercamiento de diseño de los algoritmos usados en este proyecto de titulación producto del análisis de los requerimientos del proyecto.

Para ello, se tienen a continuación los criterios considerados para el desarrollo de los algoritmos y su posterior implementación en los paquetes de software correspondientes y el porqué de su selección.

3.2.5.1. Requerimientos de software

Se explican a continuación, las necesidades de los algoritmos:

- La estructura posee motores controlables mediante electrónica de baja potencia. Por ende, se opta por un control de velocidad automático (para las operaciones de posicionamiento por cálculos) y manual (para el posicionamiento a necesidad del usuario).
- Control de cámara y protocolos adecuados para la transmisión en vivo del video en la Interfaz Humano-Máquina.
- Control del enfoque de la cámara y del zoom respectivo desde la HMI.
- Interfaz de selección de usuario y contraseña.
- Opciones de base de datos (guardado de archivos en formato de imágenes, recopilación de datos de posicionamiento).

3.2.5.2. Selección de los paquetes de software para la placa de diseño Arduino

Como se especificó y explicó en subtemas anteriores, una placa de desarrollo electrónico es necesaria para el control de los motores desde una unidad de procesamiento. En este caso se ha optado por Arduino. Adicionalmente, se tiene motores paso a paso unipolares que son controlados por drivers como el mostrado por la Figura 37.

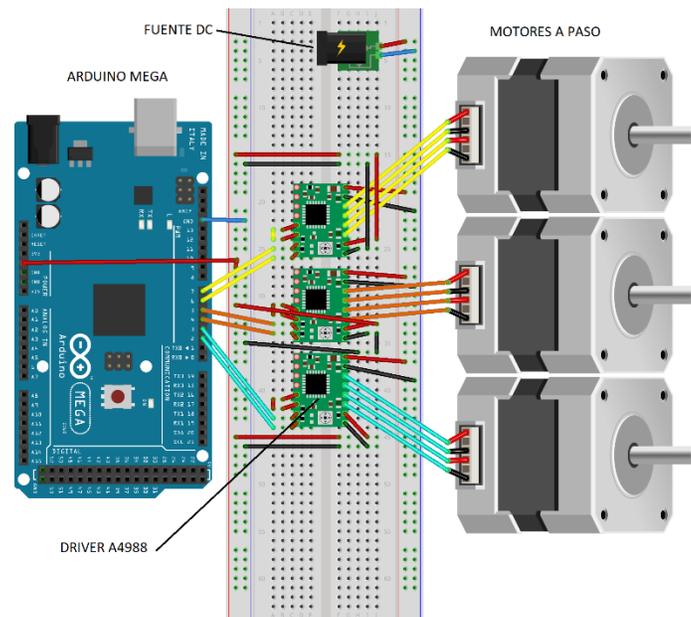


Figura 37. Diseño electrónico para un motor a pasos mediante el driver A4988.

Por tanto, la placa Arduino necesita de un procesamiento desde su IDE que cumpla con el siguiente tipo de funcionamiento que se muestra en la *Figura 38*.

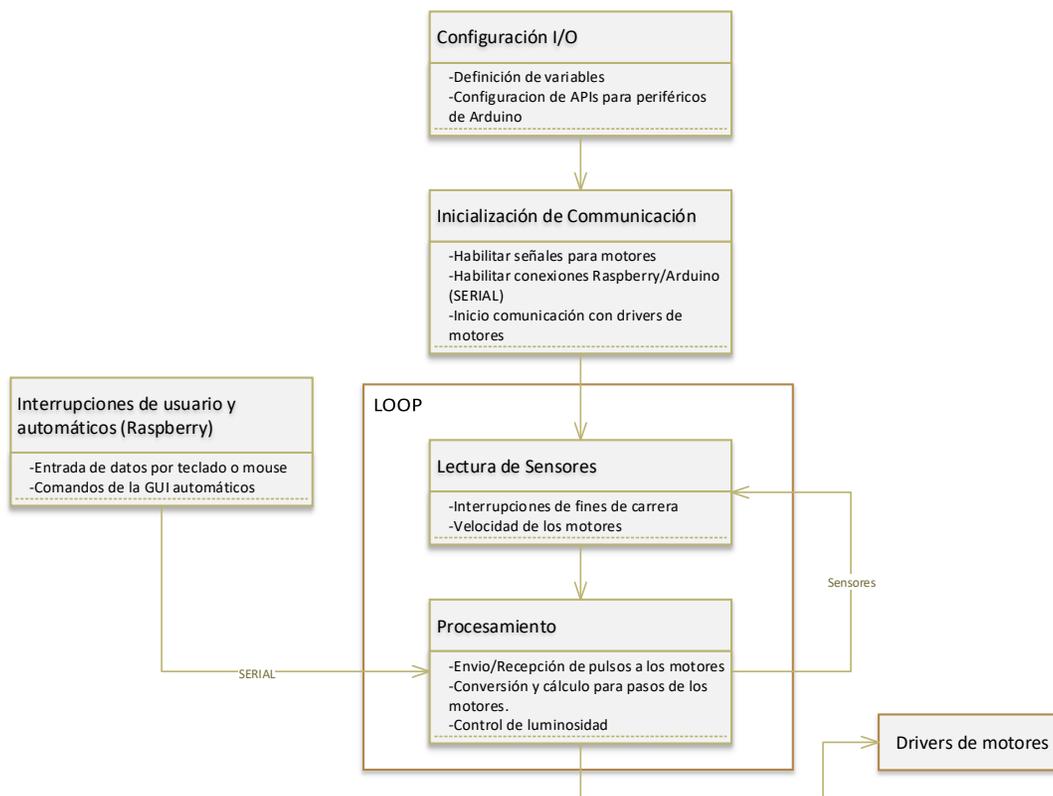


Figura 38. Procesamiento de Arduino para la estructura robótica de microscopio.

3.2.5.3. Selección de paquetes para la placa Raspberry PI

Como segunda parte del análisis, se encuentra el diseño de software para la placa Raspberry PI que es la encargada de controlar el procesamiento de Arduino para su consecuente control del sistema (motores y sensores del sistema posicionador de la cámara) y de la captura de imágenes por parte de la cámara para microscopía (streaming, toma de capturas y control de enfoque) y además proporcionar una interface de interacción con el usuario.

A diferencia de la placa Arduino, en Raspberry PI se tiene una gama de paquetes de programación para aplicaciones denominados GUI Frameworks que tienen la capacidad de crear

aplicaciones de escritorio dependiendo del objetivo que se necesite. En tal virtud, se especifican algunos disponibles para el sistema operativo Debian que tiene Raspberry implementado.

Tabla 20.
Selección del entorno de programación

Paquete de Software	Características
Qt	<p>Qt es un Framework para GUIs popular que incluye todos los widgets básicos y está disponible para muchas plataformas de idiomas, incluyendo Python, Java y C.</p> <p>Le da al programador más libertad de elección al crear un programa GUI. Sin embargo, Qt es software propietario, y los programas creados con el marco Qt pueden estar sujetos a la licencia GPL de Nokia.</p>
Tkinter	<p>Tkinter es posiblemente la biblioteca más usada para los programas de Python, y es compatible con todas las plataformas, incluyendo Windows, OS X y Linux.</p>
Swing	<p>Swing es una biblioteca de GUI multiplataforma escrita para programas basados en Java.</p> <p>Swing, una Java Foundation Class, proporciona muchas características comunes de GUI, incluidos botones, etiquetas, texto, casillas de verificación, listas, cuadros combinados, campos de entrada e incluso cuadros de diálogo de archivos.</p> <p>Swing es también la biblioteca de GUI más actualizada; Los widgets pueden tener aspectos personalizados, y los widgets Swing son más eficientes que los widgets AWT, lo que resulta en tiempos de carga más rápidos.</p>
GTK+	<p>GTK +, es una biblioteca muy popular para crear aplicaciones basadas en GUI, y está disponible para Python, C e incluso Java.</p> <p>Todos los widgets estándar, incluidos los botones, controles deslizantes y combo boxes, están disponibles aquí.</p> <p>GTK + está licenciado bajo la Licencia Pública General Menor GNU, lo cual es ventajoso. Permite que tanto el software libre como el propietario lo utilicen.</p>

wxWidgets	<p>wxWidgets es otra biblioteca de GUI que también es multiplataforma y está disponible en muchos idiomas, incluyendo C, Python y Java.</p> <p>Es gratuito y de código abierto, ideal para vender programas basados en wxWidget.</p> <p>wxWidgets incluye todos los widgets básicos, incluidos botones, cuadros de texto, campos de entrada y barras de desplazamiento, lo que lo convierte en una buena opción para aquellos que desean crear muchos programas GUI con características que no están totalmente implementadas (es decir, es bueno para la expansión).</p>
------------------	---

Con esta clasificación se puede ponderar y establecer una selección efectiva del mejor entorno de creación de software para este proyecto en específico.

El software de aplicación debe cumplir con los siguientes parámetros:

- Establecer comunicación asíncrona con la placa Arduino con capacidades de interrupciones inmediatas.
- Comunicación con la cámara y control de streaming/captura.
- HMI de interacción con el usuario
- Compatibilidad con los paquetes externos de software.

Tabla 21.
Selección de software

	Comunicación con Arduino (SERIAL)	Comunicación y control de cámaras	HMI	Compatibilidad con software externo	Suma + 1	Ponderación (%)
Qt	0.5	0.8	1	1	4.3	25.90
Tkinter	0.7	0.4	0.7	0.8	3.6	21.69
Swing	0.4	0.3	0.2	0.3	2.2	13.25
GTK+	0.6	0.4	0.4	0.7	3.1	18.67
wxWidgets	0.5	0.6	0.5	0.8	3.4	20.48
				SUMA	16.6	100.00

Con el anterior análisis se deduce que Qt es la opción más apropiada para este sistema, pues a pesar de que tiene licencia de software propietario, las capacidades de comunicación y procesamiento son más versátiles que las **opciones alternas**. Además, la versión gratuita no caduca y es muy robusta para aplicaciones de carga rápida y en robótica.

Con lo anterior, se puede ahora demostrar los criterios de diseño ocupados para cada uno de los puntos descritos y como abordar el proyecto de software seleccionando las herramientas más apropiadas del framework Qt.

3.2.5.4. Comunicación serial (Arduino - Raspberry)

El método a usarse es el serial asincrónico puesto que la lectura de los sensores o la entrada de datos por parte del usuario no está determinada por eventos calculables en el tiempo. Así, este

método proporciona dos ventajas: uno, la rapidez de la comunicación serial se puede hacer hasta los 115200 baudios/segundo dotándole al robot de una precisión y una repetibilidad sin precedentes. Y dos, la capacidad de interactuar con el programa principal y procesar datos en cualquier momento sin interferir con el ciclo normal del programa.

Para la comunicación Serial en Qt se requieren de los siguientes elementos:

- Enumerador de protocolo
- Lector asincrónico.
- Escritor asincrónico
- Qt multimedia (procesamiento de cámara)

Estos deben cumplir un orden y secuencia a manera de algoritmo antes de iniciar el proceso.

Para lo cual se demostrará en el siguiente diagrama el proceso de diseño que se recomienda seguir para implementar este proyecto en particular.

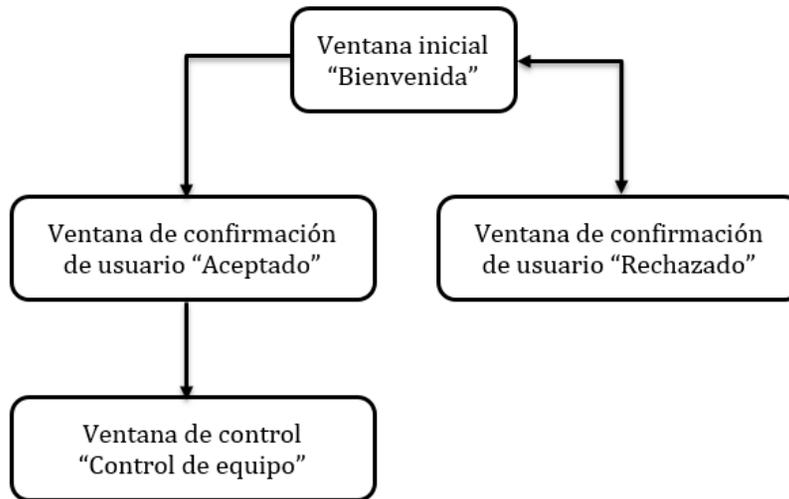


Figura 40. Diagrama de arquitectura y navegación del HMI.

El software diseñado está basado en el diseño del HMI, mostrado en la Figura 40, en la cual nos define la forma de navegación y la estructura del HMI. A continuación, se indica la distribución de cada pantalla que conforma el HMI.

3.2.5.5.1. Ventana de “INICIO”

En la ventana de inicio mostrada en la *Figura 41*, el equipo da la bienvenida y pide ingresar usuario y contraseña.



Figura 41. Ventana de inicio.

3.2.5.5.2. Ventana de confirmación de usuario “INGRESO”

En la ventana de confirmación mostrada en la *Figura 42*, indica que el usuario y la clave ingresados son los correctos, por lo tanto, pide una aceptación para acceder a la ventana de configuración y monitoreo del equipo.

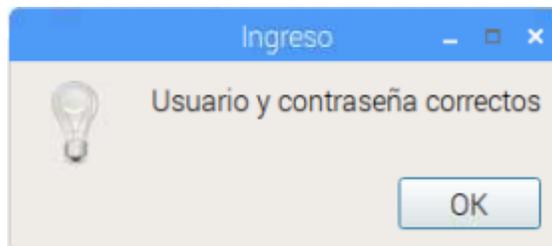


Figura 42. Ventana de confirmación "ingreso".

3.2.5.5.3. Ventana de configuración y monitoreo “Camera”

En la ventana de configuración y monitoreo mostrada en la **Figura 43**, controlar el posicionamiento del equipo, moviendo sus tres ejes hasta poder localizar la muestra, también se puede ampliar la imagen utilizando un zoom que posee el equipo, además se controla la cantidad de luz necesaria para obtener una buena imagen de la muestra, para luego capturarla en video o imagen.

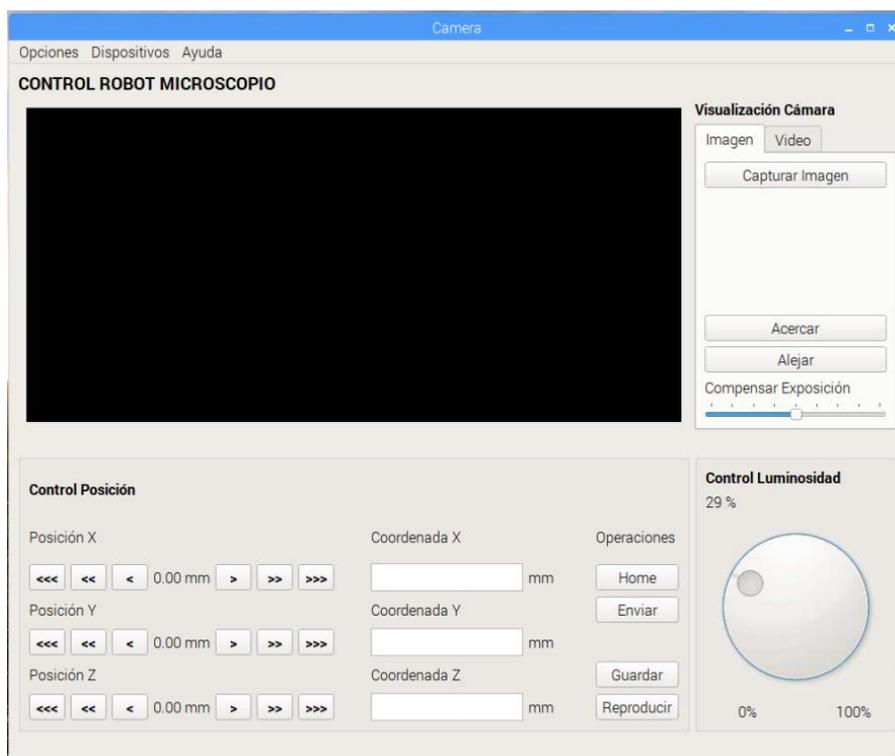


Figura 43. Ventana de configuración y monitoreo.

CAPÍTULO 4

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

En el capítulo presente se detallan las pruebas realizadas por el equipo una vez ya entregado, con trabajo de campo real. Se detallan los resultados basados en la Norma ISO 9283 para la parte mecánica.

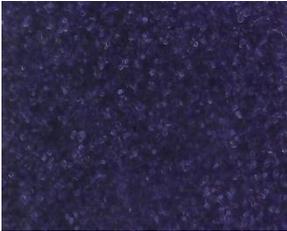
4.1. Prueba y resultados

Las pruebas que se van a realizar a continuación son: luminosidad, precisión y exactitud, tomando como referencia la norma ISO 9283, para fabricación de manipuladores robóticos.

4.1.1. Luminosidad

El ensayo de iluminación realizado consiste en tomar una misma imagen varias veces, pero variando el botón "Control Luminosidad" del HMI en diferentes posiciones.

Tabla 22.
Control de luminosidad.

Valor porcentaje luminosidad	Imagen	Análisis
20%		Imagen realizada al 20% del valor máximo de luminosidad con una observación casi nula de la muestra.
50%		Con el 50% de luminosidad se logran apreciar puntos ocultos, imposibles de ver en la imagen anterior.
70%		La intensidad de luz al 70% nos permite observar una imagen de mayor calidad y con una justa iluminación.
100%		la calidad de la muestra se ve afectada por el exceso de luz y refracta los colores originales.

Esta prueba se realizó ya que el equipo posee un control de luminosidad incluido para mejorar la calidad de imagen y además como se puede observar es de suma importancia

dependiendo del tipo de muestras a analizar, ya que, si la muestra es un material con capacidad de reflejar la luz, es mejor utilizar una bala luminosa para evitar un reflejo en el lente de la cámara.

4.1.2. Pruebas y resultados mecánicos

Las pruebas a realizarse orientadas a mecánica del equipo está basado en la norma 9283:1998 (ISO (international Organization for Standardization), 1998), la cual está relacionada con la manipulación de robots industriales, esta norma en general define los protocolos de pruebas para diferentes desempeños del sistema, tomando en cuenta las más importantes, se analizará la repetitividad y la precisión que alcance el dispositivo en funcionamiento, para los análisis requeridos se tomaron puntos arbitrarios, para este caso específico los puntos referenciales son: X= 51,72 cm, Y= 35.24 cm y Z= 6,95 cm ,tomaron los datos mostrados están siguiente Tabla 23.

Tabla 23.

Datos obtenidos de pruebas de posicionamiento realizadas en el equipo.

N°	Eje X [mm]	Eje Y [mm]	Eje Z [mm]
1	51.72	35.24	6.95
2	51.72	35.24	6.95
3	51.62	35.24	6.95
4	51.72	35.24	6.95
5	51.72	35.24	6.95
6	51.72	35.24	6.95
7	51.82	35.14	6.95
8	51.72	35.24	6.95
9	51.72	35.14	6.95
10	51.72	35.24	6.95
11	51.62	35.24	6.95

Continúa 

12	51.72	35.14	6.95
13	51.62	35.14	6.95
14	51.62	35.34	6.95
15	51.72	35.14	6.95
16	51.72	35.14	6.95
17	51.62	35.34	6.95
18	51.62	35.14	6.95
19	51.62	35.14	6.95
20	51.62	35.14	6.95
21	51.72	35.24	6.95
22	51.72	35.24	6.95
23	51.62	35.24	6.95
24	51.72	35.24	6.95
25	51.72	35.14	6.95
26	51.62	35.14	6.95
27	51.62	35.14	6.95
28	51.62	35.14	6.95
29	51.62	35.14	6.95
30	51.62	35.14	6.95

Para el análisis de estos factores propuestos, es necesario el análisis de la *Figura 44*.

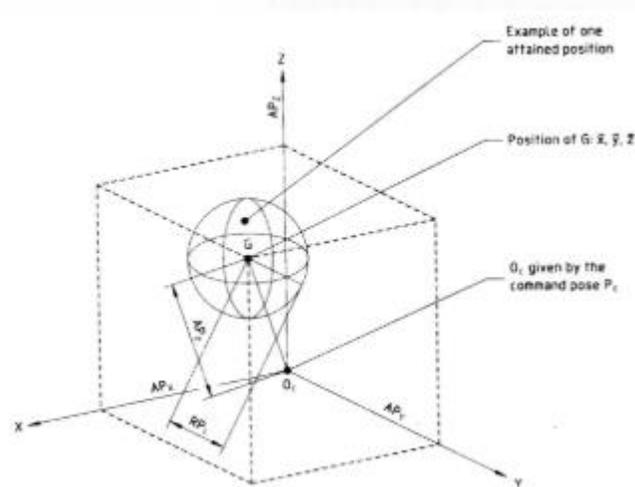


Figura 44. Precisión de posicionamiento y repetitividad.

Fuente: (Standard, 2005)

4.1.2.1. Repetitividad

La repetitividad representa la proximidad entre posiciones obtenidas luego de una cantidad n de visitas repetidas a dicha posición desde la misma dirección. Para una posición dada, la repetitividad se expresa como el valor de RP_l , que se expresa como el radio de la esfera cuyo centro es el baricentro en la Figura 44, y se calcula como:

$$RP_l = \bar{l} + 3S_l$$

Donde:

$$\bar{l} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n l_j$$

$$l_j = \sqrt{(x_j - \bar{x})^2 + (y_j - \bar{y})^2 + (z_j - \bar{z})^2}$$

$$S_l = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (l_j - \bar{l})^2}{n - 1}}$$

Al resolver las ecuaciones obtenemos que

$$RP_l = \pm 0.16 [mm]$$

La repetibilidad obtenida como resultado de la norma es ± 0.16 milímetros

4.1.2.2. Precisión

Para el calculo de presición en un manipulador robótico, el analisis debe realizarse en función de los componentes, que se indican en las siguientes ecuaciones

$$AP_p = \sqrt{(\bar{x} - x_c)^2 + (\bar{y} - y_c)^2 + (\bar{z} - z_c)^2}$$

$$AP_x = (\bar{x} - x_c)$$

$$AP_y = (\bar{y} - y_c)$$

$$AP_z = (\bar{z} - z_c)$$

En donde al resolver las ecuaciones obtenemos una presición de:

$$AP_p = \pm 0.08 [mm]$$

la precisión resultante según la aplicación de la norma para este caso en particular es ± 0.08 milímetros.

4.1.3. Pruebas y resultados de funcionamiento

Para realizar la prueba de funcionamiento del equipo se tomó como muestra una probeta de grafeno, el cual por imágenes publicadas en el trabajo “Determinación del espesor de grafeno usando reflexión y contraste espectral” realizado por H. Wang en el 2018, se puede observar la *Figura 45*.

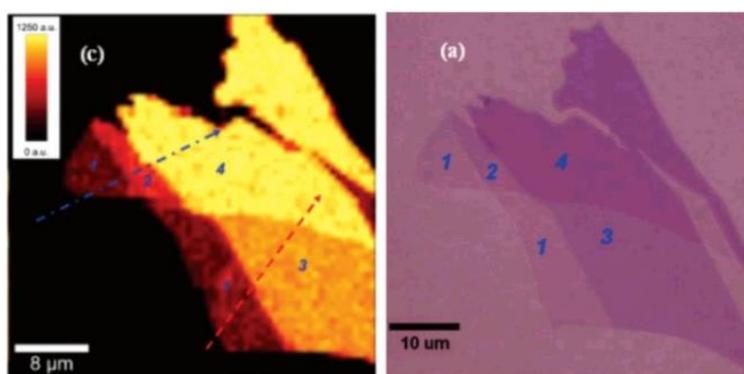


Figura 45. Imagen óptica de grafeno.

Fuente: (Wang, 2007)

Y las imágenes realizadas con el equipo diseñado y construido, se obtuvieron las siguientes imágenes, en una muestra de grafeno.



Figura 46. Imagen de grafeno con el equipo construido y diseñado.

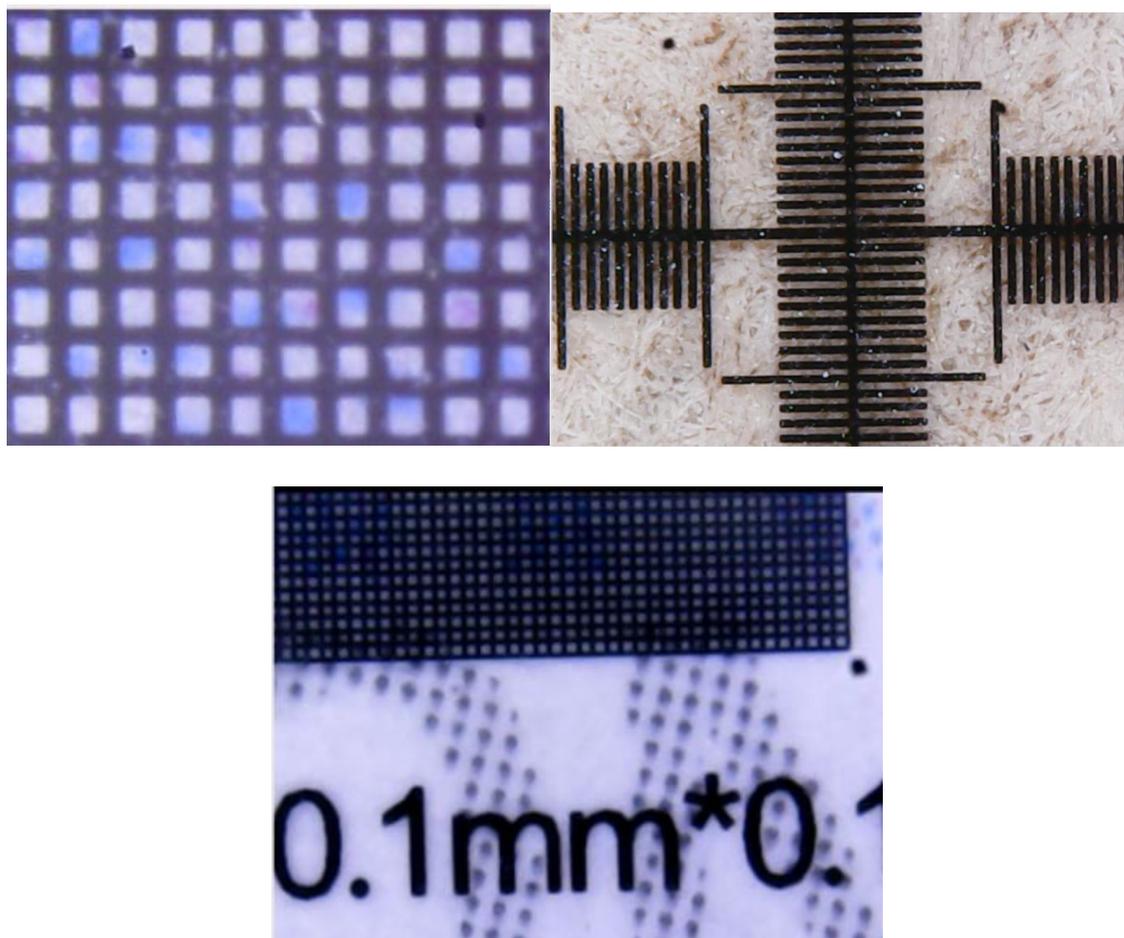


Figura 47. Imágenes reales de la cámara y su sistema de medición.

Como se observa en las microscopías de la Figura 46, la importancia de tener una resolución excelente es que permite reconocer las formas de interés al hacer la microscopía del grafeno. Con las fotografías se puede observar algunos ítems interesantes referentes al enfoque y manejo de la cámara microscópica.

A pesar de sus grandes magnitudes, los microscopios electrónicos de escritorio no tienen la capacidad de moverse ni de obtener imágenes convergentes del entorno para el modelado, sin

embargo con la estructura robotizada de este proyecto se puede mejorar la convergencia de la imagen al tener un control fino de la estructura que gobierna la cámara.

Con el uso del dispositivo se mejora el análisis de muestras grandes pues tiene la capacidad de generar histogramas técnicos y detallados, a saber, el dispositivo puede moverse distancias específicas gracias al control.

Puesto que se trata de un dispositivo de precisión sujeto a muchas variables externas que puedan variar la fiabilidad de la medición, el sistema fue desarrollado con la posibilidad de ajustar el hardware y conjuntamente poder calibrar por software las guías de medida en pantalla. Así, se obtiene la mejor medición posible, independientemente del modelo de cámara, siempre y cuando se use el instrumento de medida provisto por el fabricante, como observa en la Figura 47.

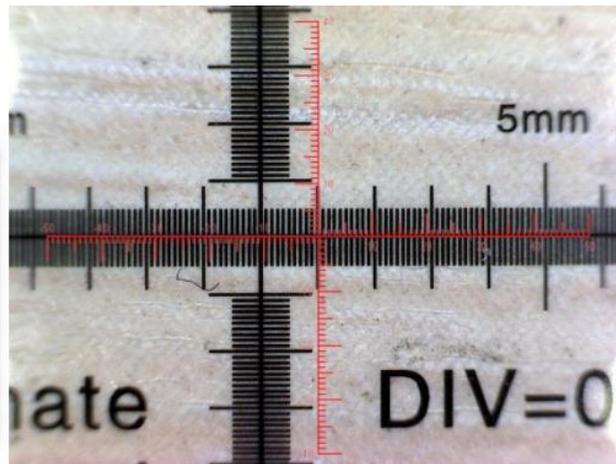
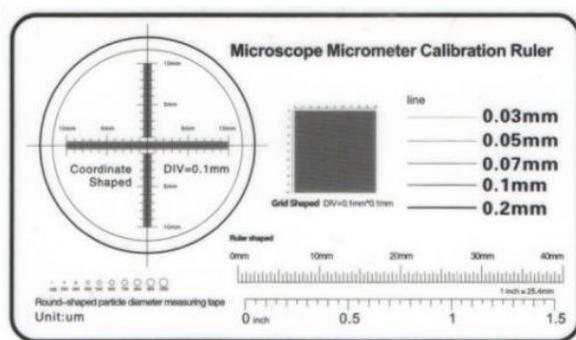


Figura 48. Izq. Regla con medidas microscópicas. Der. Medida en tiempo real.

Fuente: Bangood.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se realizó el diseño y construcción de un equipo de posicionamiento y enfoque controlado por el usuario desde un HMI, para la utilización de un dispositivo digital capaz de amplificar una muestra dada.
- Se realizó el diseño y construcción de la estructura soporte con distribución de un robot cartesiano, el cual tiene movimiento en los tres ejes cartesianos, su movimiento está gobernado por motores a paso.
- Se realizó el diseño y construcción de un acople para el correcto enfoque de muestras, el cual está gobernado por un servomotor, el cual se lo puede controlar desde un HMI, y de esta manera mejorar la calidad de imagen observada por el dispositivo.
- Se realizó el diseño e implementación de un interfaz humano maquina (HMI), la cual está basada en la guía ergonómica para el diseño de interfaz de supervisión (GEDIS), la cual nos garantiza un fácil entendimiento y navegación a través del HMI del equipo.
- Se logró obtener un paso mínimo como precisión de 10 micras para el movimiento de los ejes en ' X, Y y Z', y un repetibilidad de ± 0.1 milímetros en los ensayos experimentales.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda disponer el equipo sobre una superficie firme, ya que las imágenes a capturar son de tamaño micrométrico, cualquier perturbación externa desenfoca la muestra.

- Cuando se realiza el acercamiento a la muestra, revisar y evitar el choque del robot con la muestra, ya que esto podría fracturar la cámara o romper la muestra.
- Al iniciar el proceso siempre aplastar el botón HOME para obtener mejor posicionamiento del efector final.
- Cuando se graba una imagen y cuando se reproduce una coordenada dada, dejar que termine su trabajo para realizar otra operación.

5.3. Trabajos futuros

- Ocupar dispositivos o lentes que aumenten el zoom hasta 2000x, y así realizar estudios estructurales en otro tipo de materiales.
- Patentar el dispositivo para en un futuro comercializarlo con costos menores a los existentes en el mercado, para que más personas se beneficien de este proyecto.

CAPÍTULO 6

6. BIBLIOGRAFÍA

Almeida, G. (2009). *Fundamentos generales de la robotica*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.

Barrietos, A. (1997). *Fundamentos de robótica*. Madrid: McGraw-Hill.

Barrietos, A. (2007). *Fundamentos de robótica*. Madrid: McGraw-Hill.

Bolton, W. (2013). *Mecatrónica, sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica*. Alfaomega.

Carvajal, J. (2007). *Modelamiento y diseño de robots industriales*. Colombia: Unisalle.

cnme. (20 de Diciembre de 2018). *Centro Nacional de Microscopía Electrónica*. Obtenido de http://www.cnme.es/index.php?option=com_content&view=article&id=11&Itemid=150

Diseño de ingeniería mecánica. (2008). En J. K. Richard G. Budynas, *Diseño de ingeniería mecánica de Shigley*. Mexico: McGraw-Hill Interamericana.

Electric, S. (2013). *NEMA 23 1.8 degrees 2-phase stepper motor*.

Groover, M. P. (1990). *Robótica industrial, tecnología, programación*. McGraw Hill.

<http://www.eslocotidiano.com/articulo/sociedad/grafeno-material-batalla-aplicaciones-futuro/20180404191645044515.html>. (s.f.).

Moehringer, G. (2003). *The V model VDI 2206*.

Robotics, A. (s.f.). <http://dualtronics.com.br/es/lo-que-hacemos/sistemas-roboticos>. Obtenido de dualtronics.

Standard, I. (2005). *Manipulating Industrial Robots - Performance Criteria And Related Test Methods*. New Delhi: Bureau Of Indian Standards.

Wang. (2007). Determinación del espesor del grafeno, usando reflexión y contraste espectroscópico,. 6.

ANEXO