



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

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

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

**TEMA: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA
MATRIZ DE CELDA TRANSPORTADORA FLEXIBLE CON UN
ALGORITMO DE REALIMENTACIÓN VISUAL PARA OPTIMIZAR EL
TRANSPORTE DE OBJETOS EN LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA**

**AUTORES: ESCOBAR TIGMASA, LUIS MIGUEL
GARZÓN CANCHIGNIA, DIEGO MAURICIO**

DIRECTOR: MSC. ING. TERÁN HERRERA, HÉCTOR COCHISE

LATACUNGA

2018



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MATRIZ DE CELDA TRANSPORTADORA FLEXIBLE CON UN ALGORITMO DE REALIMENTACIÓN VISUAL PARA OPTIMIZAR EL TRANSPORTE DE OBJETOS EN LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA”*** fue realizado por los señores ***Escobar Tigmasa, Luis Miguel y Garzón Canchignia, Diego Mauricio***, 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 permite acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 27 de Julio del 2018.

Ing. Héctor Cochise Terán Herrera

C.C.: 050268046-5



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, *Escobar Tigmasa, Luis Miguel y Garzón Canchignia, Diego Mauricio*, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MATRIZ DE CELDA TRANSPORTADORA FLEXIBLE CON UN ALGORITMO DE REALIMENTACIÓN VISUAL PARA OPTIMIZAR EL TRANSPORTE DE OBJETOS EN LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA”** es de nuestra 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 es veraz.

Latacunga, 27 de Julio del 2018.

Luis Miguel Escobar Tigmasa

C.C.: 050378680-8

Diego Mauricio Garzón Canchignia

C.C.: 050331468-4



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **ESCOBAR TIGMASA, LUIS MIGUEL** y **GARZÓN CANCHIGNIA, DIEGO MAURICIO**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MATRIZ DE CELDA TRANSPORTADORA FLEXIBLE CON UN ALGORITMO DE REALIMENTACIÓN VISUAL PARA OPTIMIZAR EL TRANSPORTE DE OBJETOS EN LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 27 de Julio del 2018.

Luis Miguel Escobar Tigmasa

C.C.: 050378680-8

Diego Mauricio Garzón Canchignia

C.C.: 050331468-4

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedicó principalmente a Dios por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, darnos fuerzas para seguir adelante, y enfrentar las adversidades y los problemas que se presentan en la vida.

A mis padres, por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyaron en todo momento. Gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto se los debo a ustedes.

A mi hermanas, por estar conmigo y apoyarme siempre, y que vean en mí un ejemplo a seguir.

A todos aquellos familiares y amigos que en algún momento supieron darme ánimos y también ayudarme económicamente para poder culminar esta etapa de mi vida.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

Luis Escobar

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico a Dios, debido a que es quién supo guiarme por el buen camino, dándome fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin desfallecer en el intento.

A mis padres que en todo el transcurso de la universidad me han motivado en mi formación académica, creyendo en mí en todo momento, siendo un pilar fundamental en mi vida, que a través de sus consejos me han enseñado valores, principios, que día a día me hacen ser mejor persona.

A mi universidad que nos abrió sus puertas, ya que supo formarme como persona y como profesional, las oportunidades y momentos que me han brindado son incomparables.

Diego Garzón

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios, por guiarme en el sendero correcto de la vida, cada día en el transcurso de mi camino e iluminándome en todo lo que realizo en mi convivir diario.

Gracias a nuestro tutor Ing. Héctor Terán, por guiarnos y por el tiempo prestado en el desarrollo del presente proyecto.

Gracias a mis padres que son mis mayores promotores durante este proceso.

A mi familia, que fueron los responsables de realizar su pequeño aporte, que el día de hoy se ve reflejado en la culminación de mi paso por la universidad.

Luis Escobar

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por guiarnos en el sendero correcto de la vida, cada día a lo largo de nuestro camino, a nuestro tutor Ing. Héctor Terán , por guiarnos y por el tiempo prestado en el desarrollo del presente proyecto, a todos los profesores que nos formaron a través del conocimiento con la finalidad de formar excelentes profesionales, a mi querida carrera gracias por permitirme formar parte de este grupo de los cuales me llevó muy buenos momentos y experiencias, a mi padre ya que supo ayudarnos en la construcción del prototipo, finalmente agradezco a toda mi familia que me apoyó durante el transcurso de mi paso por la universidad.

Diego Garzón

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICES DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii

CAPÍTULO I

PRINCIPIOS TEÓRICOS DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Justificación e importancia.....	1
1.3. Objetivos del proyecto.	2
1.3.1. Objetivo general.	2
1.3.2. Objetivos específicos.....	2
1.3.3. Hipótesis.	2
1.3.4. Variables de la investigación.	3
1.4. MARCO TEÓRICO.....	3
1.4.1. Manufactura integrada por computador (CIM)	3
1.4.2. Visión Artificial.....	10

CAPÍTULO II

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

2.1.	Introducción.....	18
2.2.	Sistema de transmisión de movimiento	18
2.3.	Actuadores	23
2.4.	Diseño de selección de actuadores	26
2.5.	Diseño del eje largo del sistema piñón-cremallera.....	33
2.6.	Diseño del eje corto del sistema piñón-cremallera.....	40
2.7.	Diseño de los soportes del Sistema de visión artificial.....	45
2.8.	Diseño del sistema de control.....	49
2.9.	Tarjeta de control	50
2.10.	Drivers de control para motores DC.	53
2.11.	Pre procesamiento	57
2.11.1.	Adquisición de entorno	58
2.11.2.	Pre procesamiento	59
2.11.3.	Resultado.....	63
2.11.4.	Cámara del sistema de visión artificial.....	64
2.12.	Fuente de alimentación.	67
2.13.	Ordenador	68

CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

3.1.	Introducción.....	72
3.2.	Ensamblaje del sistema mecánico.....	73
3.3.	Construcción del armazón.....	74
3.4.	Construcción de los mecanismos de movimiento.....	75
3.5.	Construcción de los soportes para rodamientos.....	78
3.6.	Construcción de la base de apoyo y la base móvil.....	80
3.7.	Implementación eléctrica y electrónica.....	82
3.8.	Implementación del software.....	86
3.9.	Desarrollo de la interfaz grafica	91
3.10.	Funcionamiento principal de la GUI.....	92

3.10.1. Modo manual.....	93
3.10.2. Modo seguidor de trayectoria.	93
3.10.3. Modo seguidor de color o referencia.....	95

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1. Evaluación al algoritmo de detección.	96
4.1.1. Pruebas de tono y tamaño de la referencia	96
4.2. Pruebas de movimiento y flexibilidad del sistema según el modo de trabajo	97
4.2.1. Modo manual.....	97
4.2.2. Modo seguimiento de color.....	101
4.2.3. Modo seguimiento de trayectoria.....	104
4.3. Pruebas de seguimiento de trayectoria.	107
4.3.1. Pruebas de precisión.....	107
4.4. Pruebas de seguimiento color de referencia.....	111
4.4.1. Pruebas de seguimiento de posición.	111
4.5. Validación de la hipótesis.	112
4.5.1. Planteamiento de la hipótesis.....	112
4.5.2. Validación de la hipótesis.	112
4.6. Alcances y limitaciones	113
4.6.1. Alcances del sistema.....	113
4.6.2. Limitaciones del sistema.	113
4.6.3. Análisis Económico del proyecto	113

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.....	116
5.2. Recomendaciones.....	118

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS120

ANEXOS125

ANEXO A: DATASHEET DE COMPONENTES

Anexo A1. Motor Pololu.

Anexo A2. Arduino Mega 2560.

Anexo A3. Tarjeta Cytron.

Anexo A4. Camara logitech C920 HD.

Anexo A5. Portátil Hp 2000-2D22DX.

Anexo A6. SKF 6001-RS rodamiento.

Anexo A7. Anillo de retención

ANEXO B: LÁMINAS, PARTES, MÁQUINA

ANEXO C: MUESTRAS DEL RECONOCIMIENTO

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	<i>Beneficios estratégicos del CIM</i>	5
Tabla 2.	<i>La visión artificial ayuda a alcanzar objetivos estratégicos.</i>	11
Tabla 3.	<i>Escala de ponderación</i>	18
Tabla 4.	<i>Tipos de correas y características</i>	19
Tabla 5.	<i>Tipos de cadenas y características</i>	20
Tabla 6.	<i>Tipos de engranes y características</i>	21
Tabla 7.	<i>Valorización de alternativas del sistema de transmisión.</i>	22
Tabla 8.	<i>Valorización de actuadores</i>	25
Tabla 9.	<i>Criterios de selección tarjeta de control.</i>	53
Tabla 10.	Criterios de selección tarjeta de control.....	56
Tabla 11.	<i>Criterios de selección de la cámara.</i>	66
Tabla 12.	<i>Valoración de las alternativas de ordenador.</i>	70
Tabla 13.	Pruebas de tono, tamaño y forma.	97
Tabla 14.	Resultados de las pruebas de movimiento y flexibilidad.	107
Tabla 15.	<i>Error real</i>	108
Tabla 16.	Error teórico	109
Tabla 17.	Comparación del error de prueba, teórico, deseado y comercial.....	110
Tabla 18.	Pruebas de seguimiento posición.....	111
Tabla 19.	Estructura módulos	113
Tabla 20.	Módulo	113
Tabla 21.	Equipos y dispositivos eléctricos	114
Tabla 22.	Estructura general.....	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Manufactura integrada por computador (CIM).....	3
Figura 2. Cintas transportadoras.....	8
Figura 3. Transportador de rodillos.....	9
Figura 4. Transportador tipo bolas.....	10
Figura 5. Sistema de visión artificial.	12
Figura 6. Los sistemas de visión 1D.....	14
Figura 7. Sistemas de visión 2D.....	14
Figura 8. Sistemas de visión 3D.....	15
Figura 9. Servomotor DC.....	23
Figura 10. Motores paso a paso.....	24
Figura 11. Motor DC.....	24
Figura 12. Mecanismo piñón – cremallera	26
Figura 13. Transmisión por correa.....	30
Figura 14. Motor reductor 75: 1 25Dx54L mm.....	32
Figura 15. Diagrama de cuerpo libre para el diseño del eje largo	33
Figura 16. Diagrama de fuerzas cortantes y momento flector (eje largo).....	34
Figura 17. Diagrama de cuerpo libre para el diseño del eje largo	35
Figura 18. Diagrama de fuerzas cortantes y momento flector (eje largo).....	36
Figura 19. Diagrama de cuerpo libre para el diseño del eje corto	40
Figura 20. Diagrama de fuerzas cortantes y momento flector (eje largo).....	41
Figura 21. Diagrama de cuerpo libre para el diseño del eje corto	42
Figura 22. Diagrama de fuerzas cortantes y momento flector (eje corto).....	43
Figura 23. Diagrama cuerpo libre del sistema de visión artificial.	45
Figura 24. Diagrama de fuerzas cortantes y momento flector del soporte horizontal.	46
Figura 25. Deflexión máxima del soporte horizontal del sistema de visión.	47
Figura 26. Análisis estático del soporte vertical del sistema de visión.	48
Figura 27. Diagrama de bloques con realimentación visual	49
Figura 28. Arduino Nano	50
Figura 29. Arduino Uno.....	51
Figura 30. Arduino Mega 2560	52
Figura 31. Módulo puente H L298.....	53
Figura 32. Módulo de control de movimiento TB6612FNG.....	54
Figura 33. Controlador de motor CC de doble canal Cytron	55
Figura 34. Esquema general del procesamiento de imágenes	57
Figura 35. Diagrama de flujo visión artificial.	58
Figura 36. Adquisición de la imagen.	59
Figura 37. Extracción de la ROI.....	60
Figura 38. Erosión a la imagen original	61
Figura 39. Dilatación a la imagen original.....	61
Figura 40. Apertura a la imagen original.....	61
Figura 41. Cierre a la imagen original.....	62

Figura 42. Imagen limpia.	62
Figura 43. HSV de la imagen original.	63
Figura 44. Resultado del tratamiento de imagen.....	63
Figura 45. WideCam F100	64
Figura 46. GoPro Killer SJ4000	65
Figura 47. Logitech C920 HD Pro	65
Figura 48. Fuente de poder CODEGEN 300PA.....	67
Figura 49. Raspberry Pi3 Modelo B++	68
Figura 50. BeagleBone Black	69
Figura 51. Portatil HP 2000-2d22DX	69
Figura 52. Construcción del equipo	72
Figura 53. Flujograma del ensamble del sistema mecánico.	73
Figura 54. Armazón.....	74
Figura 55. Tapa.	75
Figura 56. Construcción eje Largo	76
Figura 57. Construcción eje pequeño.....	76
Figura 58. Engrane de transmisión de potencia.	77
Figura 59. Engrane de movimiento.	77
Figura 60. Soportes para rodamientos.	78
Figura 61. Soporte de rodamiento fijado al eje.....	78
Figura 62. Soporte de motor.	79
Figura 63. Módulo total armado.....	79
Figura 64. Base fija.	80
Figura 65. Base móvil.....	81
Figura 66. Flujograma del ensamble del sistema eléctrico - electrónico.	82
Figura 67. Plancha de madera 700x700 mm.....	83
Figura 68. Drivers motores.....	83
Figura 69. Tablero eléctrico.	84
Figura 70. Ubicación del tablero electrónico.....	84
Figura 71. Tablero de control.	85
Figura 72. Cubierta de acrílico.	85
Figura 73. Ensamble final de la matriz de celda transportadora.....	85
Figura 74. Diagrama de flujo de programación 1.....	86
Figura 75. Diagrama de flujo de programación 2.	87
Figura 76. Diagrama de flujo de programación 3.	87
Figura 77. Diagrama de flujo de programación 4.....	88
Figura 78. Diagrama de flujo de programación 5.....	89
Figura 79. Diagrama de flujo de programación 6.....	90
Figura 80. Diagrama de flujo de programación.....	91
Figura 81. Pantalla inicial.	92
Figura 82. Pantalla de menú.....	92
Figura 83. Pantalla modo manual.	93
Figura 84. Pantalla modo seguidor trayectoria.....	94

Figura 85. Pantalla modo seguidor de color	95
Figura 86. Reconocimiento de referencia 1 y 2.....	96
Figura 87. Reconocimiento de tamaño.....	96
Figura 88. Monitoreo del área de trabajo modo manual.	97
Figura 89. Monitorea del área de trabajo con objeto color de referencia.	98
Figura 90. Detección referencia modo manual.	98
Figura 91. Señal de activación solo del joystick.....	99
Figura 92. Desplazamiento eje y.	99
Figura 93. Desplazamiento eje x.....	100
Figura 94. Desplazamiento ejes X e Y	100
Figura 95. Monitoreo del área de trabajo modo seguidor color	101
Figura 96. Detección referencia 1	101
Figura 97. Detección referencia 2.....	102
Figura 98. Seguimiento en eje X.....	102
Figura 99. Seguimiento en eje Y.....	103
Figura 100. Seguimiento en eje X e Y.	103
Figura 101. Monitoreo del área de trabajo modo seguidor trayectoria.....	104
Figura 102. Retorno al punto inicial de la trayectoria.....	104
Figura 103. Definición de puntos de la trayectoria	105
Figura 104. Seguimiento sobre trayectoria triangular	105
Figura 105. Seguimiento de una trayectoria mixta.....	106
Figura 106. Error real en función del número de repeticiones	108
Figura 107. Error teórico en función del número de repeticiones	109
Figura 108. Errores en función del número de repeticiones.....	110

RESUMEN

La matriz de celda transportadora es un sistema flexible en comparación de los sistemas de transporte tradicionales, por lo cual se presenta como una alternativa para el traslado de objetos de un lugar a otro, dicha matriz está constituida por elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos para generar movimientos a través de realimentación visual, la matriz está compuesta por un número específico de módulos transportadores, los cuales están dispuestos de manera ordenada y secuencial para dar movimiento en el plano XY (adelante, atrás, derecha, izquierda o diagonal) a una mesa o portaobjetos que está ubicada encima de cualquier módulo, la cual va a trasladar objetos por toda el área de trabajo de la matriz, también se encuentra instalado un soporte mecánico que permite implementar el sistema de visión el mismo que será adaptado de tal manera que abarque toda el área de trabajo comprendida de acuerdo al número de módulos transportadores utilizados para formar la matriz, el sistema de visión actuará como un controlador que permitirá reconocer si existe un objeto dentro del área de trabajo y mediante esta información que se obtiene en cada ciclo visual asegurar su correcto desplazamiento, el desarrollo del presente proyecto tiene como propósito mejorar el sistema de transporte buscando alternativas de traslado de objetos de un lugar a otro y así optimizar recursos disponibles en las empresas.

PALABRAS CLAVE:

- **VISIÓN ARTIFICIAL.**
- **TRANSPORTE DE OBJETOS.**
- **AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL.**

ABSTRACT

The transport cell matrix is a flexible system compared to traditional transport systems, so it is presented as an alternative for the transfer of objects from one place to another, said matrix is constituted by mechanical, electrical and electronic elements to generate movements through visual feedback, the matrix is composed of a specific number of transport modules, which are arranged in an orderly and sequential manner to give movement in two axes in the XY plane (forward, backward, right, left or diagonal) to a rock or slide that is located on top of any module which will move objects throughout the work area of the matrix, is also installed a mechanical support that allows the implementation of the vision system which will be adapted in such a way that encompass the entire work area included according to the number of transport modules used for To form the matrix, the vision system will act as a controller that will allow to recognize if an object exists within the work area and through this information obtained in each visual cycle to ensure its correct displacement, the development of the present project has the purpose of improving the transport system looking for alternatives to move objects from one place to another and thus optimize available resources in companies.

KEYWORDS:

- **ARTIFICIAL VISION.**
- **TRANSPORTATION OF OBJECTS.**
- **INDUSTRIAL AUTOMATION.**

CAPÍTULO I

PRINCIPIOS TEÓRICOS DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En muchas industrias el traslado de diferentes objetos de un lugar a otro se realiza mediante sistemas de transporte tradicionales por medio de bandas, rodillos, mesas giratorias, vehículos de desplazamiento, entre otros, estos sistemas en la gran mayoría de los casos son bidireccionales muy poco flexible, esto quiere decir que solo se pueden mover de izquierda a derecha o de arriba hacia abajo, también son sistemas con dimensión y estructura definida, ya que son sistemas que no pueden modificar sus dimensiones ni su estructura, razón por la cual hay que realizar un estudio previo para su adquisición

1.2. Justificación e importancia.

Con la realización de este proyecto se pretende buscar nuevas alternativas de responder a la necesidad en particular del transporte automatizado multidireccional y flexible en la etapa de producción de las industrias, mediante la aplicación de un sistema de transporte con algoritmo de realimentación visual que compense las necesidades requeridas por las diferentes empresas para trasladar diferentes objetos de un lugar a otro.

1.3. Objetivos del proyecto.

1.3.1. Objetivo general.

Diseñar, construir e implementar una matriz de celda transportadora flexible con un algoritmo de realimentación visual para optimizar el transporte de objetos en los sistemas de manufactura.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Diseñar el mecanismo de la matriz de celda transportadora utilizando herramientas de diseño CAD/CAE para regenerar una propuesta sobre el funcionamiento de la mesa de una forma secuencial estableciendo parámetros y estrategias de elaboración en base a costos, materiales y calidad.
- Desarrollar los sistemas de potencia, acondicionamiento de señal y adquisidor de datos que permitan coordinar el algoritmo visual con los movimientos y trayectorias de la matriz de celda transportadora.
- Investigar y diseñar el algoritmo de realimentación visual para supervisar de forma natural el movimiento y trayectorias establecidas sobre la matriz de la celda transportadora.
- Validar el diseño y el control de la mesa con pruebas experimentales de movimiento y trayectorias.

1.3.3. Hipótesis.

¿El diseño, construcción e implementación de una matriz de celda transportadora flexible con un algoritmo de realimentación visual optimizará el transporte de objetos en los sistemas de manufactura?

1.3.4. Variables de la investigación.

a. Variable independiente

- Matriz de celda transportadora flexible con un algoritmo basado en realimentación visual.

b. Variable dependiente

- Transporte de objetos en los sistemas de manufactura.

1.4. MARCO TEÓRICO.

1.4.1. Manufactura integrada por computador (CIM)



Figura 1. Manufactura integrada por computador (CIM)

Fuente: (Gálvez, 2018)

En los últimos años, se ha masificado el uso de la Automatización dentro de la industria manufacturera, pero en muchas ocasiones, los sistemas de automatización han sido implementados en áreas de producción de manera “aislada”, provocando la aparición de “islas”, donde se optimiza el rendimiento parcial, pero no el performance global.

En muchas empresas, la automatización de ciertos procesos ocasiona que éstos se transformen en "islas", sin conexión evidente con los otros procesos que se ejecutan en la fábrica. Esto se debe a la falta de un concepto integrado probado y estándar; al alto costo de compra y puesta en marcha; y a la complejidad del cambio en la estructura organizativa. Para resolver estas barreras, se ha desarrollado la Manufactura Integrada por Computador (CIM), que consiste en emplear sistemas de información computarizada y filosofías administrativas para integrar totalmente las actividades relacionadas con la producción, desde las necesidades del cliente, diseño del producto, del proceso, la producción hasta el apoyo postventa.

Ahora bien, el concepto CIM, en su más amplio sentido, no se limita a la automatización integrada del sistema productivo, sino que pretende lograr la total integración de la unidad de negocios. De ahí el punto: automatizar el diseño computarizado adoptando e integrando el proceso de manufactura en su totalidad. (Gálvez, 2018).

a. Beneficios de la CIM.

A pesar de que los beneficios cualitativos del CIM no son cuantificados en las ecuaciones de factibilidad de inversión, se sabe positivamente que CIM aporta incuantificables beneficios. Entre los más importantes beneficios del CIM se encuentran las mejoras en la productividad, mayor rapidez en la introducción o modificación de productos, y una mejor intercambiabilidad de los trabajos específicos. Algunos de los más importantes beneficios estratégicos del CIM están presentados en la siguiente tabla. (Salazar M. , 2009)

Tabla 1.
Beneficios estratégicos del CIM

Beneficio	Descripción
Flexibilidad	Capacidad de responder más rápidamente a cambios en los requerimientos de volumen o composición.
Calidad	Resultante de la inspección automática y mayor consistencia en la manufactura.
Tiempo perdido	Reducciones importantes resultantes de la eficiencia en la integración de información.
Inventarios	Reducción de inventario en proceso y de stock de piezas terminadas, debido a la reducción de pérdidas de tiempo y el acceso oportuno a información precisa.
Control gerencial	Reducción de control como resultado de la accesibilidad a la información y la implementación de sistemas computacionales de decisión sobre factores de producción.
Espacio físico	Reducciones como resultado de incremento de la eficiencia en la distribución y la integración de operaciones.
Opciones	Previene riesgos de obsolescencia, manteniendo la opción de explotar nueva tecnología.

Fuente: (Salazar M. , 2009)

b. Costos de puesta en marcha y funcionamiento de la CIM

Las empresas que implementan este sistema no deben pensar que tendrán solo un costo inicial y después andará todo sobre ruedas, pues en la práctica, el uso de estos sistemas implica costos y necesidades constantes, fundamentalmente por los apresurados cambios tecnológicos que se producen hoy en día.

Sin embargo, la diferencia de costo y potencia entre las plataformas computacionales requeridas para un CAD y un CAD / CAM ya no son tan notorias. Esto se debe a que los computadores personales ya son suficientes para manejar el software, y los costos de éste o aquel son similares, así como el costo de su puesta en marcha (díganse operadores, cursos, implementación, etc.). Lamentablemente, en caso de que el software no sea muy compatible o esté pasado de moda, se pierde plata.

Por esto la industria computacional ha tendido a una mayor estandarización de sus productos, con el fin también de disminuir costos, así como ha implementado el concepto de Upgrade, el cual permite conseguir la última tecnología dando la antigua "en parte de pago".

Las redes computacionales han contribuido enormemente con el desarrollo de los sistemas CAD / CAM, teniendo la desventaja eso sí de que se pierde un poco la privacidad de la información, ya sea porque el sistema de red es muy complejo o porque hay un mayor número de usuarios con acceso directo a él.

Se han desarrollado numerosos protocolos con el fin de salvaguardar las comunicaciones entre computadores, algunos de ellos son: ETHERNET, TCP / IP, MAP / TOP, ASCII, FTP, NFS, y muchos otros. (Salazar M. , 2009)

c. Transportadores en la industria.

Los transportadores son equipos comunes en la industria. Son usados para mover productos adentro y afuera, y de un sitio a otro, también entre las estaciones de trabajo. En todos los casos operacionales, funcionan desde transportadores que van desde la microelectrónica a la industria en general. Los transportadores pueden ser con o sin motor, rodillos o correas, en el aire o en el suelo, son literalmente, la columna vertebral del sistema de producción. Todo el proceso productivo gira alrededor del transportador. (COLDESA, 2017).

Los transportadores permiten el movimiento automatizado y eficiente de materias y productos, que de otra forma habría que confiar a la labor humana, o a elementos de manutención que requieren igualmente a un humano para su funcionamiento.

Cuando se instala un transportador se reduce la siniestralidad ya que los trabajadores tienen menos probabilidades de sufrir daños desplazando productos o cargas pesadas; las roturas y deterioros de producto bajan también en consecuencia; y con carácter general, las plantas se convierten en más productivas, ya que se requieren menos trabajadores para llevar adelante la misma actividad.

Lo mismo podemos decir, cuando un transportador antiguo se moderniza o se sustituye por otro nuevo. Utilizar motores y elementos activos con una mayor eficiencia energética, adecuar las velocidades y la capacidad de las líneas al flujo real de productos, manipular el producto con mayor delicadeza, añadir elementos que aumentan la seguridad de las personas u otros que permiten medir y controlar en detalle el flujo de los productos, son todas medidas posibles que mejoran la productividad y ahorran energía en las instalaciones. (ASSEMBLY, 2016)

d. Factores de selección de transportadores

Existen un número de factores que hay que considerar a la hora de elegir el tipo de transportador. El tamaño y el peso de los materiales o productos a transportar, la distancia que debe recorrer, el trazado del movimiento y sus peculiaridades (elevaciones, giros), la delicadeza con la que hay que tratar a algunos productos, el flujo necesario de materiales,

las medidas de seguridad para las personas o la escalabilidad del sistema son solo algunos de los aspectos que hay que tener en mente. (ASSEMBLY, 2016).

e. Tipos de transportadores

Cintas transportadoras: los transportadores de banda son comúnmente utilizados para transportar objetos que tienen una superficie de fondo irregular, pequeños objetos que puedan caerse de entre rodillos o bolsas con producto que pueda atorarse entre los rodillos. Los transportadores de banda son construidos generalmente de la misma forma: con un bastidor metálico, con rodillos en los extremos y una cuna de deslizamiento sobre chapa o plástico de baja fricción. En aplicaciones donde el producto es demasiado pesado, la cama metálica es sustituida por rodillos. Los rodillos permiten que los objetos sean transportados reduciendo la fricción generada sobre la banda. Los transportadores de banda pueden ser fabricados con secciones curvas. (BOLETININDUSTRIAL.COM, 2018)



Figura 2. Cintas transportadoras
Fuente: (BOLETININDUSTRIAL.COM, 2018)

Transportador de rodillos: son máquinas de transporte continuo que como su nombre lo indica utilizan rodillos metálicos para la transportación de la carga. Se emplean para la manipulación de materiales en bultos tales como: cajas, tarimas, llantas, tambos, paquetes, etc. dentro de una gran diversidad de procesos industriales siempre y cuando que cumplan la condición de contar con un fondo regular. (ecuared, 2018).



Figura 3. Transportador de rodillos.
Fuente: (BOLETININDUSTRIAL.COM, 2018)

Transportador de bolas de transferencia: este sistema omnidireccional, permite desplazar la carga con poca fuerza sobre la superficie del transportador.

Utilizado cuando es requerida rotación manual o posicionamiento correcto de un producto en líneas de ensamble, revisión y control. Ideal para cuando dos líneas de producción convergen, con la condición de que el artículo a manejar tenga un fondo regular y firme. (BOLETININDUSTRIAL.COM, 2018)



Figura 4. Transportador tipo bolas.
Fuente: (BOLETININDUSTRIAL.COM, 2018)

1.4.2. Visión Artificial.

Según la Automated Imaging Association (AIA), la visión artificial abarca todas las aplicaciones industriales y no industriales en las que una combinación de hardware y software brinda un guiado operativo a los dispositivos en la ejecución de sus funciones de acuerdo con la captación y procesamiento de imágenes. Aunque la visión artificial aplicada a la industria utiliza los mismos algoritmos y enfoques que las aplicaciones académicas, educativas y gubernamentales, militares de visión artificial, las limitaciones son diferentes.

Los sistemas de visión industrial exigen una mayor robustez, fiabilidad y estabilidad en comparación con un sistema de visión académico/educativo y, normalmente, cuestan mucho menos que los que se utilizan en aplicaciones gubernamentales/militares. Por tanto, la visión artificial industrial implica bajos costes, precisión aceptable, resistencia elevada, alta fiabilidad y una gran estabilidad mecánica y de temperatura.

Los sistemas de visión artificial cuentan con sensores digitales protegidos en el interior de cámaras industriales con ópticas especializadas para adquirir imágenes, de forma que el hardware y software informático pueden procesar, analizar y medir diversas características a la hora de tomar decisiones. (COGNEX, 2017)

a. Ventajas de la visión artificial

Mientras que la visión humana es mejor para la interpretación cualitativa de una escena desestructurada compleja, la visión artificial destaca en la medida cuantitativa de una escena estructurada debido a su velocidad, precisión y repetitividad.

Al eliminar el contacto físico entre el sistema de prueba y las piezas que van a verificarse, la visión artificial evita daños en las piezas y elimina el tiempo y los costes de mantenimiento asociados al desgaste de los componentes mecánicos.

La visión artificial aporta beneficios operativos y de seguridad adicionales al reducir la participación humana en el proceso de fabricación. Además, evita la contaminación humana de salas limpias y protege a las personas frente a entornos peligrosos. (COGNEX, 2017)

Tabla 2.

La visión artificial ayuda a alcanzar objetivos estratégicos.

Objetivo estratégico	Aplicaciones de visión artificial
Calidad superior	Inspección, medición, calibración y verificación de montaje
Mayor productividad	Las tareas repetitivas que se hacían antes manualmente se realizan ahora con el sistema de visión artificial
Flexibilidad de producción	Medición y calibración / Guiado de robots / Verificación previa a la operación

CONTINÚA 

Menos tiempo de inactividad de las máquinas y reducción del tiempo de configuración	Cambios programados de antemano
Información más completa y control de procesos más estricto	Las tareas manuales pueden ahora ofrecer retroalimentación de datos por ordenador.
Reducción de gastos de bienes de capital	La adición de visión a una máquina mejora su rendimiento y evita la obsolescencia
Menos costes de producción	Un sistema de visión vs. muchas personas/Detección de taras en una etapa temprana del proceso
Reducción de la tasa de desechos	Inspección, medición y calibración
Espacio reducido	Sistema de visión vs. operador

Fuente: (COGNEX, 2017)

b. Componentes de la visión artificial

Los componentes principales de un sistema de visión artificial son:

- La iluminación.
- La lente.
- El sensor de imagen.
- El procesamiento de visión.

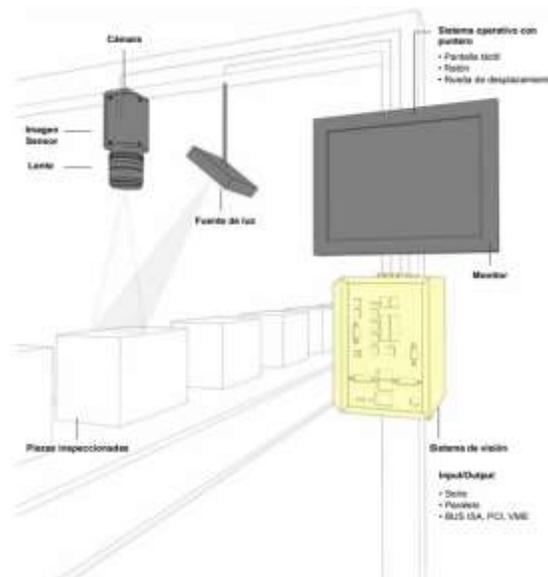


Figura 5. Sistema de visión artificial.

Fuente: (COGNEX, 2017)

La iluminación: ilumina la pieza que va a inspeccionarse permitiendo que sus características destaquen y puedan ser vistas claramente por la cámara.

La lente: capta la imagen y la presenta al sensor en forma de luz.

El sensor de la cámara de visión artificial: convierte esta luz en una imagen digital que se envía al procesador para su análisis.

El procesamiento de visión: consiste en unos algoritmos que revisan la imagen y extraen de ella la información precisa, realizan la inspección necesaria y toman una decisión.

La comunicación: se lleva a cabo normalmente a través de una señal de E/S discreta o los datos se envían a través de una conexión serie hacia un dispositivo que registra la información o la utiliza.

La mayoría de componentes de hardware de los sistemas de visión artificial, como módulos de iluminación, sensores y procesadores, son productos comercialmente disponibles, o adquirirse como un sistema integrado con todos los componentes en un único dispositivo. (COGNEX, 2017)

c. Sistemas de visión artificial

En términos generales, existen 3 categorías de sistemas de visión: 1D, 2D y 3D.

Sistemas de visión 1D: La visión 1D analiza una señal digital línea a línea en lugar de analizar al mismo tiempo la imagen completa, como evaluar la variación entre el grupo más reciente de diez líneas adquiridas y un grupo previo. Esta técnica detecta y clasifica

normalmente los defectos en materiales fabricados en un proceso continuo, como papel, metales, plásticos y otras telas sin tejer o mercancías en rollos. (COGNEX, 2017)

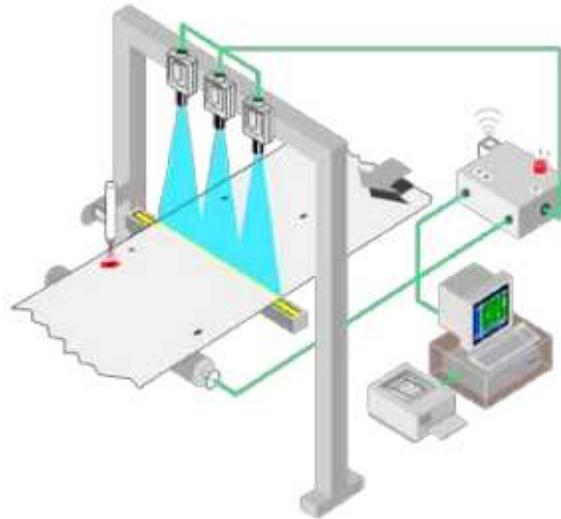


Figura 6. Los sistemas de visión 1D.

Fuente: (COGNEX, 2017)

Sistemas de visión 2D: La mayoría de cámaras de inspección comunes realizan escaneos superficiales que implican la captación de instantáneas 2D en diversas resoluciones. (COGNEX, 2017)



Figura 7. Sistemas de visión 2D.

Fuente: (COGNEX, 2017)

Sistemas de visión 3D: Los sistemas de visión artificial 3D constan normalmente de varias cámaras o uno o más sensores de desplazamiento láser. La visión 3D con varias cámaras en aplicaciones de guiado robótico proporciona al robot información sobre la orientación de la pieza. Estos sistemas implican varias cámaras instaladas en diferentes ubicaciones y la “triangulación” sobre una posición objetivo en el espacio 3D. (COGNEX, 2017)

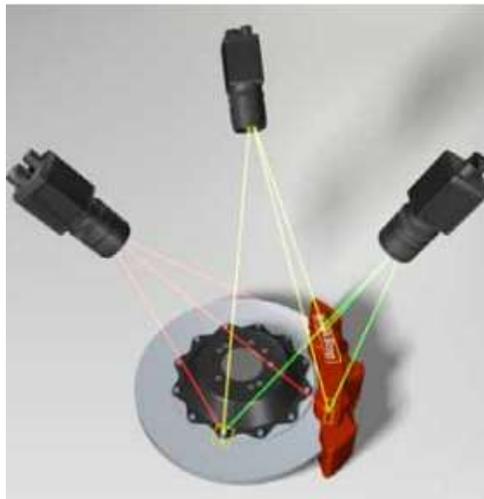


Figura 8. Sistemas de visión 3D.
Fuente: (COGNEX, 2017)

d. Plataformas de visión artificial

La implementación de la visión artificial se lleva a cabo en diversas plataformas físicas, como sistemas basados en PC, controladores de visión diseñados para aplicaciones 3D y 2D multicámara, sistemas de visión autónomos, sensores de visión sencillos y lectores de códigos de barras basados en imágenes. Elegir la plataforma de visión artificial correcta depende generalmente de los requisitos de la aplicación,

como el entorno de desarrollo, la capacidad, la arquitectura y el coste. (COGNEX, 2017)

Visión artificial basada en pc: Los sistemas basados en PC interconectan fácilmente con las cámaras de conexión directa o las placas de adquisición de imágenes y son compatibles con software de aplicaciones de visión artificial configurable. Además, los PC ofrecen multitud de opciones de desarrollo de código personalizado con un lenguaje familiar y bien respaldado como Visual C/C++, Visual Basic y Java, además de entornos de programación gráficos. Sin embargo, el desarrollo tiende a ser largo y complicado, su uso se limita a grandes instalaciones y atrae sobre todo a programadores y usuarios avanzados de la visión artificial. (COGNEX, 2017)

Controladores de visión: Los controladores de visión ofrecen toda la potencia y flexibilidad del sistema basado en PC, pero están mejor preparados para hacer frente a los rigores de entornos de fábrica hostiles. Los controladores de visión facilitan la configuración de aplicaciones 3D y 2D multicámara, quizá en tareas únicas donde hay disponible dinero y tiempo razonable para el desarrollo. Esto permite configurar aplicaciones más sofisticadas de una manera muy rentable. (COGNEX, 2017)

Sistemas de visión independientes: Los sistemas de visión independientes son rentables y se pueden configurar rápida y fácilmente. Estos sistemas vienen equipados con sensor de cámara, procesador y comunicaciones. Además, algunos integran iluminación y óptica de enfoque automático. En muchos casos, estos sistemas son compactos y lo suficientemente asequibles para instalarse por toda la fábrica. Al utilizar los sistemas de visión autónomos en puntos de proceso claves, se pueden detectar

defectos en una fase temprana del proceso de fabricación e identificar con mayor rapidez problemas en los equipos. La mayoría ofrece comunicaciones Ethernet integradas, lo cual permite a los usuarios no solo distribuir la visión a través de todo el proceso, sino también enlazar juntos dos o más sistemas en una red de área de visión escalable y plenamente gestionable en la que los sistemas intercambian datos que son gestionados por un ordenador anfitrión. También se puede enlazar fácilmente con las redes de la fábrica y la empresa, lo que permite que cualquier estación de trabajo con la opción TCP/IP muestre a distancia resultados, imágenes, datos estadísticos y otra información de visión. (COGNEX, 2017)

Sensores de visión y lectores de códigos de barras basados en imágenes: Los sensores de visión y los lectores de códigos de barras basados en imágenes no suelen requerir programación y sus interfaces son muy fáciles de manejar. La mayoría se integra fácilmente con cualquier máquina para proporcionar inspecciones puntuales con procesamiento dedicado, y ofrecen comunicaciones Ethernet para la conectividad en red en toda la fábrica. (COGNEX, 2017)

CAPÍTULO II

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

2.1. Introducción

Este capítulo consiste en el diseño y selección de los componentes necesarios para la construcción del sistema, de acuerdo con alternativas que se presentan, con el fin de tener un mejor criterio de selección se utiliza la escala de ponderación por (Izurieta, 1997) mostrada en la Tabla 1, para elegir la opción más adecuada a los criterios establecidos.

Tabla 3.
Escala de ponderación

Calificación	% del óptimo	Significado
0	<35	Insatisfecho
1	35-50	Satisfecho
2	51-75	Bueno
3	76-89	Muy bueno
4	90-100	Óptimo

Fuente: (Izurieta, 1997)

2.2. Sistema de transmisión de movimiento

En esta sección se seleccionará el sistema de transmisión más adecuado para accionar el sistema de movimiento piñón-cremallera, para el movimiento de la mesa, la cual se desplaza a lo largo de los ejes X-Y, tomando en cuenta factores relevantes para la implementación del sistema como son el costo y la facilidad de construcción, se plantea a continuación algunas alternativas de transmisión de movimiento.

a. Alternativa 1: Sistema de poleas

El sistema de poleas con correa más simple consiste en dos poleas situadas a cierta distancia, que giran a la vez por efecto del rozamiento de una correa con ambas poleas.

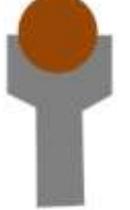
Las correas suelen ser cintas de cuero flexibles y resistentes. Es este un sistema de transmisión circular puesto que ambas poleas poseen movimiento circular. (Pulido, 2008)

El proceso de transmisión de movimiento con correas es un proceso de elevado rendimiento (95-98%) y precio reducido. (Torres, 2014)

Las correas pueden ser de diferentes tipos como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4.

Tipos de correas y características.

Tipo	Características	Forma
Trapezoidales	Son las más utilizadas, pues se adaptan firmemente al canal de la polea evitando el posible deslizamiento entre polea y correa. (Torres, 2014)	
Redondas	Se utilizan correas redondas cuando ésta se tiene que adaptar a curvas cerradas cuando se necesitan fuerzas pequeñas. (Torres, 2014)	
Planas	Cada vez de menor utilización, se emplean para transmitir el esfuerzo de giro y el movimiento de los motores a las máquinas. (Torres, 2014)	
Dentadas	Las correas dentadas, que además son trapezoidales, se utilizan cuando es necesario asegurar el agarre. En ellas el acoplamiento se efectúa sobre poleas con dientes tallados que reproducen el perfil de la correa. Este tipo es el más empleado en las transmisiones de los motores de los automóviles. (Torres, 2014)	

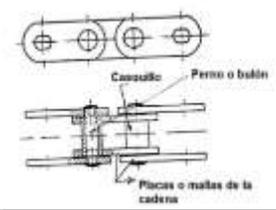
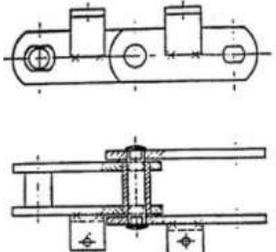
b. Alternativa 2: Cadenas

Las cadenas de transmisión son la mejor opción para aplicaciones donde se quiera transmitir grandes pares de fuerza y donde los ejes de transmisión se muevan en un rango de velocidades de giro entre medias y bajas.

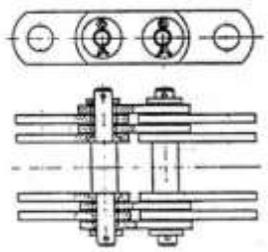
Las transmisiones por cadenas son transmisiones robustas, que permiten trabajar en condiciones ambientales adversas y con temperaturas elevadas, aunque requieren de lubricación. Además proporcionan una relación de transmisión fija entre las velocidades y ángulo de giro de los ejes de entrada y salida, lo que es de gran utilidad ya que permite su aplicación en diferentes campos como en automoción y maquinaria en general que lo requiera. (Rodríguez, s.f)

Las cadenas pueden ser de diferentes tipos como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5.
Tipos de cadenas y características

Tipo	Características	Forma
Cadenas de transmisión de potencia	Cuya aplicación es transmitir la potencia entre ejes que giran a unas determinadas velocidades. (Rodríguez, s.f)	
Cadenas de manutención	O también llamadas cadenas transportadoras. Son un tipo de cadenas que gracias a una geometría específica de sus eslabones o enlaces le permiten desempeñar una función de transporte o arrastre de material. (Rodríguez, s.f)	

CONTINÚA 

<p>Cadenas de carga</p>	<p>O también llamadas de bancos de fuerzas. Son cadenas que permiten transmitir grandes cargas, y son usadas, por ejemplo, para elevar grandes pesos, o accionar bancos de fuerza, entre otros usos. (Rodríguez, s.f)</p>	
--------------------------------	---	---

c. Alternativa 3: Engranés

La principal ventaja de las transmisiones por engranajes mediante ruedas dentadas es la gran exactitud en la relación de transmisión que se puede alcanzar frente a otros tipos de transmisiones, lo que permite, entre otras aplicaciones, su uso en maquinaria de precisión. Por otro lado, el empleo de materiales con gran dureza superficial y rigidez (por ejemplo, aceros templados sometidos a un tratamiento de cementación superficial), permiten transmitir pares elevados de fuerza a velocidades de giro elevadas, conservando a la vez constante la relación de transmisión. (Rodríguez, s.f)

Los engranes pueden ser de diferentes tipos como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 6.

Tipos de engranes y características

Tipo	Características	Forma
<p>Rectos</p>	<p>Los engranes rectos o de espuela, son empleados para transmitir los movimientos de rotación entre ejes paralelos. Su contorno es cilíndrico-circular y sus dientes son paralelos al eje de rotación. (MÁQUINAS Y MECANISMOS, s.f.)</p>	
<p>Helicoidales</p>	<p>Pueden verse como engranes escalonados con un número infinito de pares. Su funcionamiento es muy silencioso. Adviértase las cargas a lo largo de los ejes. Tiene un ángulo de 15° y 45°. (MÁQUINAS Y MECANISMOS, s.f.)</p>	

CONTINÚA 

Cónicos	Sirven para conectar arboles cuyos ejes no se intersecan. Los dientes son líneas rectas y hay una acción deslizante a lo largo de elemento de diente así como perpendicularmente al elemento del diente. (MÁQUINAS Y MECANISMOS, s.f.)	
----------------	--	---

d. Criterios de selección de transmisión

Para el sistema de transmisión, no se consideran sistemas de transmisión comerciales debido a su alto costo, a continuación se muestran los criterios para una selección adecuada.

- Costo.
- Precisión.
- Velocidad.
- Potencia.
- Implementación.
- Eficiencia mecánica.

e. Selección de alternativas para mecanismos de transmisión

A continuación se procederá a realizar la ponderación según los criterios establecidos para la selección de la mejor alternativa.

Tabla 7.

Valorización de alternativas del sistema de transmisión.

Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Costo	4	2	2
Precisión	2	4	4
Velocidad	4	3	2
Potencia	3	4	4
Implementación	4	2	2
Eficiencia mecánica	3	4	4
Suma	20	19	18

Con los resultados obtenidos en la Tabla 7 la alternativa 1 es la mejor opción para la implementación en el sistema, siendo esta un mecanismo de transmisión por poleas y correa, se utilizarán correas dentadas debido a que es necesario asegurar el agarre con las poleas.

2.3. Actuadores

Para la implementación del sistema se tomará en cuenta algunos tipos de actuadores DC debido a la disponibilidad en el mercado.

a. Alternativa 1: Servomotores DC



Figura 9. Servomotor DC
Fuente: (PANAMAHITEK, s.f.)

Características:

- Cuentan con un sistema de control con retroalimentación incluida y sencilla.
- Mayor precisión en posicionamiento.
- Rango de giro limitado.
- Usan motores de CD y sistemas de engranes para incrementar el torque.

- El ancho del pulso determina la posición angular del eje. (330ohms, 2016)

b. Alternativa 2: Motores paso a paso DC



Figura 10. Motores paso a paso.

Fuente: (Carletti, 2017)

Características:

- Requieren de una etapa de potencia.
- Pueden soportar mayores cargas.
- Rango de giro ilimitado.
- Usan motores que funcionan mediante la activación de las bobinas.
- Los pulsos sólo sirven para energizar las bobinas, y éstas mantienen la posición angular. (330ohms, 2016).

c. Alternativa 3: Motores DC



Figura 11. Motor DC.

Fuente: (Pololu, s.f.)

Características:

- Funcionan a altas revoluciones por minuto.
- Control de velocidad es mediante la modulación de ancho de pulso.
- Tiene una rotación continua y rápida. (SonRobots, s.f.)

d. Criterios de selección de actuadores.

A continuación los criterios tomados para la selección del actuador adecuado.

- Costo.
- Disponibilidad.
- Velocidad.
- Torque.
- Movimiento.

e. Selección de alternativas de actuadores**Tabla 8.**

Valorización de actuadores

Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Costo	2	3	4
Disponibilidad	3	2	4
Velocidad	2	2	4
Torque	3	4	2
Movimiento	3	3	4
Suma	13	14	18

En la Tabla 8 se observa que la alternativa 3 es la que mejor se adapta a los criterios de selección antes establecidos, para la selección del actuador, por lo cual se utilizará motores DC (ver en anexo A1), debido a que tienen mejores características, que la alternativa 1 y 2.

2.4. Diseño de selección de actuadores

Para la selección de los actuadores se realiza el estudio del mecanismo piñón cremallera, se considera que con una sola vuelta del piñón moverá una masa de (0-7) libras de un módulo hacia otro módulo.

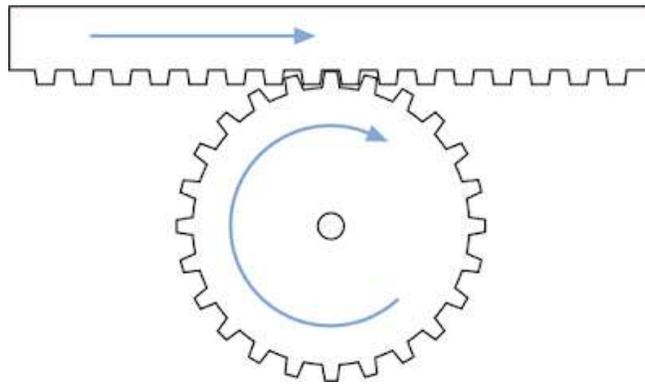


Figura 12. Mecanismo piñón – cremallera
Fuente: (energia9, 2012)

Datos:

$$masa = 7lb = 3,175 kg$$

Cálculo del sistema piñón – cremallera

Cálculo del piñón

Datos:

$$z = 25$$

$$m = 2,5$$

$$d = \text{Diámetro primitivo}$$

$$m = \text{módulo}$$

$z = \text{número de dientes}$

$$d = m \times z$$

$$d = (2,5)(25)$$

$$d = 62,5 \text{ mm}$$

$d_e = \text{Diámetro exterior}$

$$d_e = m(z + 2)$$

$$d_e = (2,5)(25 + 2)$$

$$d_e = 67,5 \text{ mm}$$

$d_f = \text{diámetro interior}$

$$d_f = m(z - 2,5)$$

$$d_f = (2,5)(25 - 2,5)$$

$$d_f = 56,250 \text{ mm}$$

$p = \text{paso}$

$$p = \pi m$$

$$p = 2,5\pi$$

$$p = 7,854 \text{ mm}$$

Cálculo de la cremallera

Datos:

$$d_c = 225 \text{ mm}$$

$n_p = \text{Número de vueltas del piñón}$

$d_c = \text{recorrido de la cremallera}$

$z_p = \text{Número de dientes del piñón}$

$$n_p = \frac{d_c}{\pi m z_p}$$

$$n_p = \frac{225}{\pi(2,5)(25)}$$

$$n_p = 1,146 \text{ vueltas}$$

$v_c = \text{velocidad de la cremallera}$

$$v_c = P z_p n_p$$

$$v_c = (7,854)(25)(130)$$

$$v_c = 25525,500 \frac{mm}{sg}$$

$$v_c = 0,425 \frac{m}{sg}$$

Fuerza que actúa en el sistema piñón – cremallera

$F_{ht} = \text{Fuerza tangencial horizontal real [N]}$

$m = \text{Masa [kg]}$

$u = \text{Coeficiente de rozamiento}$

$a = \text{Aceleración} \left[\frac{m}{s^2} \right]$

$$F_{ht} = m(9,81u + a)$$

$$F_{ht} = (3,175)(9,81(0,15) + 3)$$

$$F_{ht} = 14,197 \text{ N}$$

F_{hc} = Fuerza tangencial horizontal corregida [N]

k = Coeficiente de seguridad

$$F_{hc} = F_{ht}k$$

$$F_{hc} = (14,197)(2,5)$$

$$F_{hc} = 35,492 \text{ N}$$

Torque que ejercer el piñón para poder mover las 7 libras.

T = Torque [Nm]

$F = F_{hc}$ = Fuerza [N]

$r = \frac{d}{2}$ = radio [m]

$$T = F \times r$$

$$T = (35,492)(0,031)$$

$$T = 1,100 \text{ Nm}$$

Potencia ejercida por el motor.

P = potencia [KW]

V = voltaje [V]

I = Corriente [A]

$$P = \frac{VI}{1000}$$

$$P = \frac{(6)(6,5)(0,94)}{1000}$$

$$P = 0,037 \text{ KW}$$

Este mecanismo será movido por un sistema de transmisión por correa dentada, el mismo que va a mantener la velocidad por lo tanto la relación de transmisión será de 1:1.

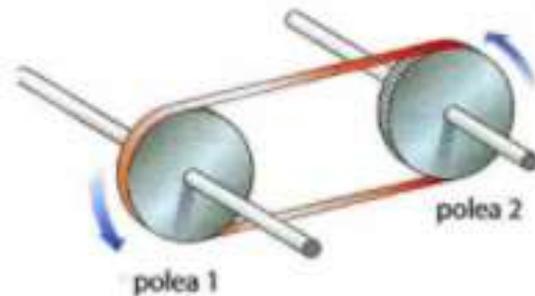


Figura 13. Transmisión por correa.
Fuente: (tecnojulio, 2012)

Cálculo de engranajes de bronce de diente recto

Datos

$$z = 18$$

$$m = 1,25$$

Diámetro primitivo

$$d = m \times z$$

$$d = (1,25)(18)$$

$$d = 22,5 \text{ mm}$$

Diámetro exterior

$$de = m(z + 2)$$

$$de = (1,25)(18 + 2)$$

$$de = 25 \text{ mm}$$

Diámetro interior

$$df = m(z - 2,5)$$

$$df = (1,25)(18 - 2,5)$$

$$df = 19,375 \text{ mm}$$

Carga transmitida en el sistema de transmisión

$$w_t = \text{Carga transm} w_t = \frac{60000 P}{\pi d n}$$

$$w_t = \frac{(60000)(0,037)}{(\pi)(22,5)(130)}$$

$$w_t = 0,242 \text{ KN}$$

$$w_t = 241,589 \text{ N}$$

Torque ejercido por el sistema de transmisión para mover el sistema piñón - cremallera.

$$T = F \times r$$

$$T = (241,589)(0,011)$$

$$T = 2,657 \text{ Nm}$$

$W_t = \text{carga transmitida [KN]}$

$d = \text{diámetro del engrane [mm]}$

$n = \text{Velocidad [rpm]}$

El torque de transmisión es mayor que el torque del sistema piñón – cremallera, cumple las condiciones del actuador seleccionado, Motor reductor 75: 1 25Dx54L mm HP 6V.



Figura 14. Motor reductor 75: 1 25Dx54L mm
Fuente: (Pololu, s.f.)

Que cuenta con las siguientes características:

- Tamaño: 25D x 66L mm
- Diámetro del eje: 4 mm
- Relación de transmisión: 74,83:1
- Velocidad en vacío a 6V: 130 rpm
- Corriente en vacío a 6V: 550 mA
- Corriente con carga a 6V: 6500 mA
- Par a 6V: 150 oz in
- Tipo de motor: 6,5 puesto a 6V (HP 6V) (Pololu, s.f.)

2.5. Diseño del eje largo del sistema piñón-cremallera.

a. Eje X

Actúan las fuerzas radiales de los engranes de duralon, en el eje para transmitir movimiento al sistema piñón-cremallera.

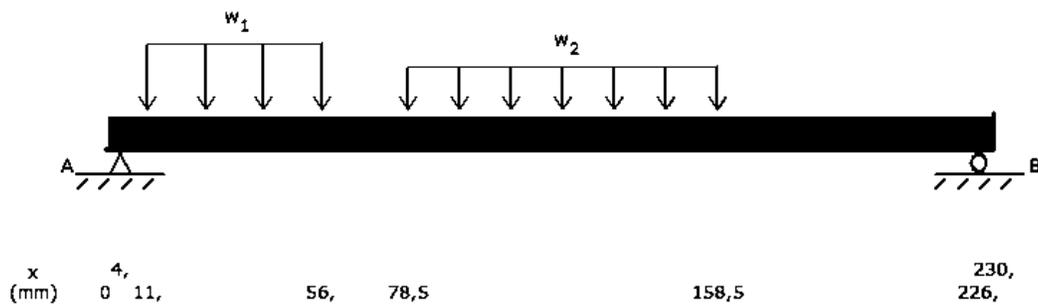


Figura 15. Diagrama de cuerpo libre para el diseño del eje largo

Fuerza radial.

$$F_r = F_{hc} \tan(20^\circ)$$

$$F_r = (35,492) \tan(20^\circ)$$

$$F_r = 12,918 \text{ N}$$

Carga distribuida engrane duralon corto.

$$w_1 = \frac{F_r}{L_{\text{Engranaje } 1}}$$

$$w_1 = \frac{12,918}{0,045}$$

$$w_1 = 287,066 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Carga distribuida engrane duralon largo.

$$w_2 = \frac{F_r}{L_{Engrane 2}}$$

$$w_2 = \frac{12,918}{0,08}$$

$$w_2 = 161,475 \frac{N}{m}$$

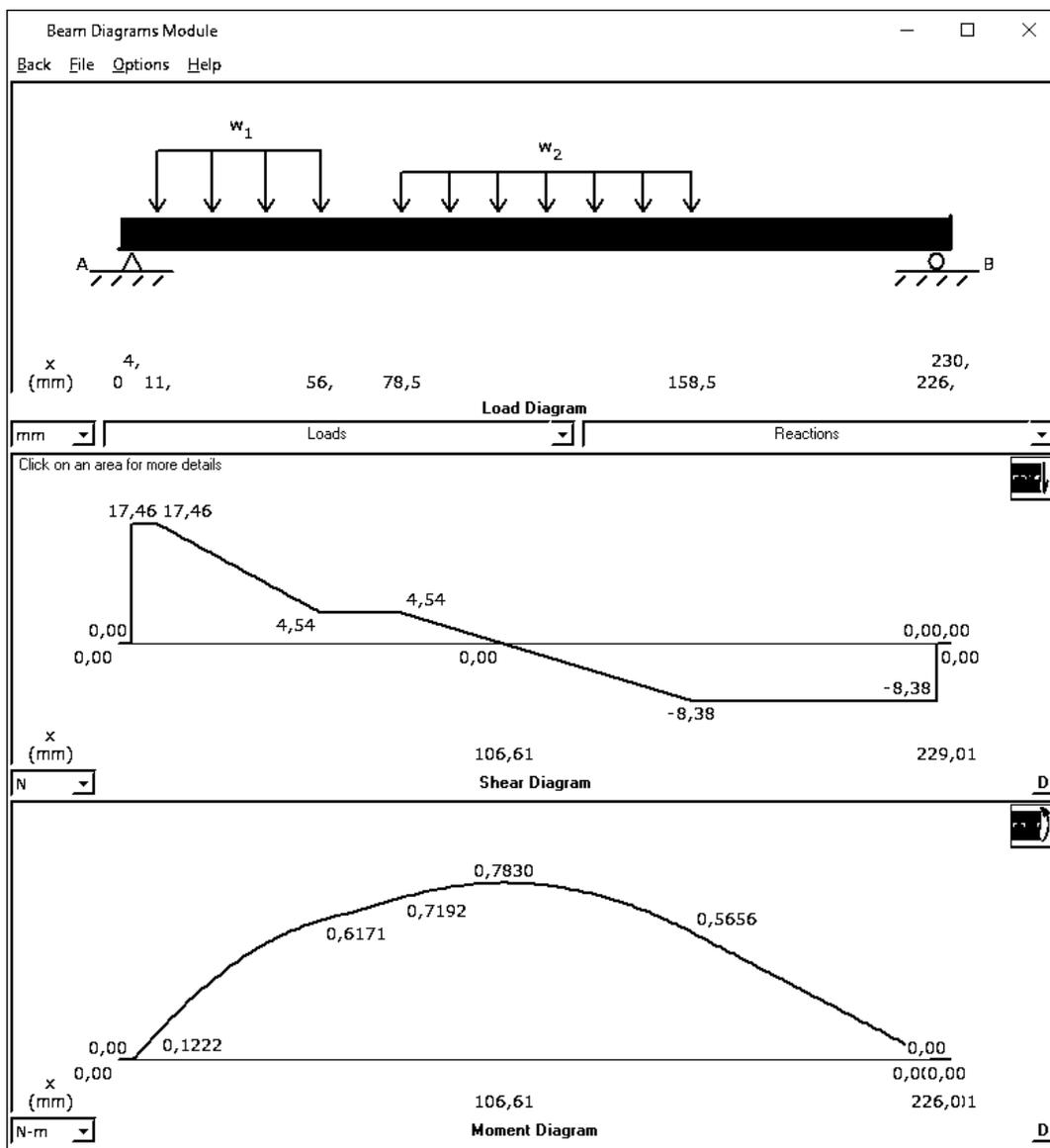


Figura 16. Diagrama de fuerzas cortantes y momento flector (eje largo).

b. Eje Y

Actúan las fuerzas tangenciales de los engranes de duralon como también la fuerza ejercida por la correa dentada en eje para transmitir movimiento al sistema piñón-cremallera.

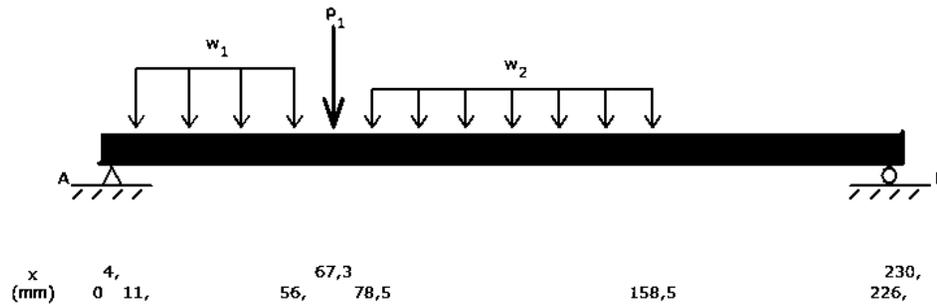


Figura 17. Diagrama de cuerpo libre para el diseño del eje largo

Carga distribuida engrane duralon corto.

$$w_1 = \frac{F_{hc}}{L_{Engranaje 1}}$$

$$w_1 = \frac{35,492}{0,045}$$

$$w_1 = 788,711 \frac{N}{m}$$

Carga distribuida engrane duralon largo.

$$w_2 = \frac{F_{hc}}{L_{Engranaje 2}}$$

$$w_2 = \frac{35,492}{0,08}$$

$$w_2 = 443,650 \frac{N}{m}$$

La fuerza de la correa.

$$F = \frac{T}{r}$$

$$F = \frac{2,657}{0,011}$$

$$F = 241,545 \text{ N}$$

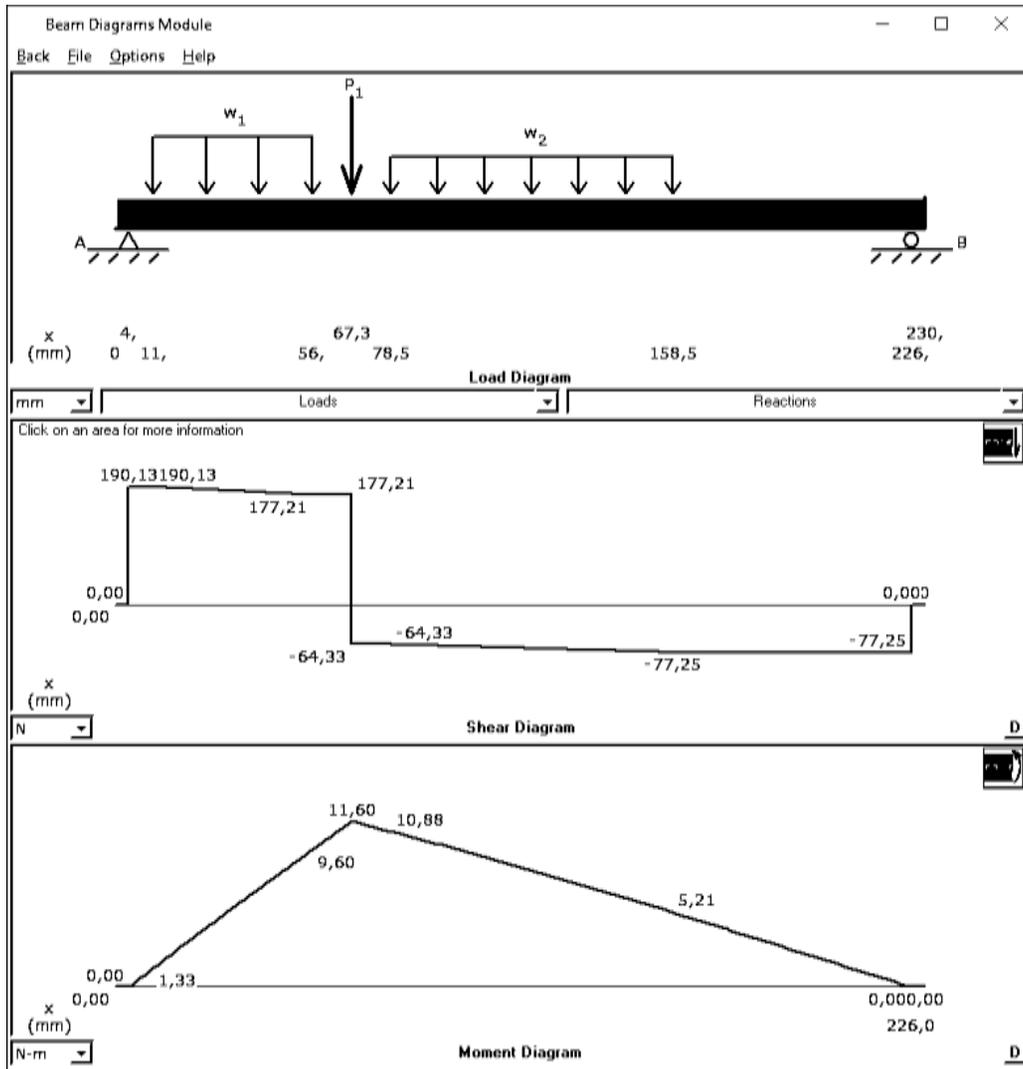


Figura 18. Diagrama de fuerzas cortantes y momento flector (eje largo)

Por lo tanto el momento total

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$$

$$M = \sqrt{(0,7830)^2 + (11,60)^2}$$

$$M = 11,626 \text{ Nm.}$$

Se utiliza la teoría de ED Goodman para calcular el diámetro del eje.

$$d = \sqrt[3]{\frac{16n}{\pi} \left[4 \left(\frac{k_f M_a}{S_e} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \left[3 \left(\frac{k_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}$$

Ecuación de Marín.

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

Donde:

k_a = Factor de superficie

k_b = Factor de tamaño

k_c = Factor de carga

k_d = Factor de temperatura

k_e = Factor de confiabilidad

k_f = Factor efectos varios

S'_e = Límite de resistencia a la fatiga

S_e = Límite de resistencia a la fatiga crítica

Factor de superficie

$$k_a = a S_{ut}^b$$

Datos:

Acabado superficial: Maquinado o laminado en frio.

Factor a = 4,51

Factor b = -0,265

Donde:

$$S_{ut} = 240 \text{ MPa}$$

$$k_a = (4,51)(240)^{-0,265}$$

$$k_a = 1,055 \cong 1$$

Factor de tamaño.

$$k_b = 1,24d^{-0,107}$$

$$k_b = (1,24)(12)^{-0,107}$$

$$k_b = 0,950$$

Factor de carga

$$k_c = 1$$

Factor de temperatura

$$T \leq 450^\circ C$$

$$k_d = 1$$

Factor de confiabilidad = 99,99%

$$k_e = 0,702$$

Factor de efectos varios

$$k_f = 1$$

Límite a la resistencia a la fatiga

$$S'_e = 0,5S_{ut}$$

$$S'_e = 0,5(240MPa)$$

$$S'_e = 120 MPa$$

Límite de resistencia a la fatiga critica

$$S_e = (1)(0,950)(1)(1)(0,702)(1)(120MPa)$$

$$S_e = 80,028 Mpa$$

$$n = 2,5$$

$$k_f = 0,5$$

$$k_{fs} = 0,6$$

Reemplazando los valores en la ecuación de ED Goodman tenemos.

$$d = \sqrt[3]{\frac{16n}{\pi} \left[2 \left(\frac{k_f M_a}{S_e} \right) + \sqrt{3} \left(\frac{k_{fs} T_m}{S_y} \right) \right]}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{(16)(2,5)}{\pi} \left[2 \left(\frac{(0,5)(11,626)}{80,028 \times 10^6} \right) + \sqrt{3} \left(\frac{(0,6)(2,57)}{215 \times 10^6} \right) \right]}$$

$$d = 0,012 m$$

$$d = 12mm$$

2.6. Diseño del eje corto del sistema piñón-cremallera.

a. Eje X.

Actúan las fuerzas radiales de los engranes de duralón en eje para transmitir movimiento al sistema piñón-cremallera.

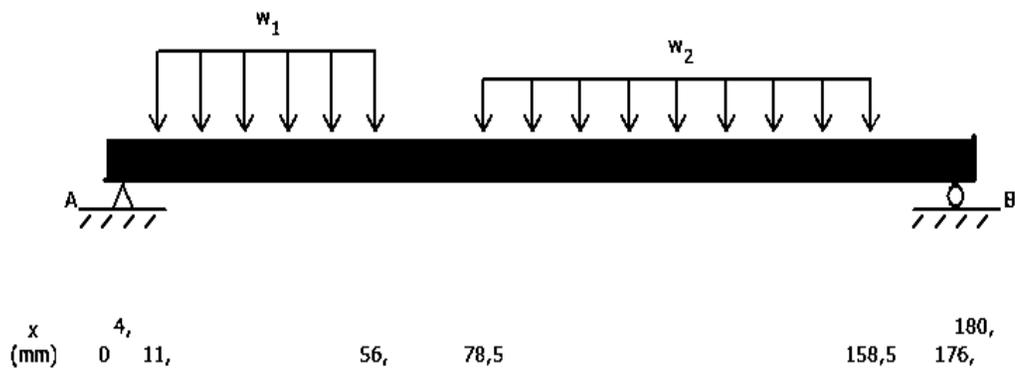


Figura 19. Diagrama de cuerpo libre para el diseño del eje corto

Datos:

Fuerza radial.

$$F_r = F_{hc} \tan(20^\circ)$$

$$F_r = (35,492) \tan(20^\circ)$$

$$F_r = 12,918 \text{ N}$$

Carga distribuida engrane duralón corto.

$$w_1 = \frac{F_r}{L_{\text{Engranaje } 1}}$$

$$w_1 = \frac{12,918}{0,045}$$

$$w_1 = 287,066 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Carga distribuida engrane duralón largo.

$$w_2 = \frac{F_r}{F_{\text{Engranaje 2}}}$$

$$w_2 = \frac{12,918}{0,08}$$

$$w_2 = 161,475 \frac{N}{m}$$

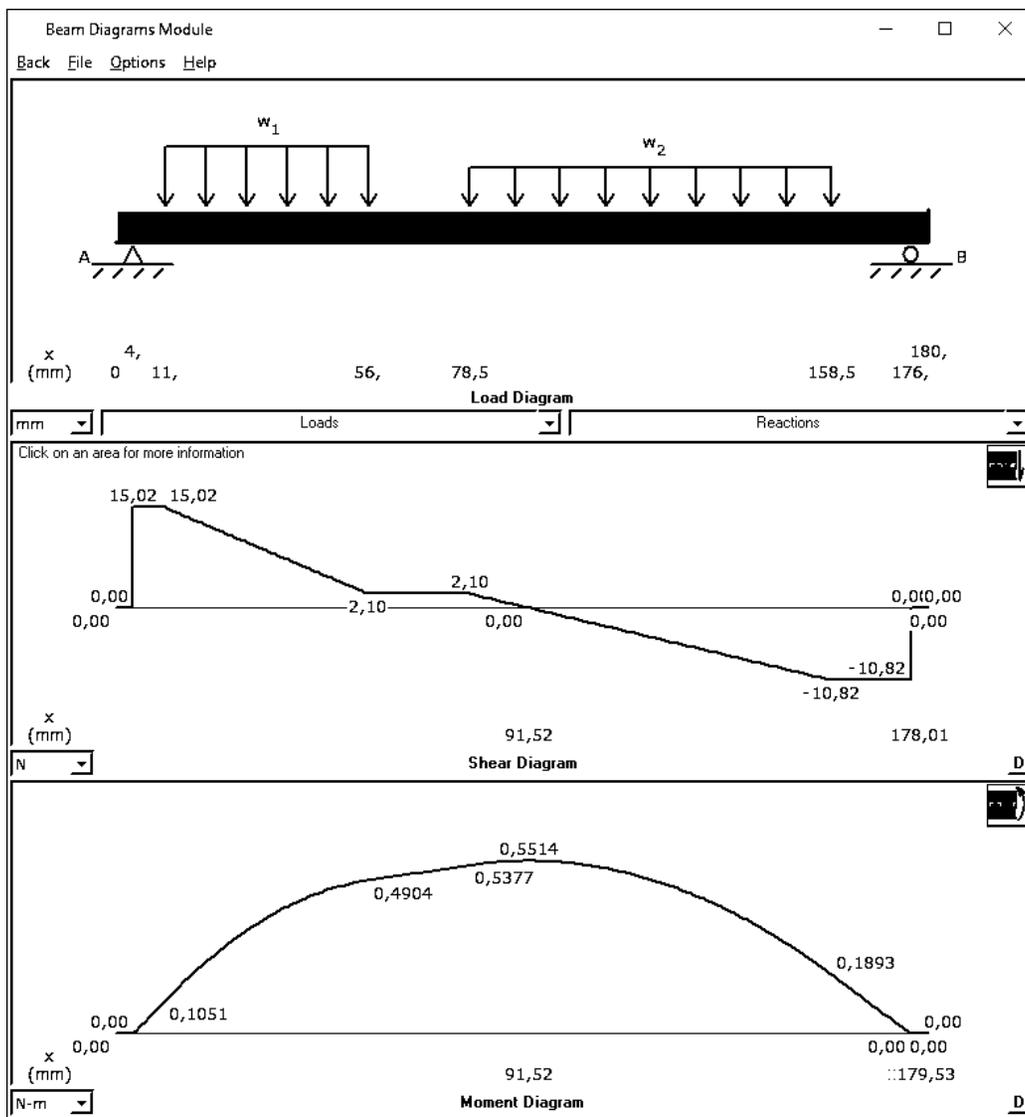


Figura 20. Diagrama de fuerzas cortantes y momento flector (eje largo)

b. Eje Y

Actúan las fuerzas tangenciales de los engranes de duralón como también la fuerza ejercida por la correa dentada en el eje para transmitir movimiento al sistema piñón-cremallera.

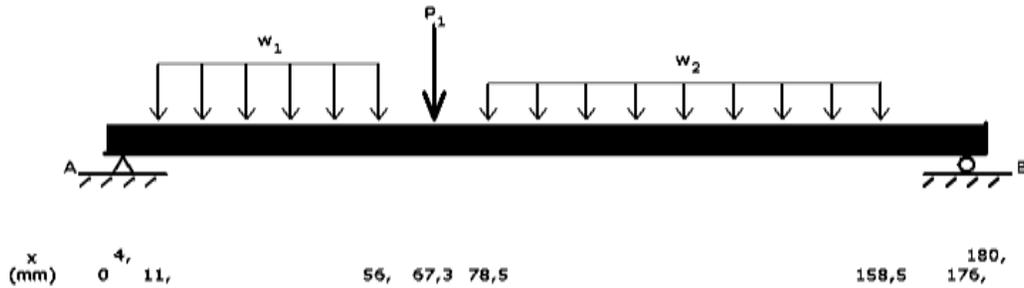


Figura 21. Diagrama de cuerpo libre para el diseño del eje corto

Datos:

Carga distribuida engrane duralón corto.

$$w_1 = \frac{F_{hc}}{L_{Engranaje\ 1}}$$

$$w_1 = \frac{35,492}{0,045}$$

$$w_1 = 788,711 \frac{N}{m}$$

Carga distribuida engrane duralón largo.

$$w_2 = \frac{F_{hc}}{L_{Engranaje\ 2}}$$

$$w_2 = \frac{35,492}{0,08}$$

$$w_2 = 443,65 \frac{N}{m}$$

La fuerza de la corea.

$$F = \frac{T}{r}$$

$$F = \frac{2,657}{0,011}$$

$$F = 241,545 \text{ N}$$

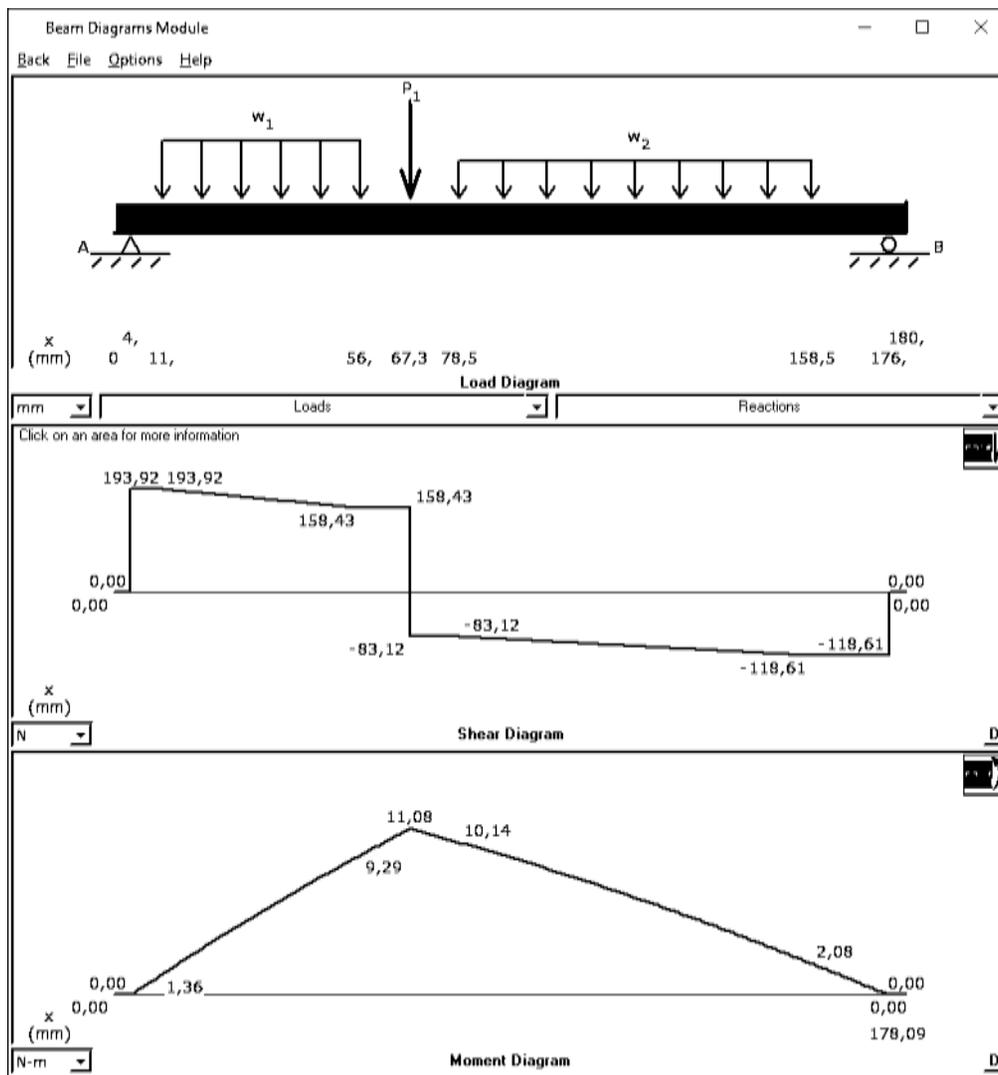


Figura 22. Diagrama de fuerzas cortantes y momento flector (eje corto)

Por lo tanto el momento total

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$$

$$M = \sqrt{(0,551)^2 + (11,08)^2}$$

$$M = 11,093 \text{ Nm}$$

Se utiliza la teoría de ED Goodman para calcular el diámetro del eje.

Datos:

$$n = 2,5$$

$$k_f = 0,5$$

$$k_{fs} = 0,6$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16n}{\pi} \left[4 \left(\frac{k_f M_a}{S_e} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \left[3 \left(\frac{k_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16n}{\pi} \left[2 \left(\frac{k_f M_a}{S_e} \right) + \sqrt{3} \left(\frac{k_{fs} T_m}{S_y} \right) \right]}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{(16)(2,5)}{\pi} \left[2 \left(\frac{(0,5)(11,093)}{80,028 \times 10^6} \right) + \sqrt{3} \left(\frac{(0,6)(2,657)}{215 \times 10^6} \right) \right]}$$

$$d = 0,012 \text{ m}$$

$$d = 12 \text{ mm}$$

2.7. Diseño de los soportes del Sistema de visión artificial.

Se realiza a continuación el análisis cada componente que soportara el sistema de visión artificial.

a. Soporte horizontal

El soporte horizontal del sistema de visión artificial se analiza como una viga en voladizo, la masa de los componentes que figan la cámara al soporte horizontal es de 887,13 gramos, lo que constituye una carga de 8,702 N, teniendo el siguiente diagrama de cuerpo libre.



Figura 23. Diagrama cuerpo libre del sistema de visión artificial.

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A - P_1 = 0$$

$$R_A - 8,702N = 0$$

$$R_A = 8,702N$$

$$\sum M_A = 0$$

$$(8,702N)(600mm) - M_A = 0$$

$$M_A = 5221.2 Nmm$$

Utilizando las ecuaciones de equilibrio se obtiene la reacción y el momento en el punto A, los cuales se comprueba mediante software como se muestra a continuación.

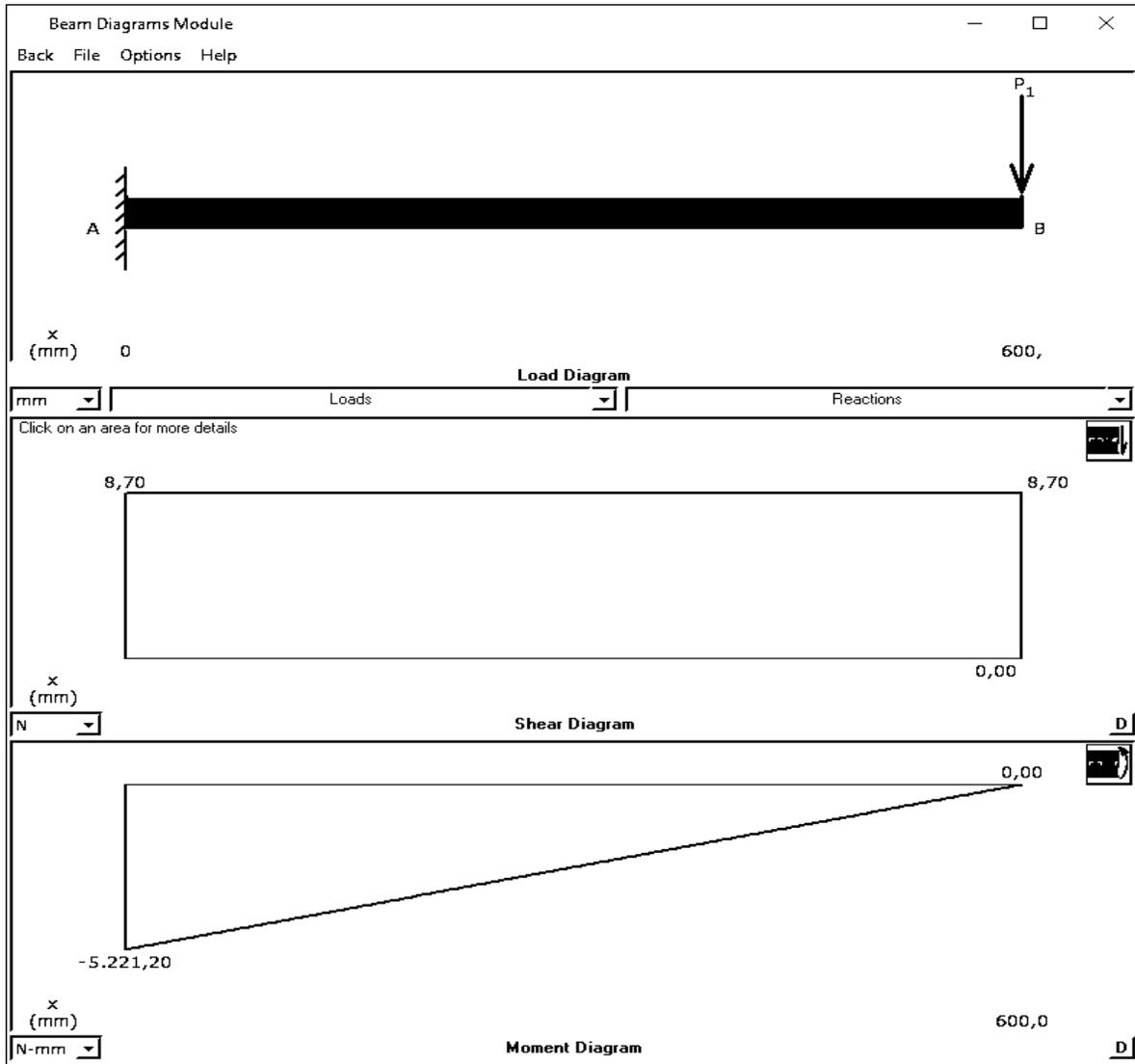


Figura 24. Diagrama de fuerzas cortantes y momento flector del soporte horizontal.

EL material escogido es un tubo redondo acero inoxidable de 14mm con un espesor de 2mm, se comprueba dicha selección mediante la deflexión que será el valor más crítico.

Momento de inercia de un tubo redondo hueco. (Mott, Resistencia de Materiales, 2009)

$$I = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$$

$$I = \frac{\pi(14^4 - 12^4)}{64}$$

$$I = 867,864 \text{ mm}^4$$

Deflexión máxima de una viga en voladizo (Mott, 2006)

$$y_{max} = \frac{-PL^3}{3EI}$$

$$y_{max} = \frac{-(8,702N)(0,6m)^3}{3(207000 \text{ MPa})(867,864 \times 10^{-12} \text{ m}^4)}$$

$$y_{max} = 3,487 \times 10^3 \text{ m}$$

$$y_{max} = 3,487 \text{ mm}$$

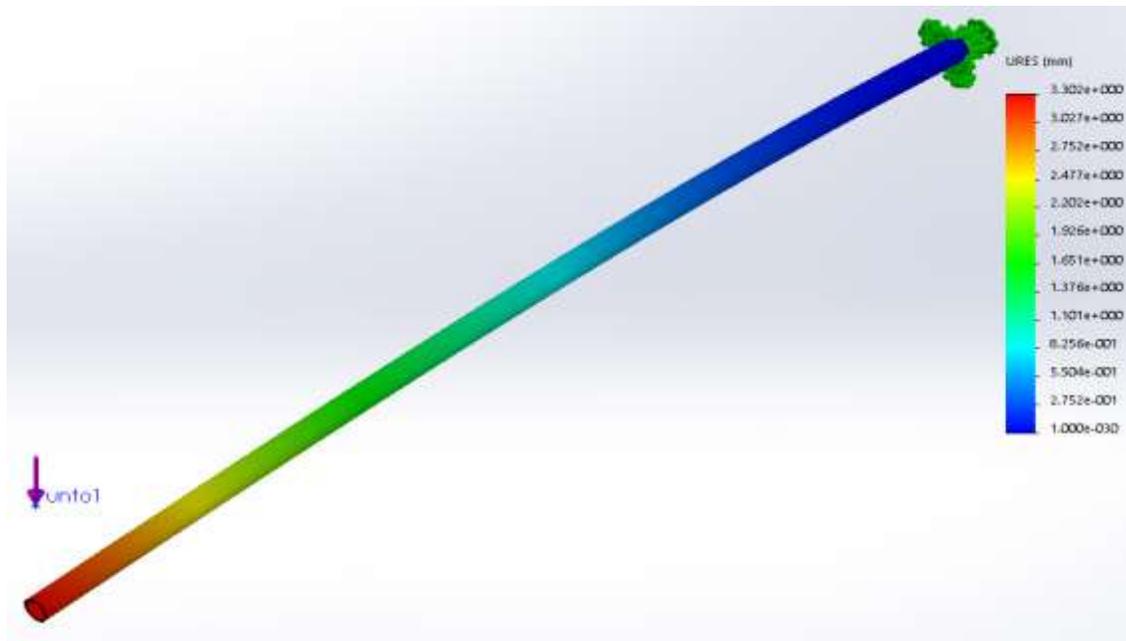


Figura 25. Deflexión máxima del soporte horizontal del sistema de visión.

b. Soporte vertical

El soporte vertical se lo analizará mediante software, como una columna la cual estará sometida a una carga a compresión. El material utilizado es un tubo redondo de acero inoxidable de 18mm de diámetro y 2mm de espesor con una longitud de 93cm. La masa de los componentes a soportar es de 1079,73 gramos lo que da una carga de 10,591 N.

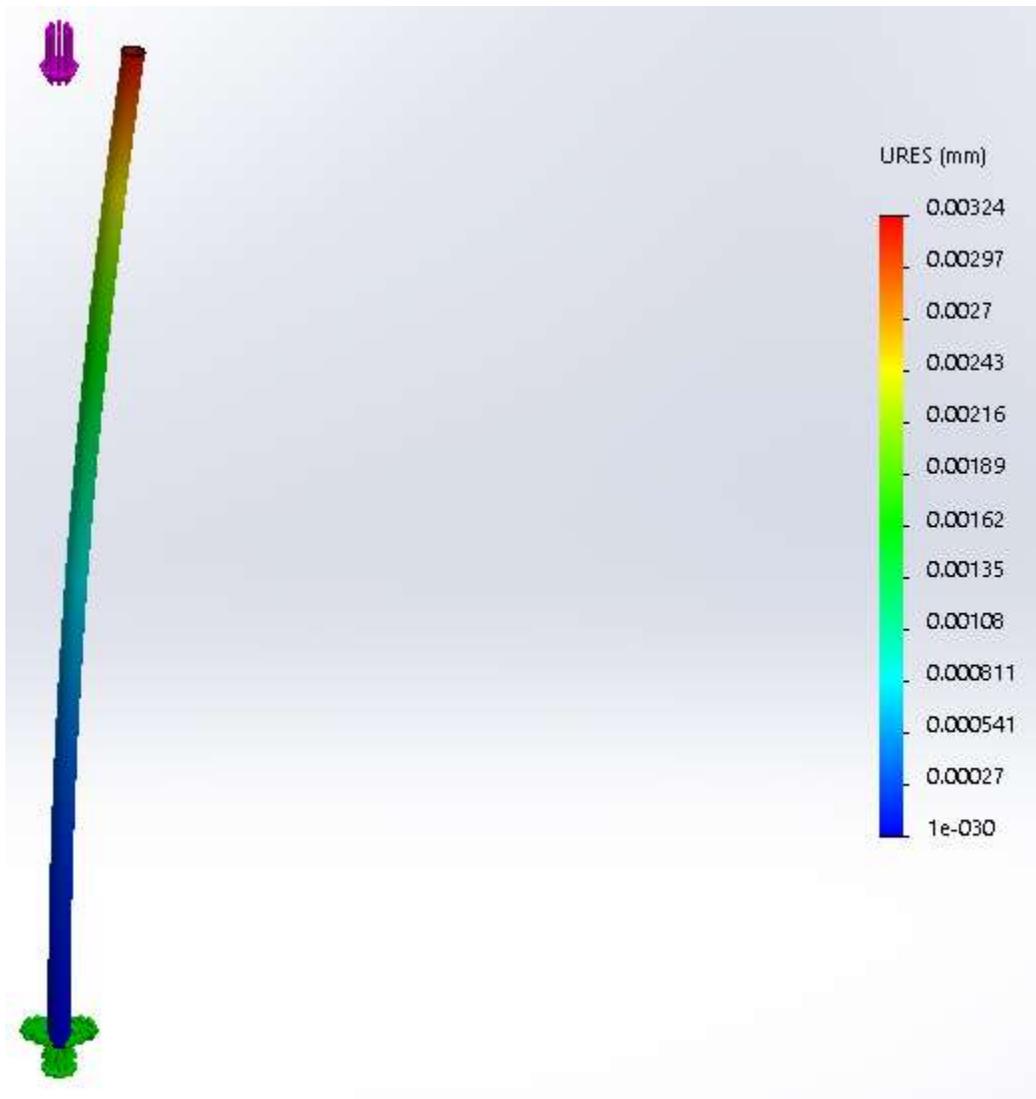


Figura 26. Análisis estático del soporte vertical del sistema de visión.

En la figura 26 se observa que la deflexión máxima es 0.00324mm, lo que constituye un valor despreciable, comprobando que el material escogido soporta de manera correcta las cargas a las que se encuentra sometida.

2.8. Diseño del sistema de control.

El sistema de control está compuesto por diferentes elementos eléctricos y electrónicos que van a trabajar en conjunto con el fin de dominar todo el sistema.

Para analizar el objetivo de realización de este sistema, se han impuesto distintos requerimientos del sistema de control los cuales se detallan en el siguiente diagrama de bloques.

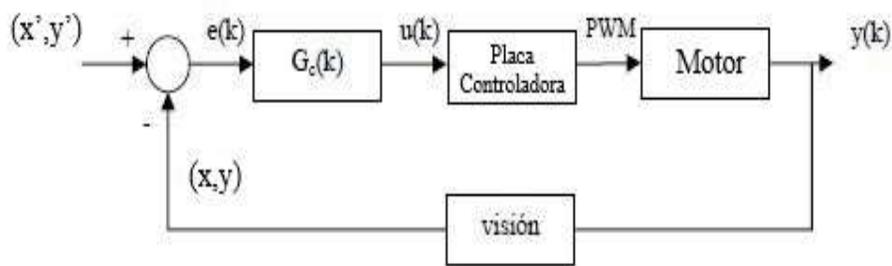


Figura 27. Diagrama de bloques con realimentación visual

Al analizar las condiciones impuestas a cumplir en cuanto a su control, se requiere un sistema para trabajar con imágenes en tiempo real, debido a esto se decide utilizar el software C++ con la librería OpenCv.

El control se realiza mediante un programa de visión artificial que consiste en el reconocimiento de color, el cual va a interactuar con tarjetas controladoras adecuada para motores DC escogidos anteriormente, mismos que van a dar movimiento al sistema.

En base a la disponibilidad en el mercado, características, complejidad y costo a continuación tenemos algunas alternativas de elementos eléctricos y electrónicos, que en conjunto cumplan con el control del sistema.

2.9. Tarjeta de control

La tarjeta de control cumple un papel importante en el sistema, ya que será la encargada de interactuar con el sistema de visión artificial y los actuadores.

a. Alternativa 1. Arduino Nano



Figura 28. Arduino Nano

Fuente: (arduino.cl, s.f.)

Características:

- Microcontrolador: ATmega328
- Voltaje de operación: 5V
- Voltaje de alimentación (Recomendado): 7-12V
- I/O Digitales: 14 (6 son PWM)
- Memoria Flash: 32KB

- EEPROM: 1KB
- Frecuencia de trabajo: 16MHz
- Dimensiones: 0.73" x 1.70" (arduino.cl, s.f.)

b. Alternativa 2. Arduino uno.



Figura 29. Arduino Uno
Fuente: (arduino.cl, s.f.)

Características:

- Microcontrolador ATmega328.
- Voltaje de entrada 7-12V.
- 14 pines digitales de I/O (6 salidas PWM).
- 6 entradas análogas.
- Entrado I2C,
- 32k de memoria Flash.
- Reloj de 16MHz de velocidad. (arduino.cl, s.f.)

c. Alternativa 3. Arduino Mega 2560



Figura 30. Arduino Mega 2560

Fuente: (arduino.cl, s.f.)

Características:

- Microcontrolador ATmega2560.
- Voltaje de entrada de – 7-12V.
- 54 pines digitales de Entrada/Salida (14 de ellos son salidas (PWM).
- 16 entradas análogas.
- 256k de memoria flash.
- Velocidad del reloj de 16Mhz. (arduino.cl, s.f.)

d. Criterios de selección para la tarjeta de control

A continuación se listan los criterios de selección de la tarjeta de control:

- Compatibilidad
- Disponibilidad
- Programación
- Control de actuadores

- Costo

e. Selección de alternativa adecuada de tarjeta de control

Tabla 9.

Criterios de selección tarjeta de control

Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Compatibilidad	4	4	4
Disponibilidad	4	4	4
Programación	3	3	3
Control de actuadores	2	3	4
Costo	3	3	3
Suma	16	17	18

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 9, la mejor alternativa de tarjeta de control es la opción 3, es decir la tarjeta arduino mega 2560 (ver en anexo A2).

2.10. Drivers de control para motores DC.

Los drivers para motores DC nos permiten tener un adecuado funcionamiento de los motores en cuanto a la cantidad de voltaje como de corriente suministrada al motor.

a. Alternativa 1. Módulo puente H L298N

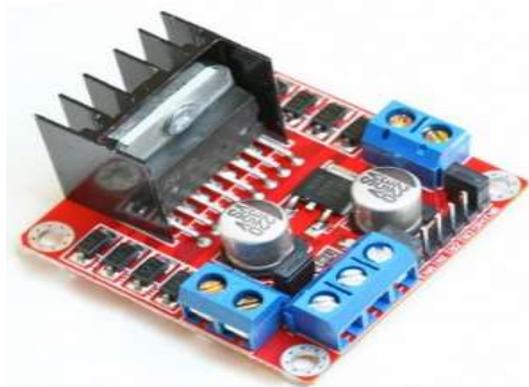


Figura 31. Módulo puente H L298

Fuente: (createc3d, s.f.)

Características:

- Chip controlador de motor: L298N puente H doble
- Voltaje de alimentación del chip: +5.5V a +24V
- Pico de corriente soportado: 2^a
- Voltaje de alimentación de las terminales de control: 3 - 5.5V
- Voltaje de control: Niveles Alto = 5.5V, Bajo = 0V
- Potencia máxima de consumo: 20W
- Tamaño PCB: 53.5mm * 45mm * 30mm
- Distancia entre agujeros de sujeción: 47.5mm y 39mm
- Peso: 26 gramos (createc3d, s.f.)

b. Alternativa 2. Módulo de control de movimiento TB6612FNG



Figura 32. Módulo de control de movimiento TB6612FNG

Fuente: (Pololu, s.f.)

Características:

- Controlador de motor Dual-H-bridge: puede conducir dos motores de CC o un motor paso a paso bipolar
- Tensión recomendada del motor (VMOT): 4.5 V a 13.5 V (puede operar hasta 2.5 V con un rendimiento reducido)

- Voltaje lógico (VCC): 2.7 V a 5.5 V
- Máximo de corriente de salida: 3 A por canal
- Corriente de salida continua: 1 A por canal (puede conectarse en paralelo para entregar 2 A en forma continua)
- Frecuencia máxima de PWM: 100 kHz
- Protección de potencia inversa en el suministro del motor (Pololu, s.f.)

c. Alternativa 3. Controlador de motor CC de doble canal Cytron



Figura 33. Controlador de motor CC de doble canal Cytron
Fuente: (makerselectronics, s.f.)

Características:

- Control bidireccional para 2 motores de CC.
- La tensión del motor de soporte oscila entre 5 V y 25 V.
- Corriente máxima de hasta 10 A continua y 30A de pico (10 segundos) para cada canal.
- Los componentes de estado sólido proporcionan un tiempo de respuesta más rápido y eliminan el desgaste del relé mecánico.

- Velocidad de control de frecuencia PWM hasta 20KHz. Admite tanto la operación PWM bloqueada-antifase como la magnitud de signo.
- 2 botones de activación para una prueba rápida en cada canal.
- Dimensión: 84.5mm x 62mm. (makerselectronics, s.f.)
- Potencia máxima de consumo: 20W

d. Criterios de selección para drivers de control para motores DC

A continuación se listan los criterios de selección de drivers adecuado para motores DC:

- Compatibilidad
- Disponibilidad
- Control de actuadores
- Instalación
- Costo

e. Selección de alternativa adecuada de drivers de control para motores DC.

Tabla 10.

Criterios de selección tarjeta de control

Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Compatibilidad	2	2	4
Disponibilidad	4	4	3
Control de actuadores	2	2	4
Instalación	4	4	4
Costo	4	3	2
Suma	16	15	17

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 9, la mejor alternativa es la opción 3 para drivers de control de motores DC, es decir el controlador de motor CC de doble canal Cytron (ver en anexo A3).

2.11. Pre procesamiento

En este literal se aborda el sistema de visión artificial para la detección de la referencia a monitorizar dentro de un área establecida. En la figura 34 se muestra las etapas que sigue el procesamiento digital de las imágenes, para obtener como resultado la solución del problema.

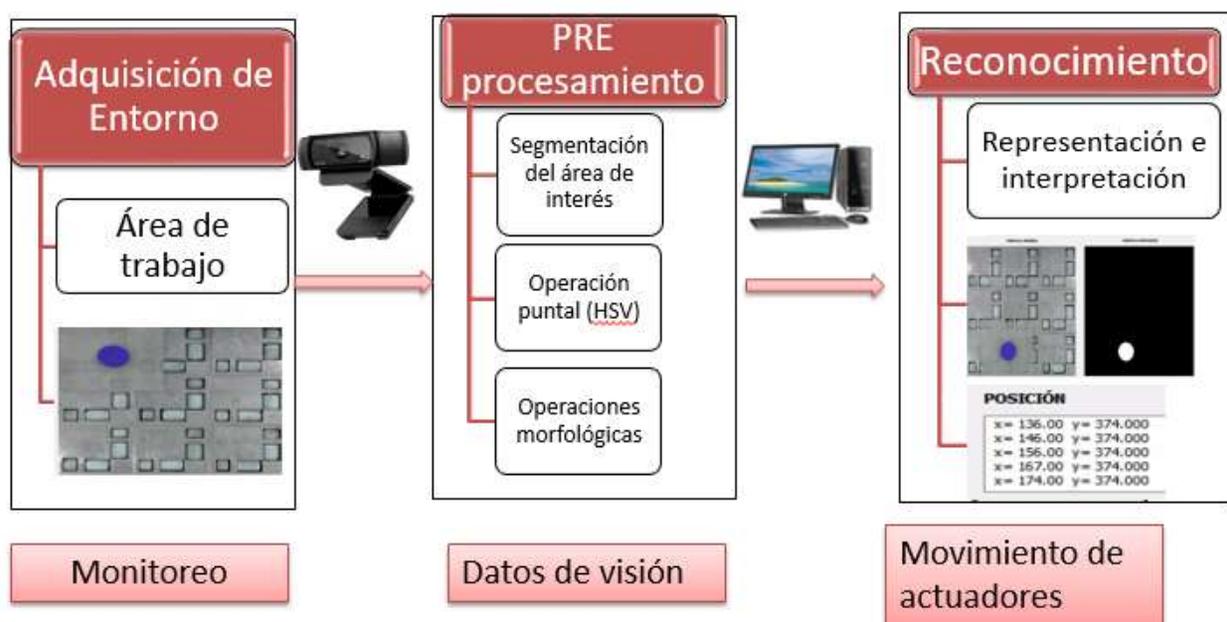


Figura 34. Esquema general del procesamiento de imágenes

Para detectar la referencia del objeto expuesto, el sistema de visión artificial se basa resumidamente en las tres etapas antes mencionadas, donde la posición de la referencia es fundamental para detectar su ubicación en el entorno capturado por la cámara y posterior a esto realizando el reconocimiento mediante patrones de homogeneidad, disminuyendo errores de reconocimiento como muestra el siguiente flujograma en la figura 35:

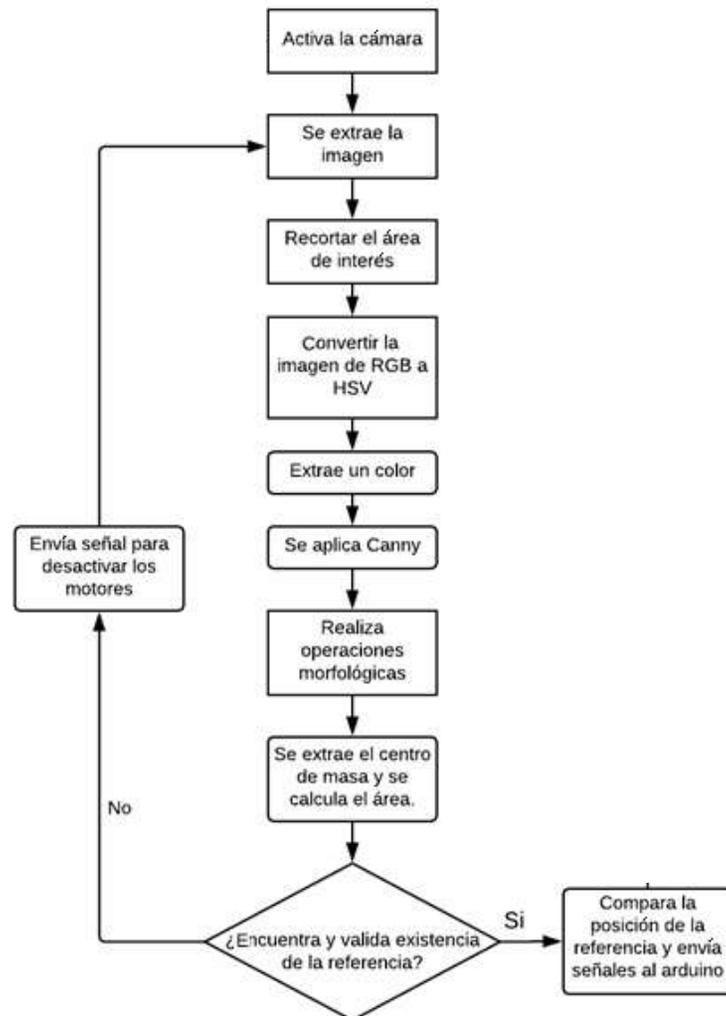


Figura 35. Diagrama de flujo visión artificial.

2.11.1. Adquisición de entorno

La captura de los elementos alrededor de su entorno es la primera etapa de un sistema de visión artificial como se muestra en la figura 36, esta información debe ser digitalizada para que el computador pueda procesarla en las siguientes etapas. Debido a que el entorno donde se trabaja es reducido, las cámaras deben disponer lo siguiente:

- Auto enfoque para evitar distorsiones por cambio en las distancias de los objetos y de esta manera la captura de la imagen sea lo mejor posible permitiendo una detección más confiable
- La distancia de visualización de objetos debe ser mínima y cubrir un área visual de 7200 mm².
- El envío de las capturas del entorno debe ser de forma alámbrica, debido a que la longitud del área de trabajo no es muy extensa, por lo que se utilizara cámaras Web las cuales comprimen la imagen digital en una imagen que contiene menos datos para permitir una transferencia más eficiente a la hora de adquirir la imagen.



Figura 36. Adquisición de la imagen.

2.11.2. Pre procesamiento

Previo a la obtención de la imagen, muchas veces es necesario definir el tamaño de la imagen para resaltar aspectos deseados y eliminar los no deseados, se tales como el ruido. Esta tarea tiene un campo muy amplio de estudio, en la etapa de pre procesamiento se utilizan dos tipos de técnicas. (Sugar & Gómez, 2011, pág. 15)

a. Segmentación del área de interés

La segmentación es una etapa que permite excluir objetos que no tienen importancia en una escena y se basa en los principios de semejanza y discontinuidad. En la imagen capturada por la webcam se busca un área de interés para ser analizada que se conoce comúnmente como ROI la cual permitirá separar un cierto número de píxeles de la imagen, al aplicar una ROI en la imagen se obtiene otra representación, pero con los datos que son importantes para la investigación como se puede observar en la figura 66.

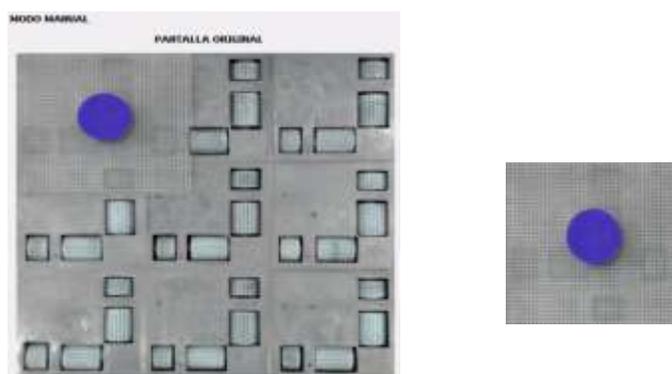


Figura 37. Extracción de la ROI.

b. Operaciones morfológicas

Las operaciones morfológicas normalmente son aplicadas en imágenes binarias, cuya finalidad es realzar características importantes de una imagen mientras elimina el ruido. La imagen de la referencia definida será limpiada del ruido aplicando las operaciones morfológicas a continuación se enuncian algunas de estas operaciones.

- **Erosión:** elimina ruido, pero a su vez adelgaza el área de estudio es decir reduce las regiones de la imagen con valor 1 o conocido como color blanco (figura 38).

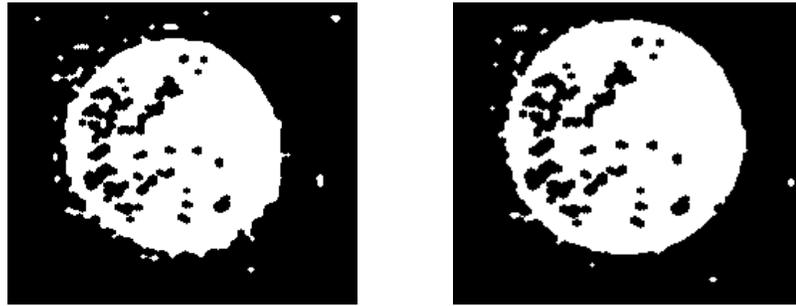


Figura 38. Erosión a la imagen original

- **Dilatación:** no elimina el ruido, incrementa las zonas de la imagen con valor 1 (figura39).

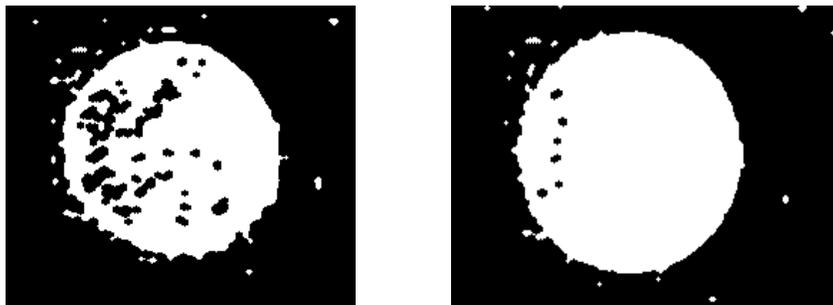


Figura 39. Dilatación a la imagen original

- **Apertura:** consiste en aplicar erosión y luego dilatación en una imagen (figura 40).



Figura 40. Apertura a la imagen original

- **Cierre:** consiste aplicar dilatación y luego erosión a una imagen (figura 41).



Figura 41. Cierre a la imagen original

Aplicando operaciones morfológicas a la imagen segmentada se obtiene una imagen más limpia con un porcentaje de ruido mucho menor como se aprecia en la figura (figura 42).



Figura 42. Imagen limpia.

c. Operaciones puntuales

La técnica que se utiliza para esta etapa dentro de operaciones puntuales es la binarización por umbral HSV, su forma básica es una típica operación puntual la cual entrega una imagen binaria de una transformación no lineal de la imagen de entrada obteniendo una imagen de salida donde cada pixel puede tomar alguno de los dos valores ya sea 0 (negro) o 1 (blanco). (Sugar & Gómez, 2011).

La imagen es transformada al modelo HSV para identificar el color característico y sus diferentes tonalidades, las cuales variaran mientras este se desarrolla en su entorno, el

valor óptimo para separar los caracteres del fondo, es de prueba y error que permiten definir el umbral para la imagen a procesar, como se muestra en la figura 43.

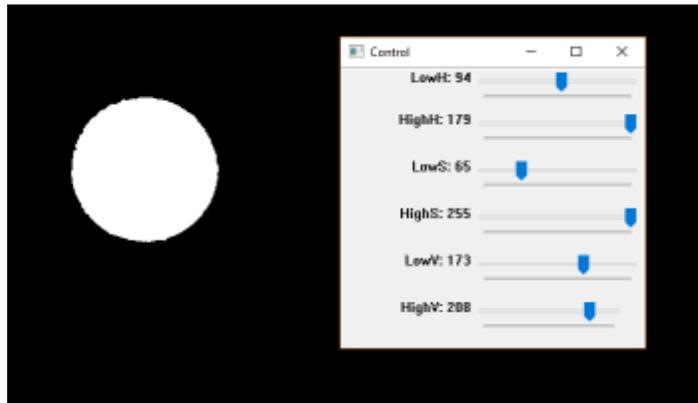


Figura 43. HSV de la imagen original.

2.11.3. Resultado.

La última etapa del sistema de visión artificial es el resultado, en esta parte el algoritmo de detección obtiene el punto medio de gravedad del objeto o referencia, permitiendo visualizar su posición actual y guarda esa información en un vector, que posteriormente es utilizado por el algoritmo de seguimiento (figura 44).

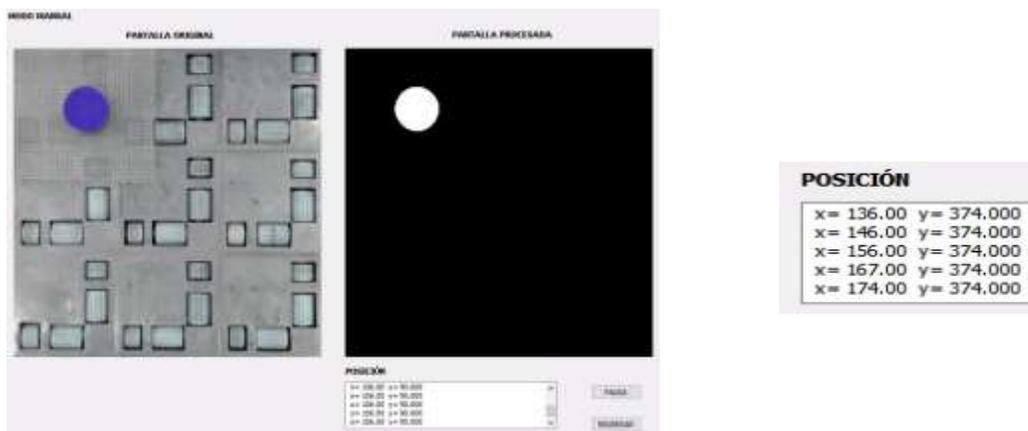


Figura 44. Resultado del tratamiento de imagen.

2.11.4. Cámara del sistema de visión artificial

Es una de los elementos principales del sistema de visión artificial ya que por medio de esta tendrá acceso a imágenes en tiempo real, por lo cual es una parte vital para el sistema a implementar.

a. Alternativa 1. WideCam F100



Figura 45. WideCam F100
Fuente: (Genius, s.f.)

Características:

- Sensor de imagen: CMOS de píxeles Full HD 1080p
- Tipo de lente: objetivo de enfoque manual
- Formato de archivo: MPEG/WMV
- Resolución (DPI): 12MP (interpolación), 1920 x 1080, 1280 x 720, 640 x 480 píxeles
- Peso: 82 g
- Dimensiones: 150 x 49 x 48 mm (Genius, s.f.).

b. Alternativa 2. GoPro Killer SJ4000

Figura 46. GoPro Killer SJ4000
Fuente: (micamaradeportiva, 2016)

Características

- Pantalla de 1,5 pulgadas
- Lente: Objetivo gran angular de 170°
- Vídeo Full HD a 1080p (1920 x 1080) a 30 fps
- Vídeo HD a 720p (1280 x 720) a 30 fps
- Peso: 100 g

c. Alternativa 3. Logitech C920 HD Pro

Figura 47. Logitech C920 HD Pro
Fuente: (logitech, s.f.)

Características:

- Videoconferencias Full HD 1080p (hasta 1920 x 1080 píxeles).
- Videoconferencias HD 720p (1280 x 720 píxeles) con clientes compatibles.
- Grabaciones de video Full HD (hasta 1920 x 1080 píxeles).
- Corrección automática de iluminación escasa.
- Lente de cristal Full HD.
- Captura de imágenes (W 16:9) 2, 3, 6, 15 MP.

d. Criterios de selección de la cámara del sistema de visión artificial

A continuación se listan los criterios seleccionar la cámara adecuada para el sistema:

- Disponibilidad
- Resolución
- Enfoque
- Iluminación
- Estética
- Costo

e. Selección de la cámara adecuada para el sistema de visión artificial**Tabla 11.**

Criterios de selección de la cámara

Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Disponibilidad	4	4	4
Resolución	3	3	4
Enfoque	2	2	3
Iluminación	2	2	4
Estética	3	3	3
Costo	4	3	2
Suma	18	17	20

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 11, la mejor alternativa es la opción 3 para la cámara del sistema de visión artificial, es decir la cámara Logitech C920 HD PRO (ver en anexo A4).

2.12. Fuente de alimentación.

Para el correcto funcionamiento tanto de los motores como de las tarjetas controladoras, se requiere una fuente de poder que proporcione 12V y una corriente mínima de 7A de corriente continua para alimentar cada módulo.



Figura 48. Fuente de poder CODEGEN 300PA
Fuente: (Linio, s.f)

Debido a esto se ha elegido una fuente de PC CODEGEN modelo: 300PA, a fin que se acomode dentro del bastidor, y otras características que se mencionan a continuación:

- Dimensiones: 150x140x80 mm
- Potencia: 450 W
- Entrada: 115-230 VAC / 10-5A / 50-60Hz
- Salida: 5 VDC-15A / 12V DC-12A (Linio, s.f)

2.13. Ordenador

El objetivo principal del ordenador es la ejecución óptima del software y el procesamiento digital de las imágenes, los mismos que dependen de su memoria RAM, ROM, además de capacidad de almacenamiento, esto debido a que el algoritmo de detección y seguimiento requiere de un costo computacional medio alto.

a. Alternativa 1. Raspberry Pi 3 Modelo B



Figura 49. Raspberry Pi3 Modelo B++
Fuente: (Raspberry, s.f)

Características:

- A 1,2 GHz 64-bit de cuatro núcleos ARMv8 CPU
- 802.11n Wireless LAN,
- 1 GB de RAM
- 4 puertos USB ,40 pines GPIO, Puerto Ethernet
- Conector de audio de 3,5 mm combinado.
- Vídeo compuesto (Raspberry, s.f)

b. Alternativa 2. BeagleBone Black



Figura 50. BeagleBone Black
Fuente: (beagleboard, s.f)

Características

- Procesador 1Gz Sitara AM3359AZC100
- Motor Gráfico SGX530 3D, 20M Polygons/S
- Memoria SDRAM 512 MB DDR3L 400Mhz
- Flash 2GB, 8bit Embedded MMC (beagleboard, s.f)

c. Alternativa 3. Portatil HP 2000-2d22DX



Figura 51. Portatil HP 2000-2d22DX
Fuente: (cnet, s.f)

Características

- CPU: Intel Core i3 (3rd Gen) 3120M / 2.5 GHz
- Memoria cache 3MB, RAM 4GB

- Protocol inalámbrico:802.11b/g/n
- Procesador Core i5
- Interfaces:3 x USB 2.0. HDMI, Headphone output, Microphone input, LAN, VGA.
(cnet, s.f)

d. Criterios de selección del ordenador

- Capacidad de almacenamiento.
- Memoria RAM.
- Salida de video.
- Soporte de video.
- Sistema operativo.
- Capacidades gráficas.
- Procesador.
- Puertos GPIO.
- Precio.

e. Selección de la mejor alternativa para el ordenador

Tabla 12.

Valoración de las alternativas de ordenador

Parámetros	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Memoria RAM	2	2	3
Salida de video	2	2	3
Soporte de video	2	2	3
Sistema operativo	3	3	4
Capacidades Graficas	2	2	4
Procesador	2	3	4
Precio	4	4	2
Suma	17	18	23

De acuerdo a la valoración de alternativas para la selección del ordenador (ver tabla 12), la que más se adapta con los parámetros establecidos es la alternativa 3 por lo cual

se utiliza una Portátil HP 2000-2d22DX debido su memoria RAM (ver en anexo A5), soporte de video y sistema operativo, como características más relevantes y mejores que la alternativa 1 y alternativa 2.

CAPÍTULO III CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

3.1. Introducción

Para la construcción del equipos se dividió en las siguientes partes: armazón, mecanismo de movimiento, soportes del mecanismo, base de apoyo y base móvil, sistema de visión, implementación eléctrica y electrónica. (Ver en anexo B).

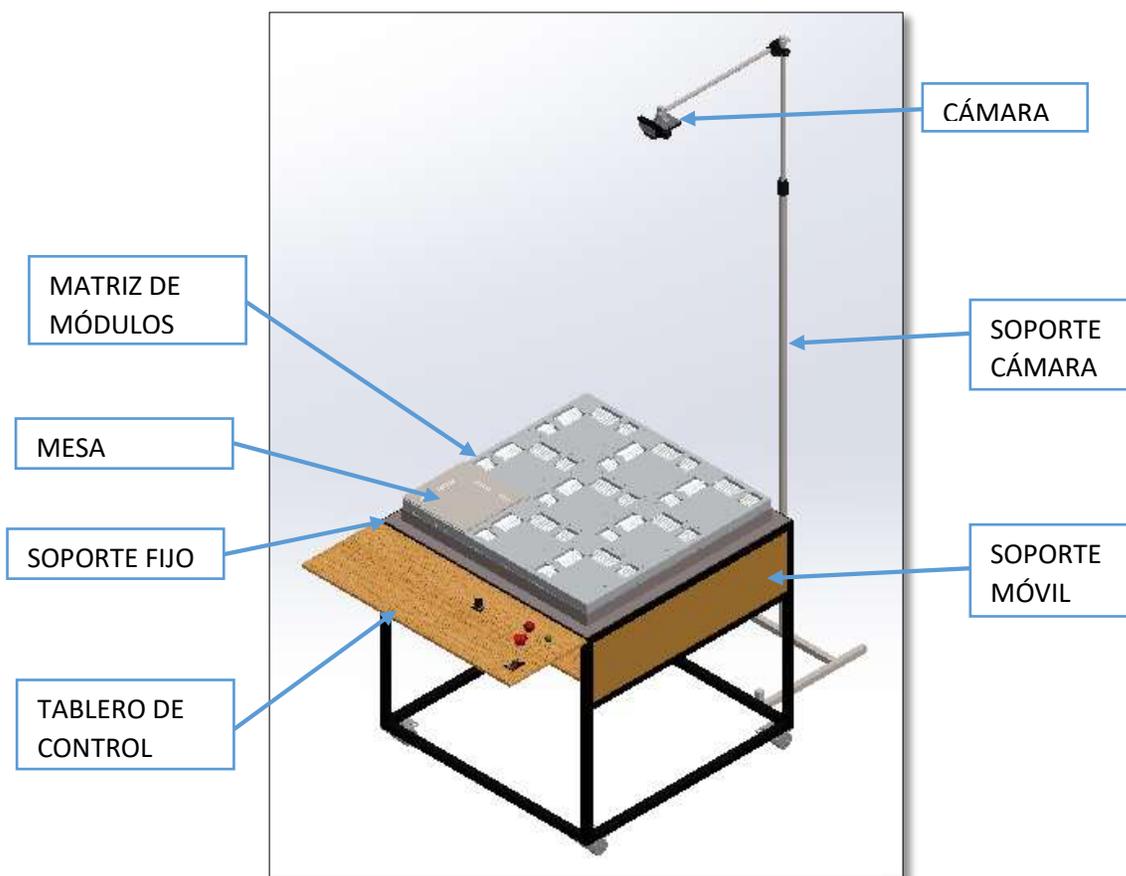


Figura 52. Construcción del equipo

3.2. Ensamblaje del sistema mecánico.

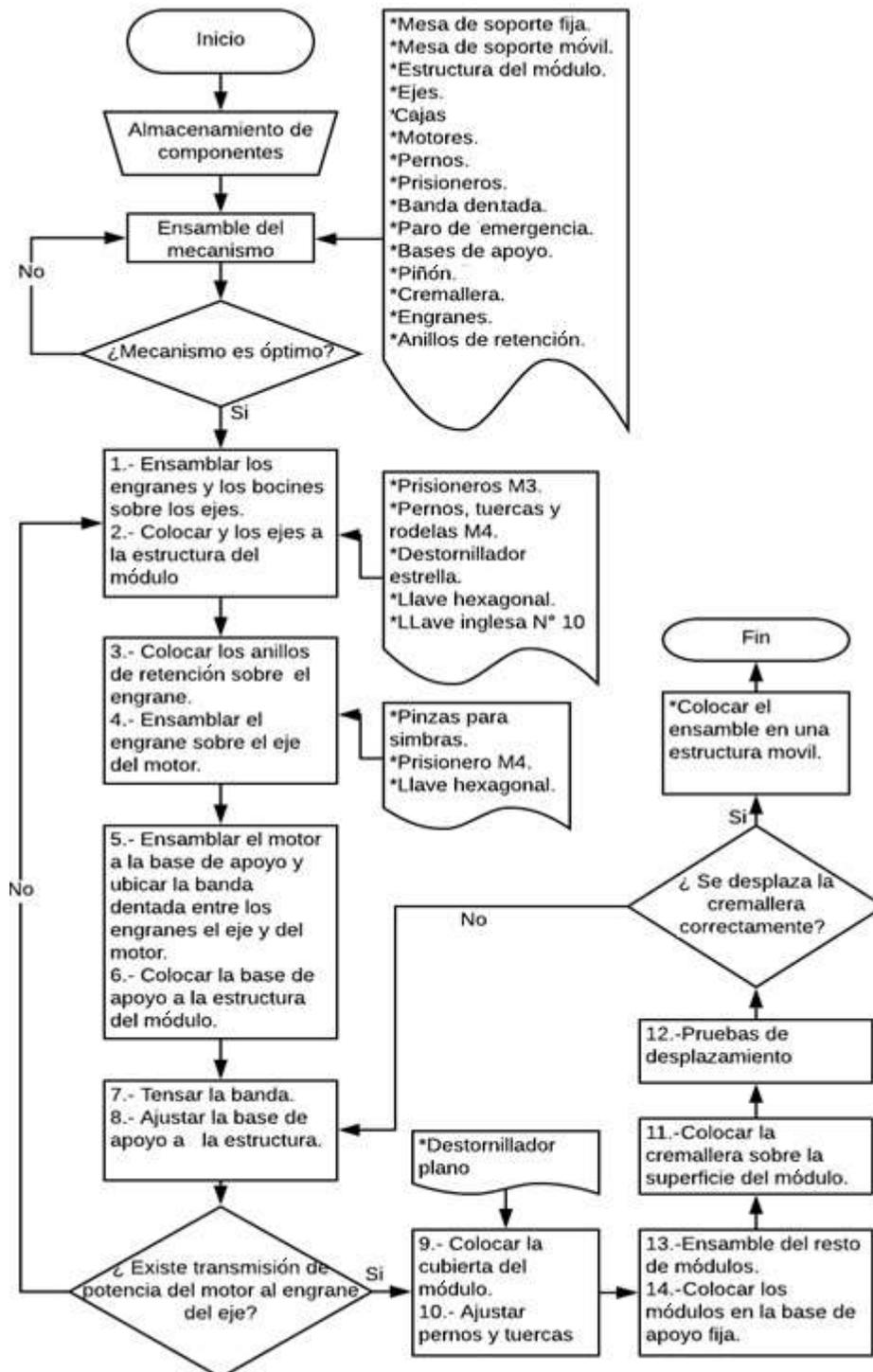


Figura 53. Flujograma del ensamble del sistema mecánico.

3.3. Construcción del armazón.

Una de las partes principales que forman el proyecto es la construcción de la estructura del armazón el cual cubrirá y protegerá los mecanismos de movimiento.

a. El armazón

El armazón es donde se apoyarán todo el mecanismo de movimiento por lo que su estructura debe ser lo suficientemente fuerte para soportar la carga esta. El material seleccionado para construir este elemento es el aluminio con un espesor de 5 mm, que garantiza una alta resistencia y además reducción de peso en comparación a otros metales .el armazón está compuesto de 4 planchas rectangulares de 240x100mm y 2 planchas rectangulares de 50x100mm , las cuales fueron soldadas de tal manera que se obtenga una geometría fija, finalmente se realizará taladrados sobre la superficie de la geometría obtenida de tal manera que facilite el posicionamiento de los elementos restantes.

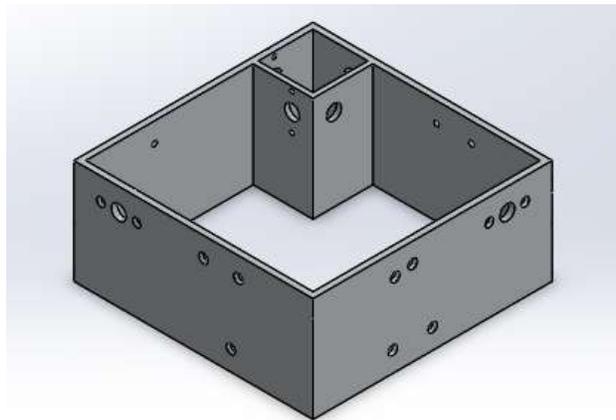


Figura 54. Armazón

b. Tapa superior

La tapa superior es el elemento que dará apoyo a la mesa cremallera, y ayudará a distribuir el peso sobre el resto del armazón. Igual que el armazón está construida con Aluminio de 5 mm de espesor y cuenta con las siguientes dimensiones 240x240 mm. Sobre su superficie se realizaron 2 cortes rectangulares mediante el uso de una cortadora plasma, de los cuales el agujero grande tiene una dimensión de 80x60mm mientras que el pequeño de 50x60mm, por donde podrán sobresalir los elementos de transmisión mecánica

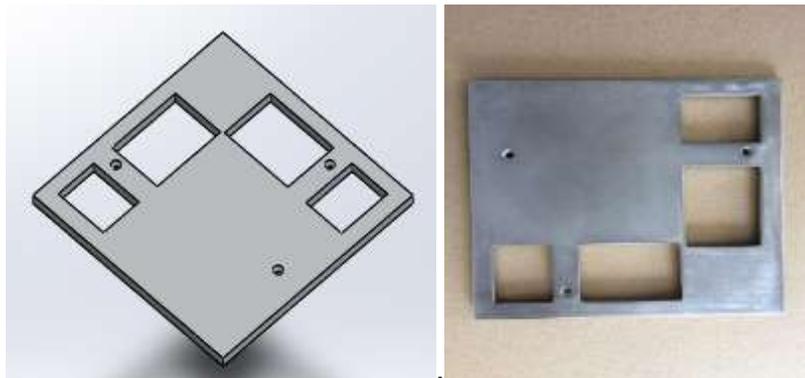


Figura 55. Tapa.

3.4. Construcción de los mecanismos de movimiento.

Los mecanismos de movimiento van a ser los responsables de transmitir la potencia de los motores hacia los engranes para generar el desplazamiento sobre el área de trabajo

a. Eje largo

El eje largo es donde se sostiene parte de los elementos de transmisión de potencia a lo largo del eje "X", por lo que debe ser capaz de soportar el peso de los mismo y de

la carga, está fijado al armazón mediante dos acoples con rodamientos ubicados en sus extremos, esto permite realizar un movimiento rotacional. Está construido de una varilla de aluminio de media pulgada diámetro y 230 mm de longitud, la cual será mecanizada para obtener un diámetro de 12mm.



Figura 56. Construcción eje Largo

b. Eje pequeño

A diferencia del eje largo, el eje pequeño será el responsable de sostener a los elementos de transmisión de potencia a lo largo del eje “Y”, y está construido de una varilla de aluminio de media pulgada diámetro y 180 mm de longitud, la cual será mecanizada para obtener un diámetro de 12mm.



Figura 57. Construcción eje pequeño.

c. Mecanismo de transmisión por correa.

El mecanismo principal de transmisión está formado por una correa dentada y 2 engranajes de cobre de 18 dientes cada uno los cuales están acoplados el uno al motor y otro al eje x o y. Estos engranajes están contruidos de una barra de cobre de 1 in de diámetro mecanizado hasta que obtener un diámetro de 23mm con un agujero interior de 12 mm, por ultimo con la ayuda de la fresadora realizar los dientes del engranaje.



Figura 58. Engrane de transmisión de potencia.

Otros de los mecanismos utilizados son los engranes del sistema piñón cremallera, contruidos de una barra de duralon de diámetro 2,5 in serán 2 ejes de duralon de 25 dientes que tendrán 800 y 450 mm de longitud, los que serán encargados de transformar el desplazamiento rotatorio en desplazamiento lineal mediante una doble cremallera.



Figura 59. Engrane de movimiento.

3.5. Construcción de los soportes para rodamientos.

El siguiente paso luego de tener fijados los engranes a los ejes es la construcción de los acoples (Bocines), los mismo que serán construidos en duralon con una longitud de 12 mm, un diámetro externo de 45mm y un diámetro interno de 28 mm. De tal manera que puedan acoplarse de la mejor manera en el armazón del módulo y además sean capaces de albergar un rodamiento (ver en anexo A6) el cual permita al eje realizar movimientos rotacionales



Figura 60. Soportes para rodamientos.



Figura 61. Soporte de rodamiento fijado al eje.

Los acoples encargados de soportar los motores estarán construidos en acero y adoptaran una forma de L, así un extremo se encargará de fijarse completamente con el armazón mientras que el extremo opuesto asegurara que el motor pueda mantenerse en una posición correcta para su funcionamiento conjunto con los engranajes de cobre.

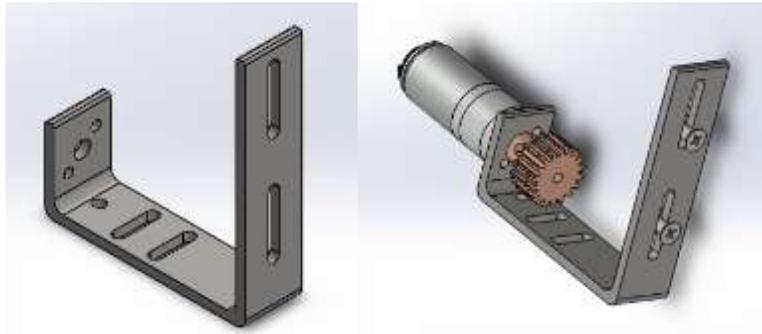


Figura 62. Soporte de motor.

Una vez terminada el proceso de ensamble del sistema de transmisión, se procede a cubrir el módulo con la tapa, que servirá para cubrir todos los componentes y a la vez de base de soporte de la mesa de acrílico.

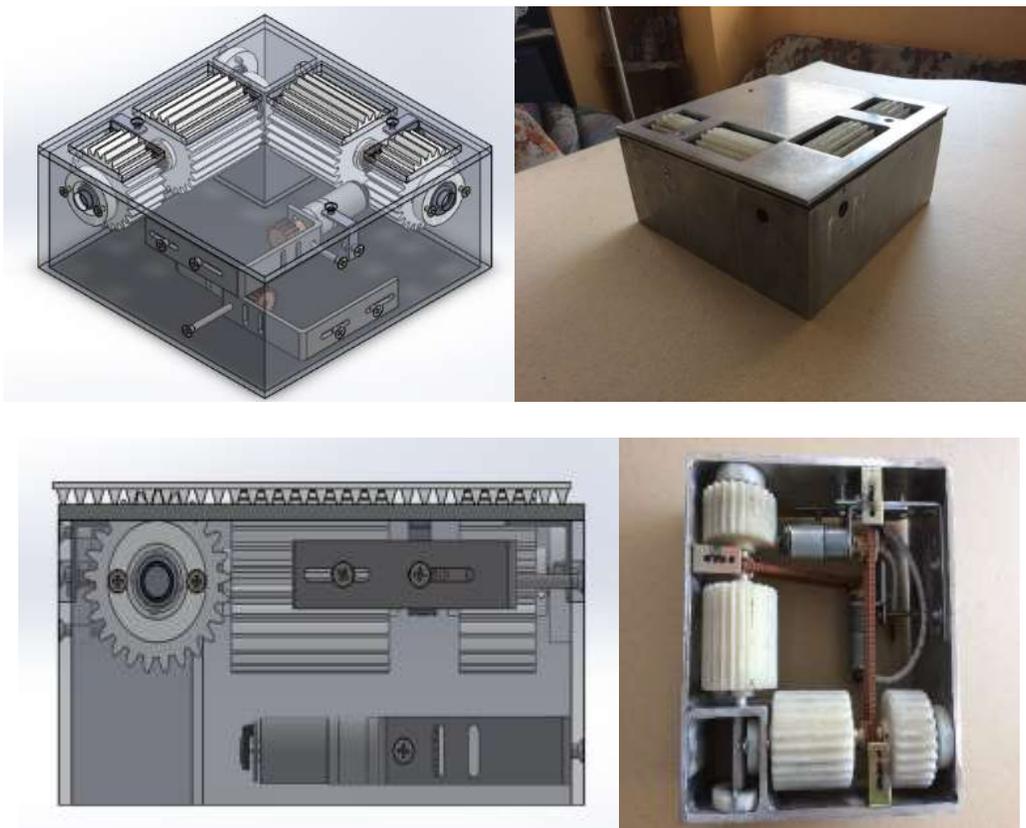


Figura 63. Módulo total armado.

Terminado este proceso queda totalmente asegurada y ensamblada la estructura del módulo que desplaza la mesa de acrílico en cualquier sentido mediante sobre toda el área de la tapa del armazón.

Para este proyecto se tiene utilizado realizar una matriz de 3x3 por lo se ensamblara 9 módulos que serán ubicados uno a continuación de otro, de tal manera que puedan realizar varios movimientos necesarios para su correcto funcionamiento.

3.6. Construcción de la base de apoyo y la base móvil.

3.6.1. Base fija

El diseño de la base fija debe tener una adecuada geometría que permita mantener a los módulos correctamente ubicados y acoplados entre sí. El material seleccionado fue Acero, por su resistencia, fácil adquisición, bajo peso y costo.



Figura 64. Base fija.

3.6.2. Base móvil

La base móvil es un elemento fundamental del proyecto ya que sobre ella estarán ubicadas tanto los módulos, la base de apoyo, el sistema de visión y los elementos de eléctrica y electrónica como fuentes y tablero de control.

Está formado por catorce eslabones que forman una geometría cuadrada que facilita el posicionamiento de los brazos de la visión y la plancha de madera en la cual se colocara el sistema eléctrico y electrónico

Finalmente la base móvil cuenta con cuatro garruchas en la parte inferior de su estructura que proporcionan la tracción con el suelo, para esto se han seleccionado garruchas estándar para carga media, que sean fáciles de conseguir y adecuadas para superficies planas.



Figura 65. Base móvil.

Para mantener protegidos los componentes electrónicos de elementos externos que pueden afectarlos, se armó una carcasa elaborada a base de madera debido a su bajo peso y propiedades mecánicas.

La carcasa es muy importante debido a que permite acceder a los componentes eléctricos y electrónicos que están ubicados en su interior.

3.7. Implementación eléctrica y electrónica.

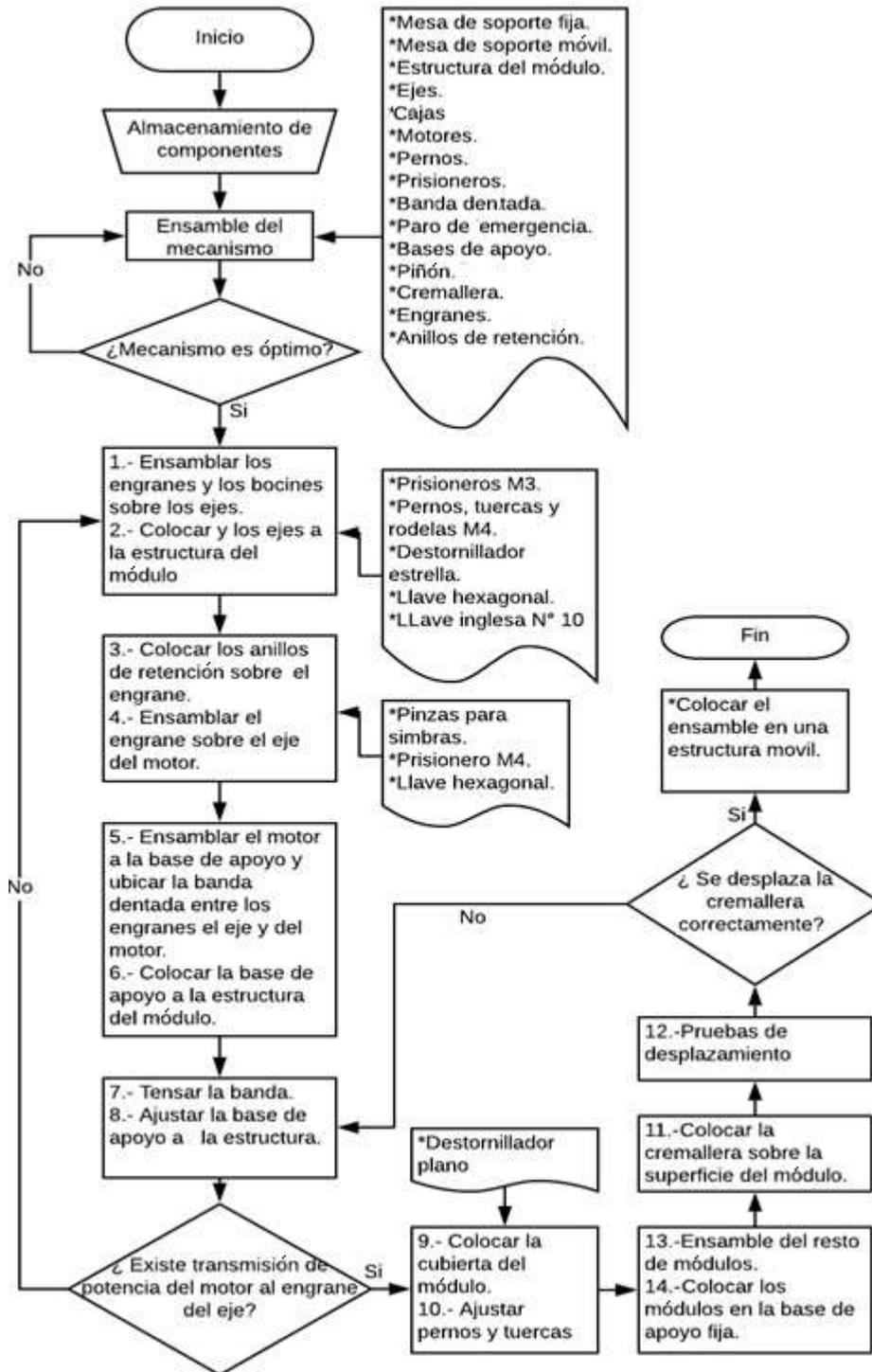


Figura 66. Flujograma del ensamble del sistema eléctrico - electrónico.

Acoplada en la estructura de la base de apoyo móvil por medio de rieles de extensión se encuentra una plancha de madera de 700x700mm, que será perforada y cortada mediante el uso de un taladro y caladora manual para facilitar el posicionamiento de los demás elementos electrónicos.



Figura 67. Plancha de madera 700x700 mm

Una vez realizado los taladros y cortes sobre la base de madera se colocó los elementos que conforman la parte electrónica del proyecto como son los driver de control de los motores.



Figura 68. Drivers motores.

En seguida se ubican los elementos de la parte eléctrica del proyecto, tales como son las fuentes de alimentación y se realizará todas las conexiones entre la parte eléctrica y electrónica.



Figura 69. Tablero eléctrico. .

Finalmente una vez que todos los elementos electrónicos se encuentran correctamente ubicados y asegurados sobre la base de madera, esta se fija mediante acoples metálicos a los rieles extensores como se observa en la figura:



Figura 70. Ubicación del tablero electrónico.

El tablero de control se ubicó en la parte delantera de la carcasa de la base móvil y está conectado directamente a la fuente como se observa en la Figura 90, la cual se encarga del voltaje de alimentación de los motores y las tarjetas. La polarización para la fuente se adquiere de la red doméstica (110V), que va conectada directamente al tablero de control y las fuentes de ahí se distribuyen para su funcionamiento.



Figura 71. Tablero de control.

Finalmente para proteger los componentes del ambiente se coloca una cubierta de acrílico resistente y transparente que, mantendrá seguros los elementos, está cubierta está colocada de forma que se puede tener acceso a los componentes si se desea.



Figura 72. Cubierta de acrílico.

Ensamble final de la máquina se muestra en la figura.



Figura 73. Ensamble final de la matriz de celda transportadora

3.8. Implementación del software.

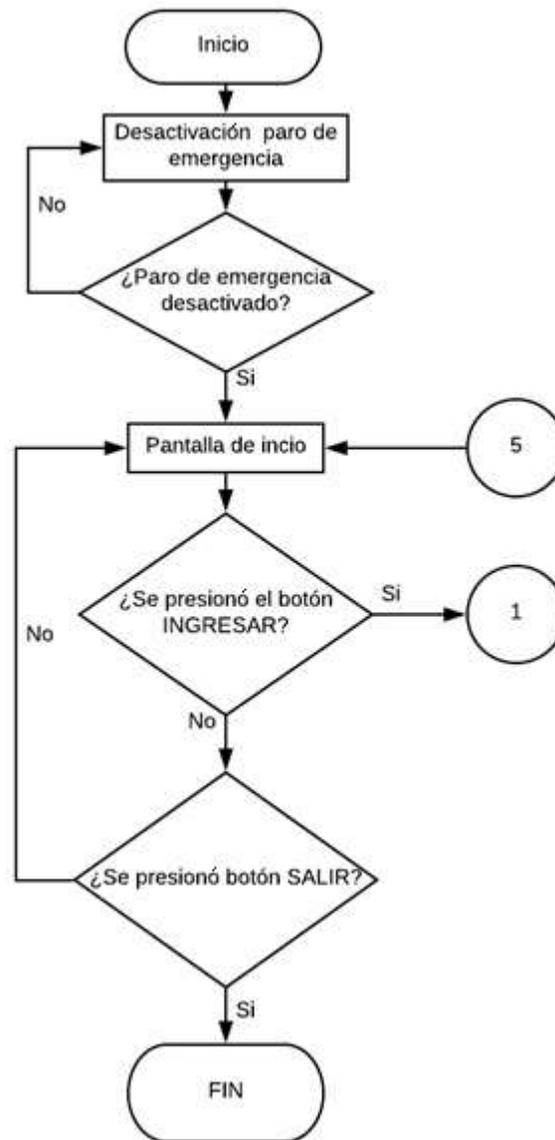


Figura 74. Diagrama de flujo de programación 1.

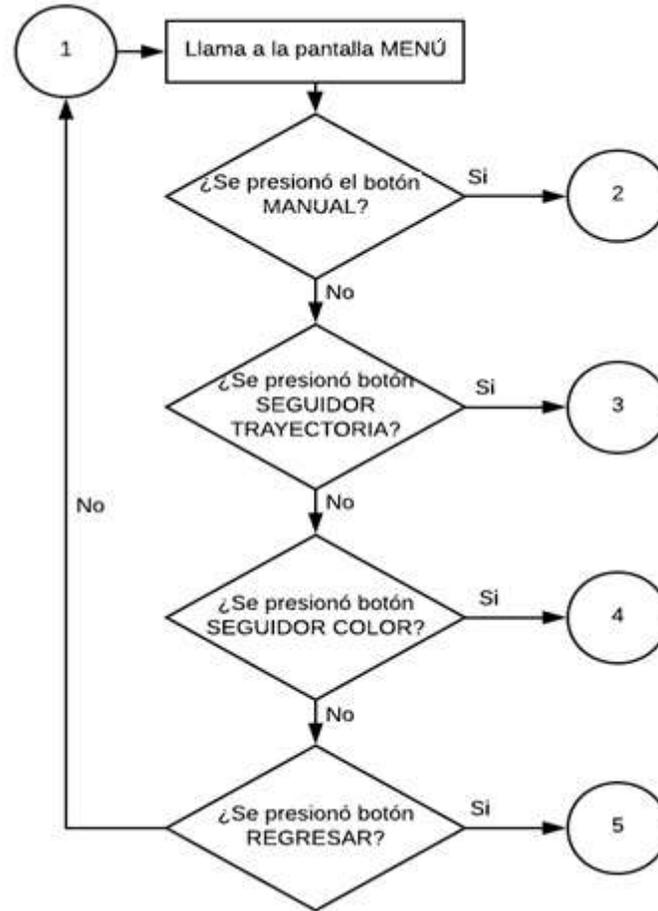


Figura 75. Diagrama de flujo de programación 2.

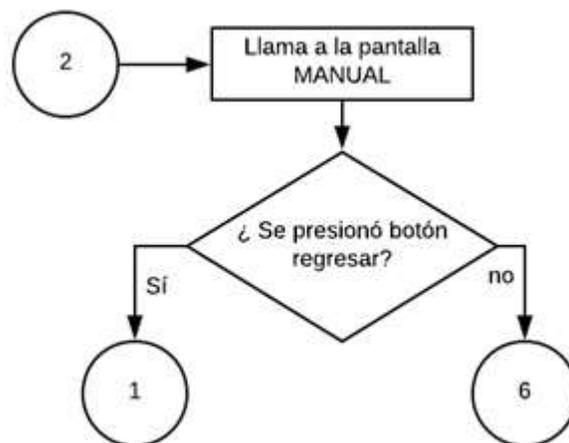


Figura 76. Diagrama de flujo de programación 3.

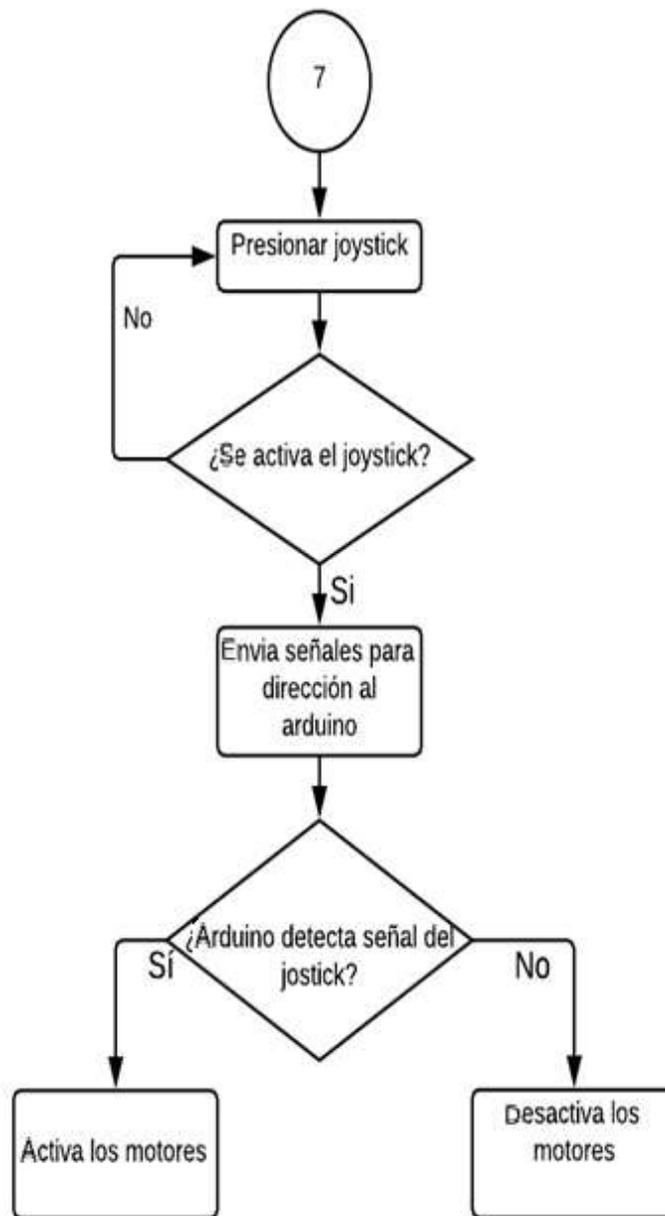


Figura 77. Diagrama de flujo de programación 4.

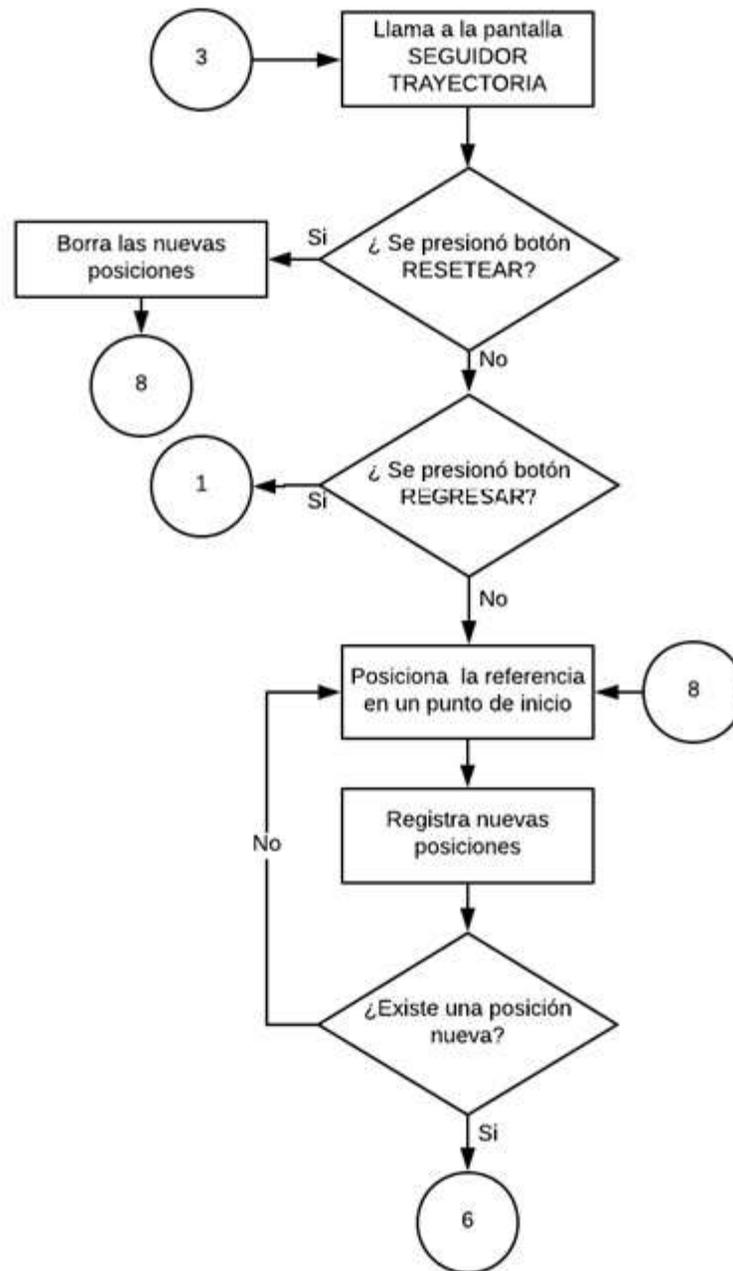


Figura 78. Diagrama de flujo de programación 5.

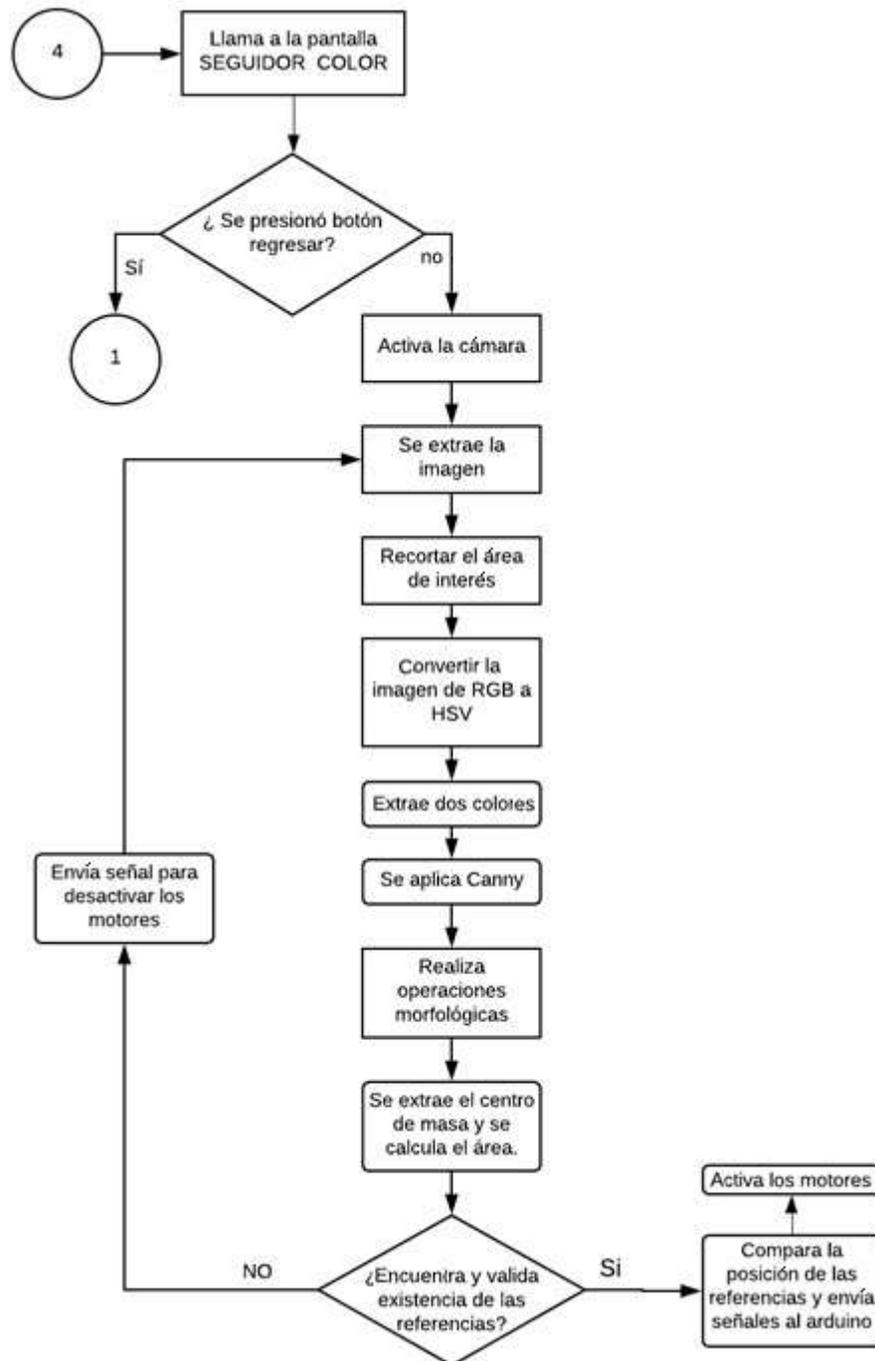


Figura 79. Diagrama de flujo de programación 6.

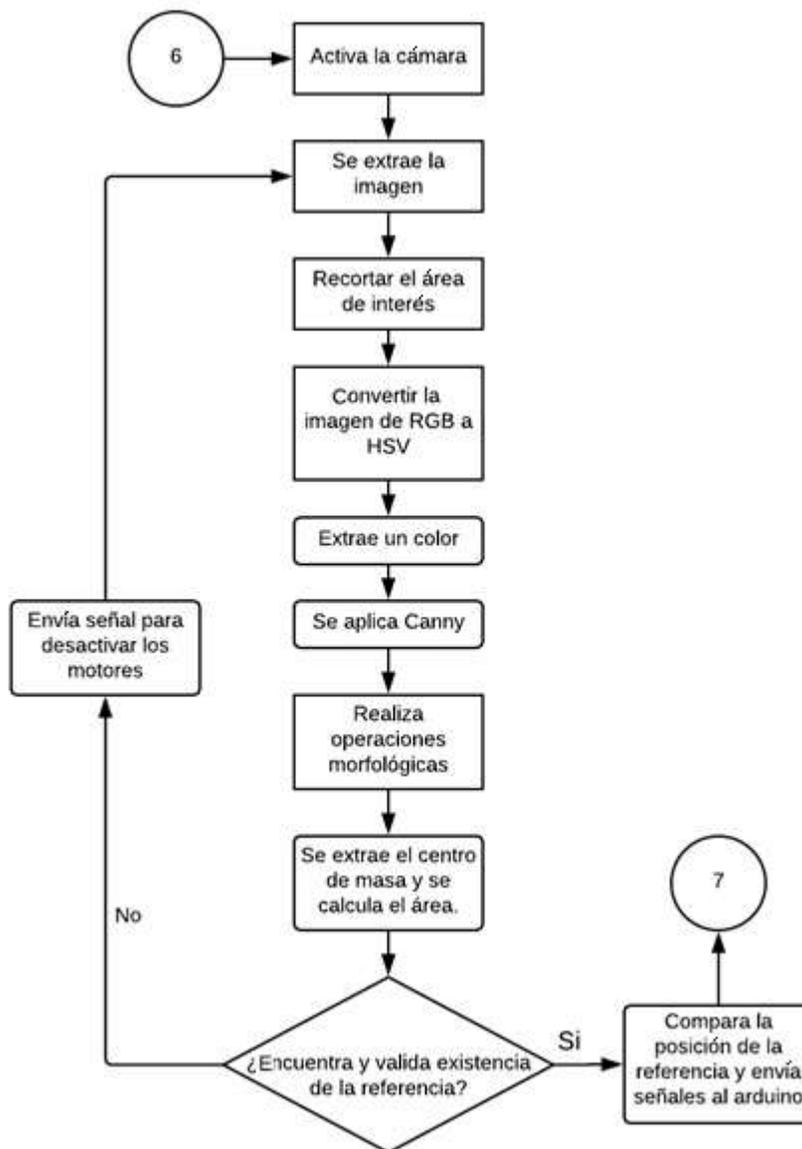


Figura 80. Diagrama de flujo de programación.

3.9. Desarrollo de la interfaz grafica

La interfaz gráfica es diseñada en el software Qt ya que utiliza código abierto e incluye herramientas gráficas que facilitan su diseño gracias a que incorpora un entorno de desarrollo integrado que permite programar fácilmente sobre el lenguaje c++.

3.10. Funcionamiento principal de la GUI

Una vez ejecutado el programa se despliega una pantalla de presentacion en la cual se detalla el Titulo del proyecto y una imagen del sistema, esta pantalla cuenta con dos botones incorporados de los cuales el botón SALIR permite terminar el programa al presionarlo, mientras que el botón INGRESAR nos dara acceso al menu principal



Figura 81. Pantalla inicial.

Al presionar el botón INGRESAR cierra inmediatamente la pantalla de presentacion y despliega la pantalla de MENÚ, en la cual se puede apreciar las diferentes funciones que se puede realizar el programa como son el modo MANUAL, SEGUIDOR DE TRAYECTORIAS y por ultimo el SEGUIDOR DE REFERENCIA, también cuenta con un boton de PANTALLA PRINCIPAL que nos permitira retornar a pantalla de presentacion.

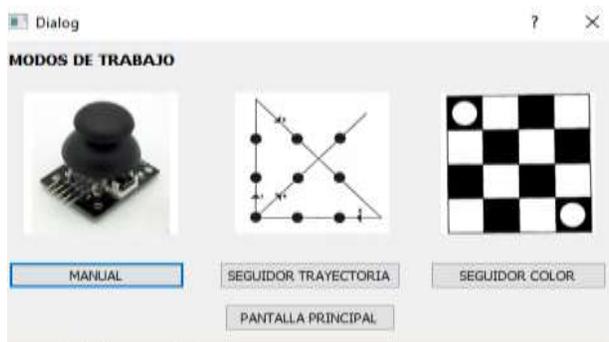


Figura 82. Pantalla de menú.

3.10.1. Modo manual

Este modo de trabajo nos permite controlar la dirección de movimiento del sistema por medio del uso de un joystick, también con una pantalla de presentación en la cual se puede observar la imagen original que registra la cámara y una imagen filtrada además de la posición actual donde se encuentra el objeto, por último cuenta con dos botones de PAUSA y REGRESAR los cuales nos permiten retornar nuevamente a la ventana de MENÚ o detener movimiento del sistema hasta ponerlo en ejecución respectivamente.



Figura 83. Pantalla modo manual.

3.10.2. Modo seguidor de trayectoria.

Al seleccionar este modo de trabajo el sistema se posiciona automáticamente en un punto de inicio designado, luego con ayuda de un mouse se puede asignar varios

nuevos puntos, que definiera la trayectoria que el sistema va seguir de manera automática, después de haber alcanzado todos los puntos establecidos anteriormente el sistema vuelve a posicionarse en el punto de inicio.

Este modo de trabajo cuenta con una pantalla que nos permitirá observar la imagen original, la imagen procesada y una imagen de la trayectoria que se está realizando una vez seleccionadas las nuevas coordenadas, la pantalla también permite observar el valor de las nuevas coordenadas y la posición en la que se ubica el objeto de referencia tanto en X como en Y, por último cuenta con tres botones de PAUSA, RESETEAR y REGRESAR los cuales nos permiten retornar nuevamente a la ventana de MENÚ o borrar las coordenadas nuevas para asignar otras o detener movimiento el sistema hasta ponerlo en ejecución respectivamente.

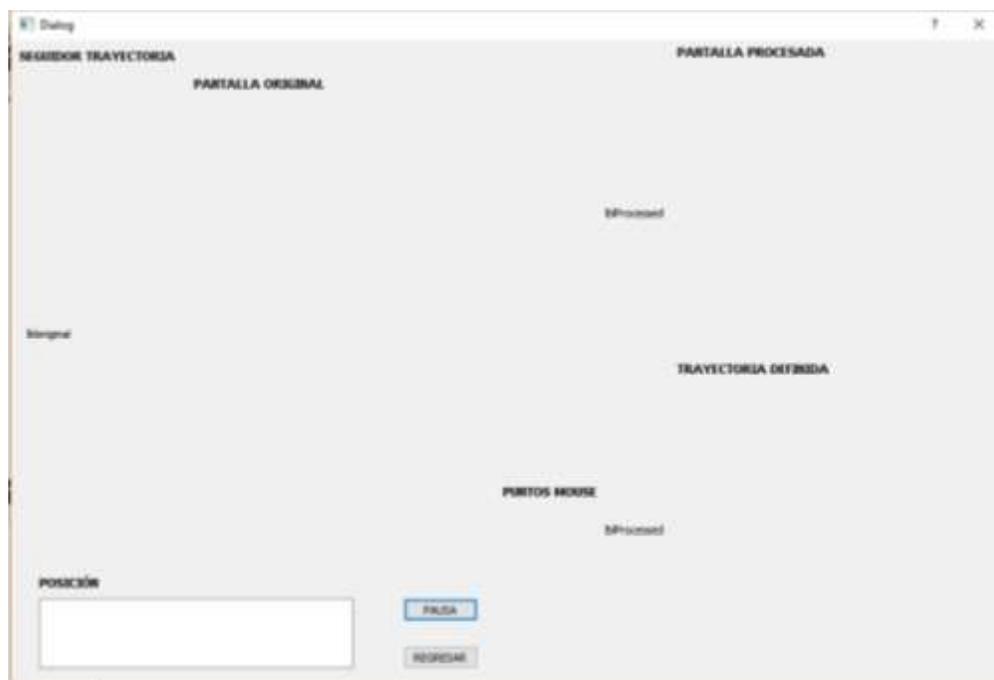


Figura 84. Pantalla modo seguidor trayectoria

3.10.3. Modo seguidor de color o referencia.

Este modo de trabajo permite rastrear dos referencias por su color y ubicar sus posiciones actuales, la primera referencia define un punto de llegada, al cual la segunda debe llegar referencia sin importar la ubicación donde esta se encuentre, cuenta con una ventana que permite observar la imagen original y procesada, también cuenta con tres botones de PAUSA y REGRESAR los cuales nos permiten retornar nuevamente a la ventana de MENÚ o detener movimiento el sistema hasta ponerlo en ejecución respectivamente el ultimo botón permite ajustar los valores del HSV de la referencia que se desplaza hasta llegar al punto final.



Figura 85. Pantalla modo seguidor de color

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1. Evaluación al algoritmo de detección.

4.1.1. Pruebas de tono y tamaño de la referencia

Las pruebas definen la efectividad del programa para reconocer una referencia en tiempo real, se definen valores de frontera HSV, se aplican operaciones morfológicas para obtener la región de interés de la referencia principal y secundaria (figura 86).



Figura 86. Reconocimiento de referencia 1 y 2.

Se aplican las pruebas con diferentes tamaños y figuras, para el ejemplo un círculo de color rojo (figura).

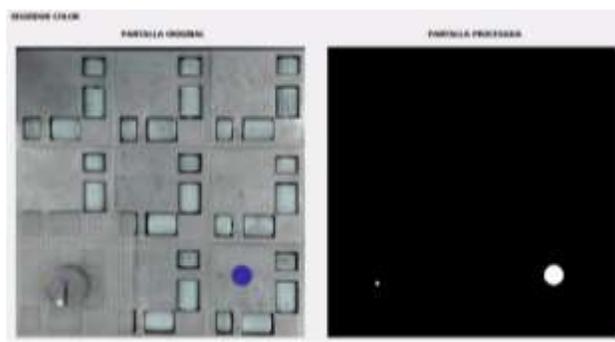


Figura 87. Reconocimiento de tamaño.

Las demás muestras tomadas se presentan en lo anexo C.

Tabla 13.

Pruebas de tono, tamaño y forma.

Tipo	Reconocimiento de la referencia	Tamaño de la referencia	Forma de la referencia	Tratamiento de la imagen
Muestra 1	Ok	Ok	Ok	Ok
Muestra 2	Ok	Ok	Ok	Ok
Muestra 3	Ok	Ok	Ok	Ok
Muestra 4	Ok	Ok	Ok	Ok
Muestra 5	Ok	Ok	Ok	Ok
Muestra 6	Ok	Ok	Ok	Ok
Muestra 7	Ok	Ok	Ok	Ok
Muestra 8	Ok	Ok	Ok	Ok

En la tabla 13 y figuras 86-87, el sistema tiene un óptimo porcentaje de efectividad por parte del programa, es capaz de reconocer el color de referencia sin importar su tamaño o forma.

4.2. Pruebas de movimiento y flexibilidad del sistema según el modo de trabajo

4.2.1. Modo manual.

Se posiciona la referencia sobre el área de detección de la cámara, el programa la identifica retornando datos de su posición actual, no activa los motores para poder mover el sistema, cabe indicar que el área total de trabajo es de 400 x 400 píxeles (figura 88).

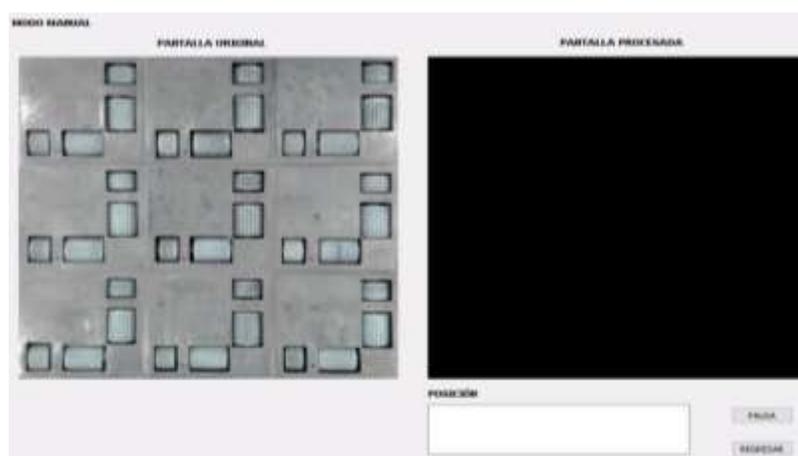


Figura 88. Monitoreo del área de trabajo modo manual.



Figura 89. Monitorea del área de trabajo con objeto color de referencia.

Al posicionar solo la referencia 1 sobre el área de detección de la cámara, el programa la identifica retornando datos de su posición actual, no activa los motores para poder mover el sistema (figura 90).

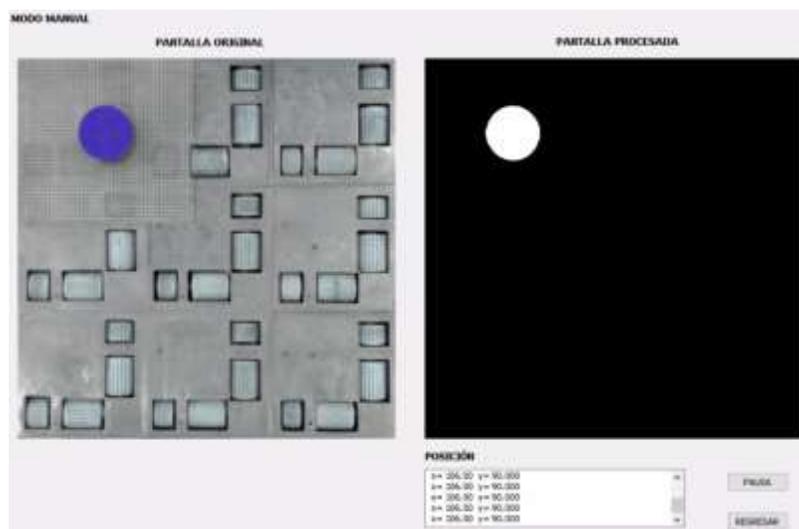


Figura 90. Detección referencia modo manual.

Al ubicar la palanca del joystick en una posición en X o Y envía una señal de control de giro a los motores, no activa los motores para mover el sistema (figura 91).



Figura 91. Señal de activación solo del joystick.

Al cumplirse la condición de activación (señal de joystick y localización de referencia), el programa activa los motores, genera el valor de su posición actual y desplaza la referencia sobre el área de trabajo en la dirección indicada (figura 92).

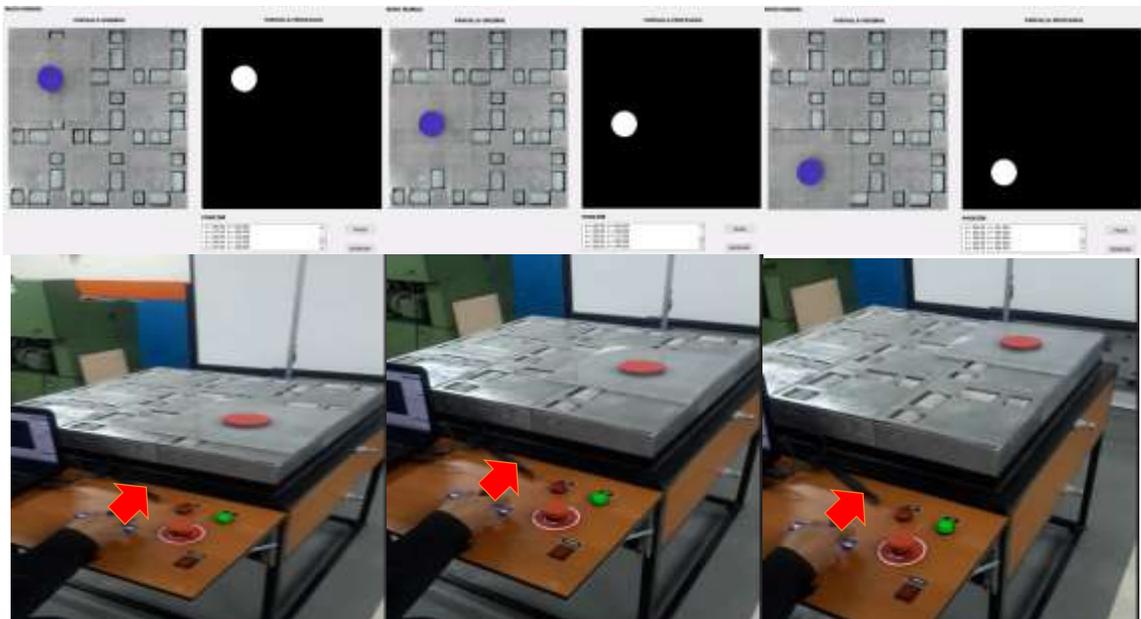


Figura 92. Desplazamiento eje y.

La figura 93 muestra el movimiento realizado en una sola dirección a lo largo del eje x.

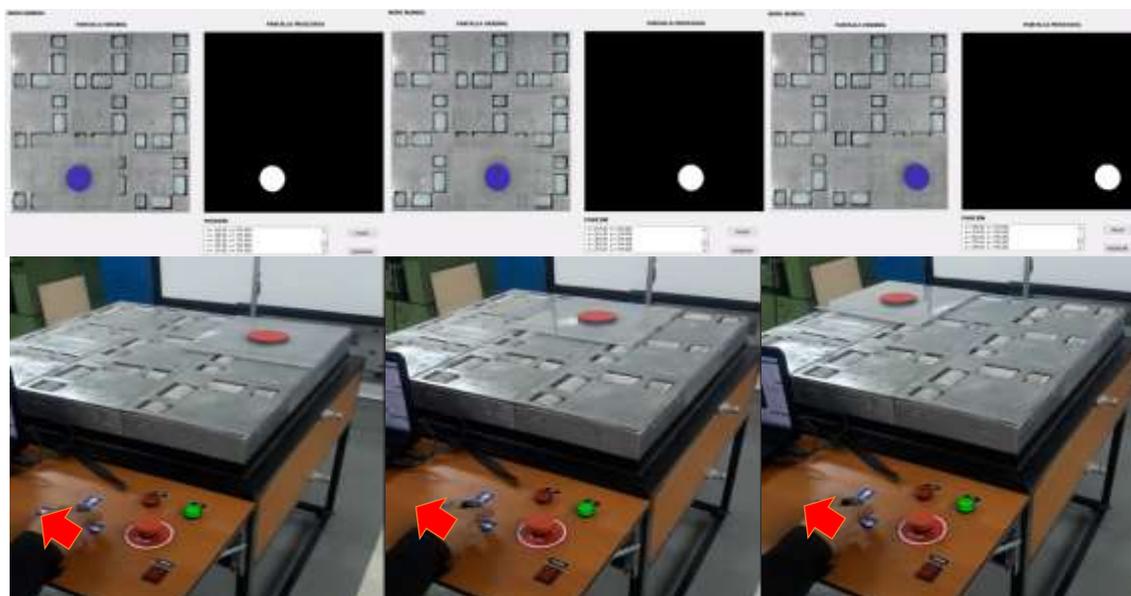


Figura 93. Desplazamiento eje x

Por último se observa en la figura 94 que el sistema es capaz de moverse hasta en dos direcciones simultáneamente permitiendo realizar desplazamientos diagonales.

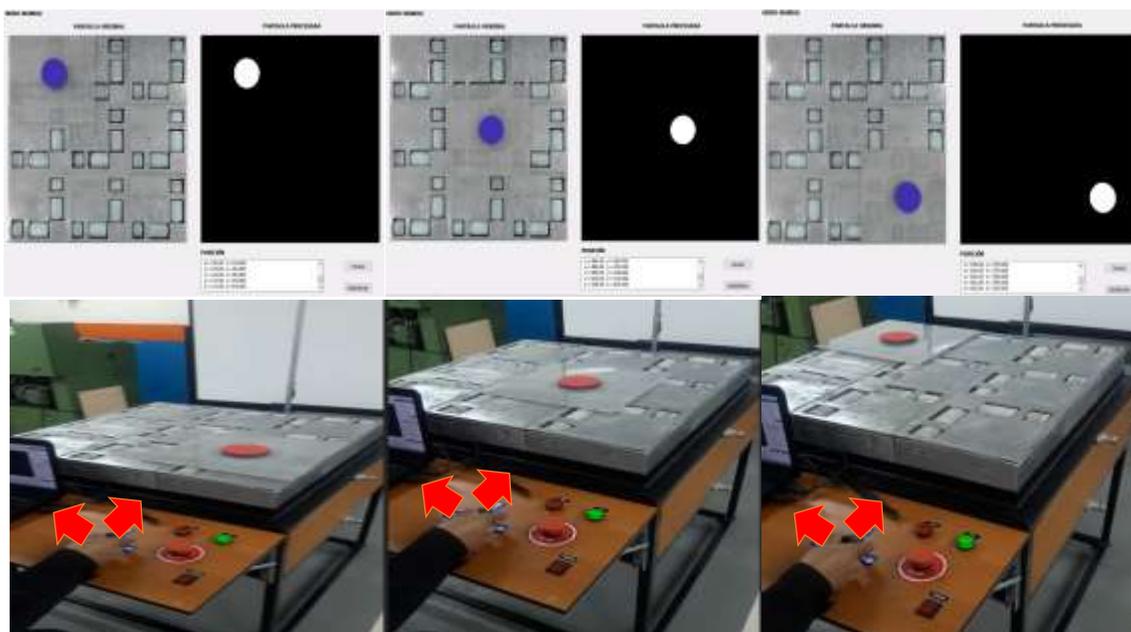


Figura 94. Desplazamiento ejes X e Y

4.2.2. Modo seguimiento de color.

El programa se ejecuta inmediatamente luego de seleccionar el modo de trabajo. Monitorea toda el área de trabajo en tiempo real y mantiene al sistema inmóvil hasta que se cumplan las condiciones de activación (localización referencia 1 y referencia 2) como se muestra en la figura 95.

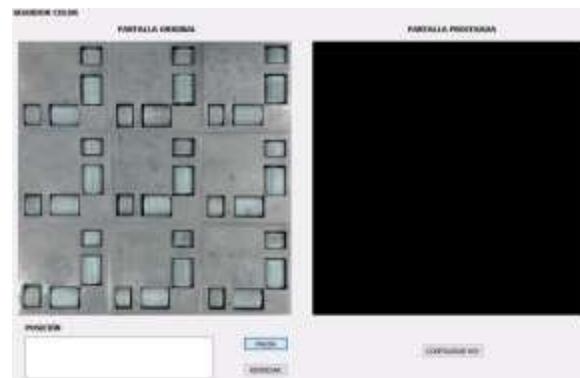


Figura 95. Monitoreo del área de trabajo modo seguidor color

En la figura 96 al posicionar solo la referencia 1 sobre el área de detección de la cámara, el programa la identifica retornando datos de su posición actual, no activa los motores para poder mover el sistema.

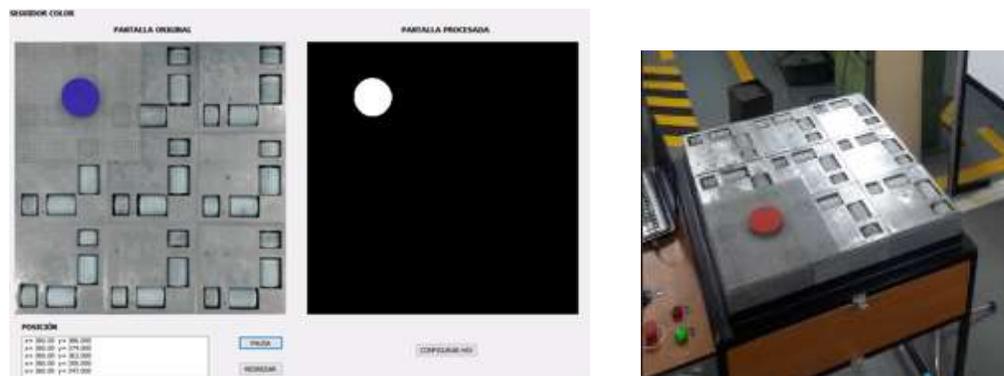


Figura 96. Detección referencia 1

Al posicionar solo la referencia 2 sobre el área de detección de la cámara como se muestra en la figura 97, el programa la identifica pero no envía retornando datos de su posición actual y no activa los motores para poder mover el sistema.

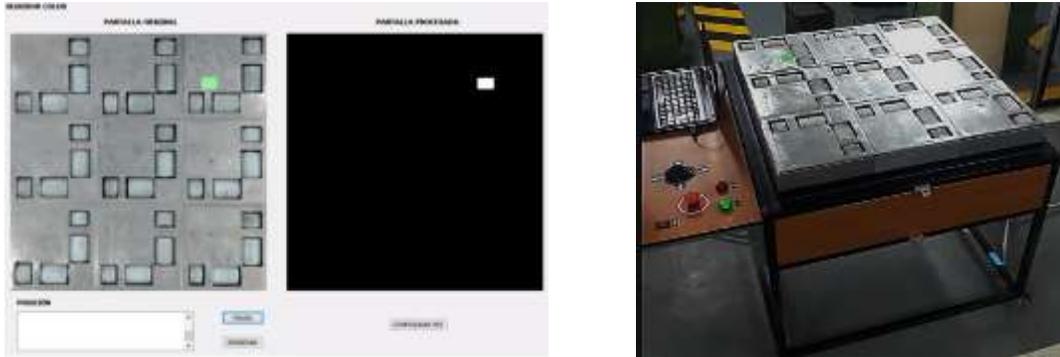


Figura 97. Detección referencia 2

Al posicionar la referencia 1 y la referencia 2 sobre el área de detección de la cámara, se cumple la condición de activación (localización referencia 1 y referencia 2), el programa activa los motores, muestra la ubicación de la referencia 1 y la desplaza sobre la dirección más corta existente hasta alcanzar la referencia 2 (figura 98).



Figura 98. Seguimiento en eje X.

Se fija la referencia 2 en una posición fija, se coloca la referencia 1 en una posición paralela que permitirá mostrar el movimiento, se muestra en la figura 99.

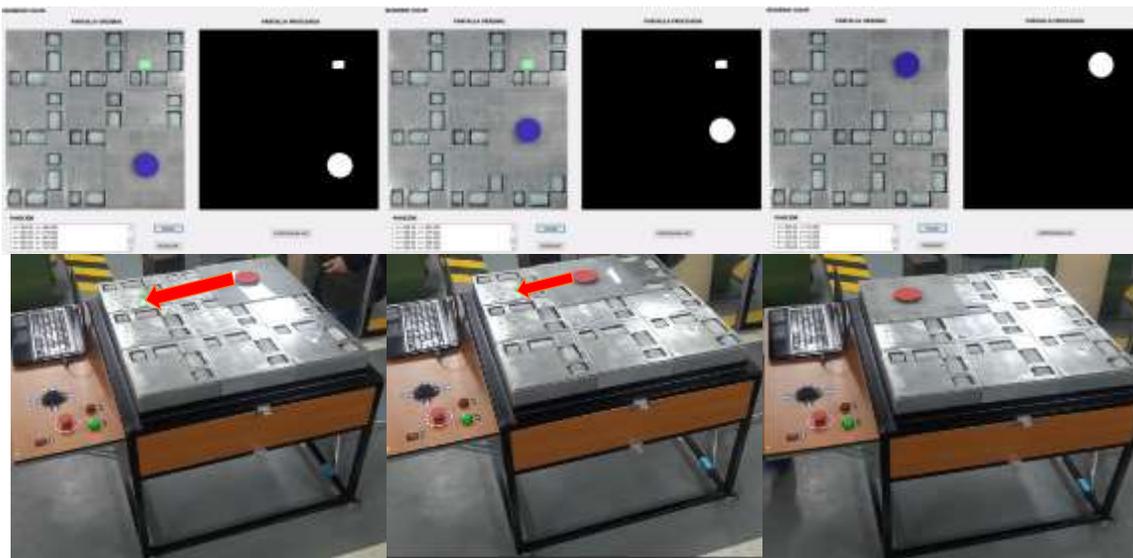


Figura 99. Seguimiento en eje Y.

Se fija la referencia 2 en una posición fija, se coloca la referencia 1 en una posición diagonal que permitirá mostrar el movimiento, se muestra en la figura 100.



Figura 100. Seguimiento en eje X e Y.

4.2.3. Modo seguimiento de trayectoria.

El programa se ejecuta inmediatamente luego de seleccionar el modo de trabajo. Monitorea toda el área de trabajo en tiempo real, define una posición de inicio, mantiene al sistema inmóvil hasta que se cumplan las condiciones de ubicación (localización de la referencia) y ejecuta el programa de seguimiento cuando se cumpla las condiciones de activación (localización de la referencia y puntos de la trayectoria) como se muestra en la figura 101.



Figura 101. Monitoreo del área de trabajo modo seguidor trayectoria.

En la figura 102, al posicionar solo la referencia sobre el área de detección de la cámara, el programa la identifica retornando datos de su posición actual, activa los motores para poder desplazarla hasta la posición inicial definida.

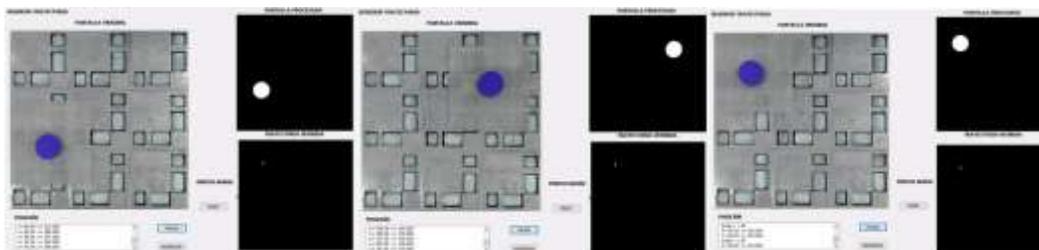


Figura 102. Retorno al punto inicial de la trayectoria.

Este modo de trabajo permite visualizar la trayectoria que se va a realizar al ingresar “n” cantidad de puntos sobre el área de trabajo monitoreada por la cámara, funciona de tal manera que al presionar el clic izquierdo del mouse se define un punto de ubicación en el plano, se puede observar en la figura 92 al definir 2 puntos podemos generar una recta, con 3 puntos una L y con 4 un triángulo construyendo la trayectoria que se va a seguir por parte de la mesa y la referencia (figura 103).

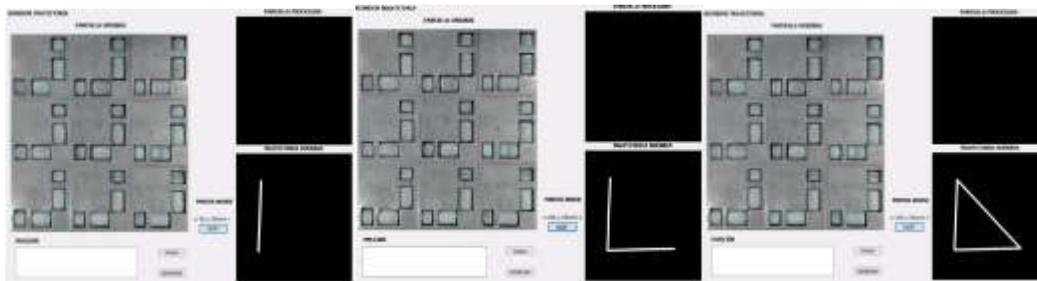


Figura 103. Definición de puntos de la trayectoria

Inmediatamente después de definir los puntos, y ubicar la referencia el programa retorna valores de su posición real y activa los motores siguiendo el trayecto designado por cada punto como se muestra en la figura 104.

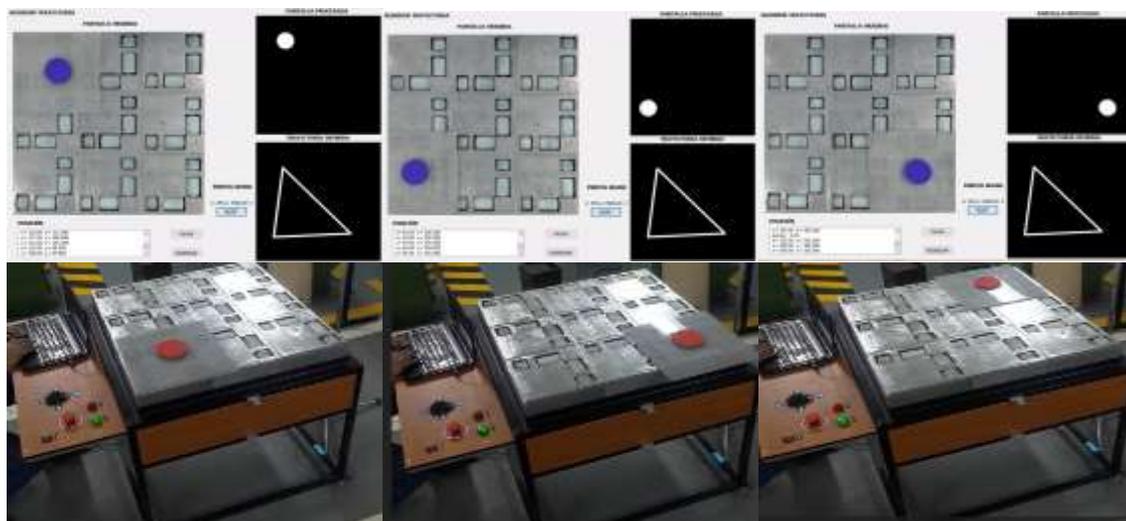


Figura 104. Seguimiento sobre trayectoria triangular

El sistema presenta una ventaja en flexibilidad, puede moverse en cualquier sentido y dirección, como se observa en la figura 105, se aplica una prueba de movimientos mixtos, realizando desplazamientos lineales y transversales.

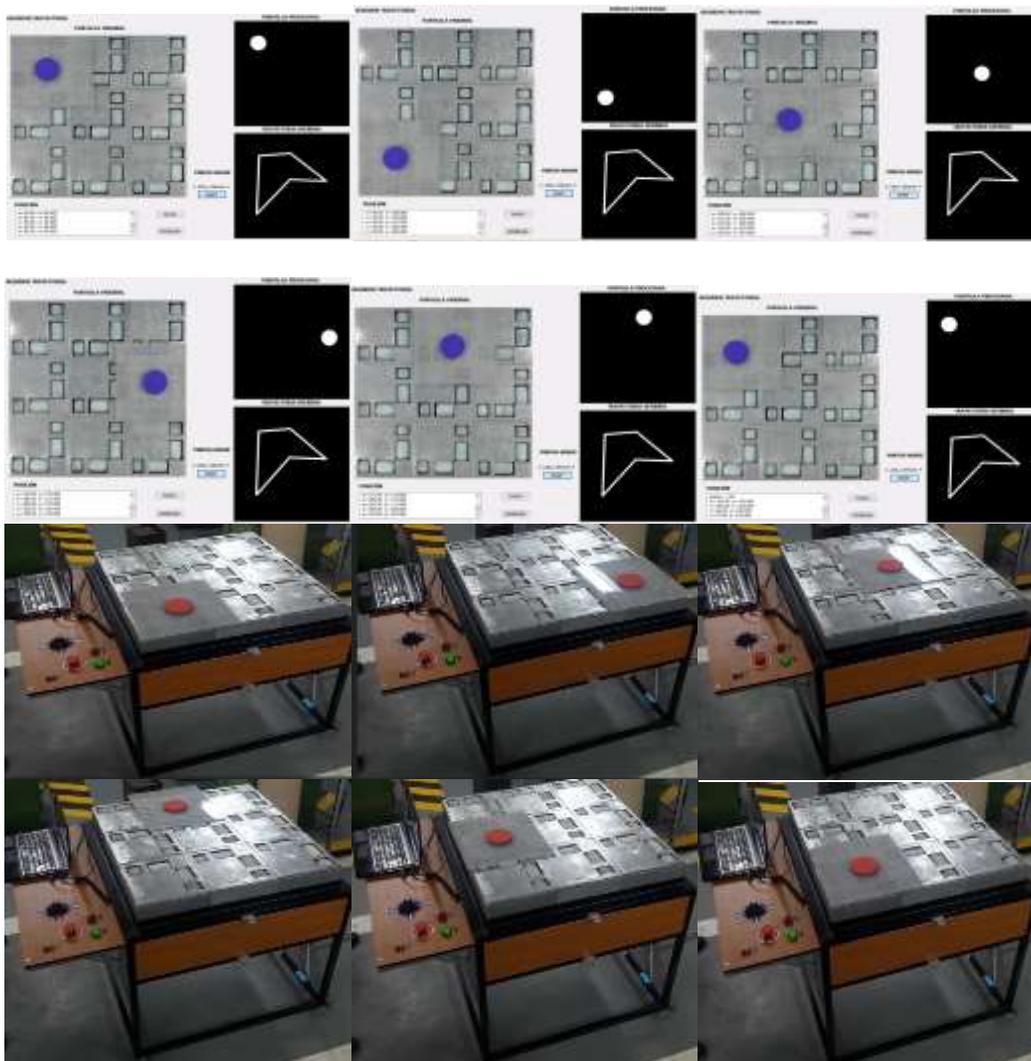


Figura 105. Seguimiento de una trayectoria mixta

Las pruebas de funcionamiento de movimientos se aplicaron de forma efectiva mostrando los siguientes resultados en la tabla 14.

Tabla 14.

Resultados de las pruebas de movimiento y flexibilidad.

Modo de trabajo	Tipo de movimiento	Número de pruebas	Movimiento correcto	Porcentaje de acierto
Manual	1	40	40	100%
Seguimiento de color	Posición 1	40	40	100%
	Posición 2		40	100%
	Posición 3		40	100%
	Posición 4		40	100%
Seguimiento de trayectoria	Recta en x	20	20	100%
	Recta en Y		20	100%
	Diagonal		20	100%
	cuadrado		20	100%
	Triangulo		20	100%
	mixta		20	100%

Como se observa en la tabla 14, el sistema es altamente efectivo para transportar objetos de un lugar a otro utilizando diferentes caminos o trayectorias obteniendo un porcentaje de 100%.

4.3. Pruebas de seguimiento de trayectoria.

4.3.1. Pruebas de precisión.

El sistema debe adquirir, procesar y ubicar la referencia sobre una trayectoria establecida en tiempo real. La prueba aplicada permite medir el error acumulado en una posición después de realizar diferentes repeticiones en intervalos de 5 hasta obtener 40 mediciones.

Tabla 15.
Error real

N° de repeticiones	Error acumulado (píxeles)		Error acumulado (mm)		Error promedio (píxeles)	Error promedio (mm)
5	3,40	2,60	5,42	4,15	4,3	6,8
10	3,20	2,70	5,10	4,31	4,2	6,7
15	3,27	2,27	5,21	3,61	4,0	6,3
20	3,25	2,50	5,18	3,99	4,1	6,3
25	3,52	2,48	5,61	3,95	4,3	6,9
30	3,27	2,53	5,21	4,04	4,1	6,6
35	3,34	2,49	5,33	3,96	4,2	6,6
40	3,03	3,03	4,82	4,82	4,3	6,8

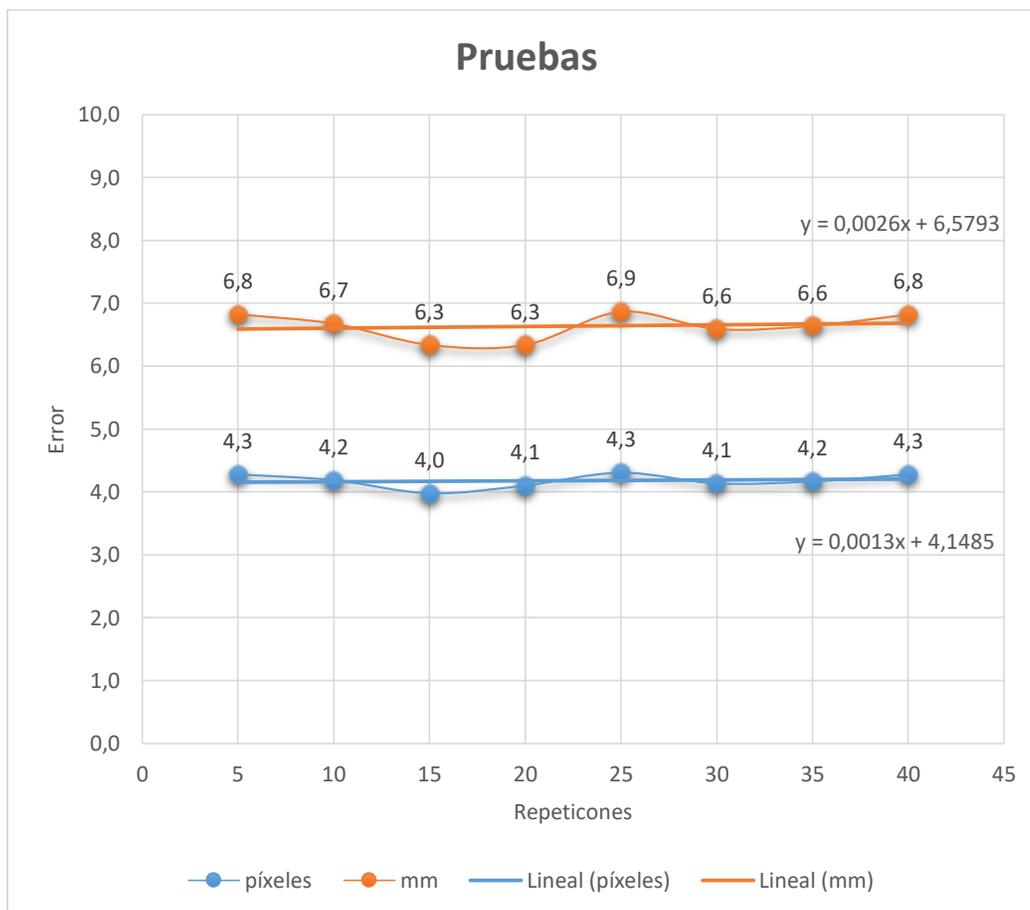


Figura 106. Error real en función del número de repeticiones

En la tabla 15 y figura 106, al aplicar la prueba, el sistema alcanza un error acumulado de 4 a 4,3 píxeles que corresponde a 6,3 a 6.8 mm que varían con respecto al número de repeticiones que se realizan.

Tabla 16.
Error teórico

Nº de repeticiones	Error acumulado (píxeles)	Error acumulado (mm)	Error teórico (píxeles)	Error teórico (mm)
5	3,40	2,60	5,42	4,15
10	3,20	2,70	5,10	4,31
15	3,27	2,27	5,21	3,61
20	3,25	2,50	5,18	3,99
25	3,52	2,48	5,61	3,95
30	3,27	2,53	5,21	4,04
35	3,34	2,49	5,33	3,96
40	3,03	3,03	4,82	4,82

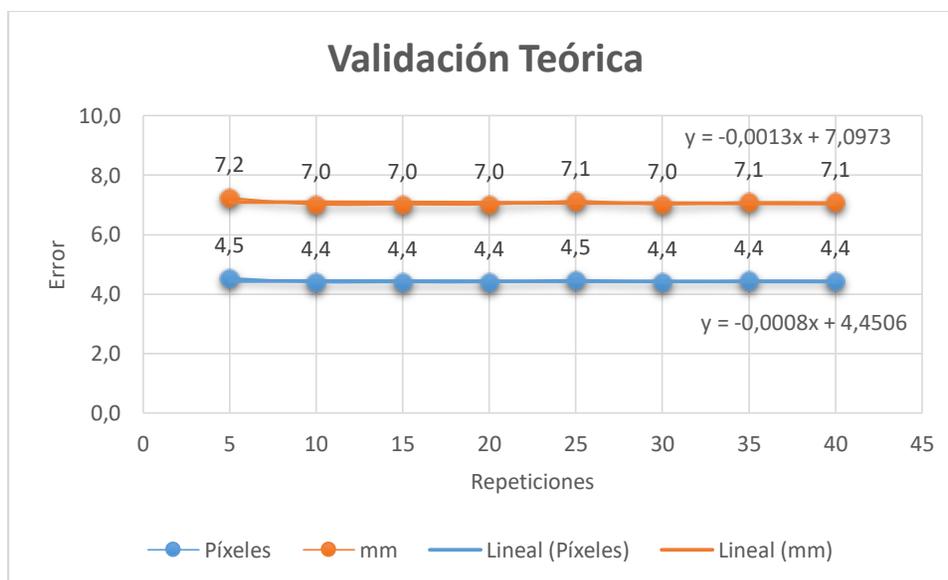


Figura 107. Error teórico en función del número de repeticiones

En la tabla 16 y figura 107, el error teórico cuadrático calculado es de 4,5 píxeles y 7,2 mm, dando un aumento notorio de 0,3 píxeles y 0,4 mm con respecto a los valores obtenidos en las pruebas.

Tabla 17.

Comparación del error de prueba, teórico, deseado y comercial

Nº de repetición	Error comercial (mm)	Error deseado (píxeles)	Error acumulado (píxeles)		Error acumulado (mm)		Error promedio (píxeles)	Error promedio (mm)
5	0,8	4	3,40	2,60	5,42	4,15	4,3	6,8
10	0,8	4	3,20	2,70	5,10	4,31	4,2	6,7
15	0,8	4	3,27	2,27	5,21	3,61	4,0	6,3
20	0,8	4	3,25	2,50	5,18	3,99	4,1	6,3
25	0,8	4	3,52	2,48	5,61	3,95	4,3	6,9
30	0,8	4	3,27	2,53	5,21	4,04	4,1	6,6
35	0,8	4	3,34	2,49	5,33	3,96	4,2	6,6
40	0,8	4	3,03	3,03	4,82	4,82	4,3	6,8

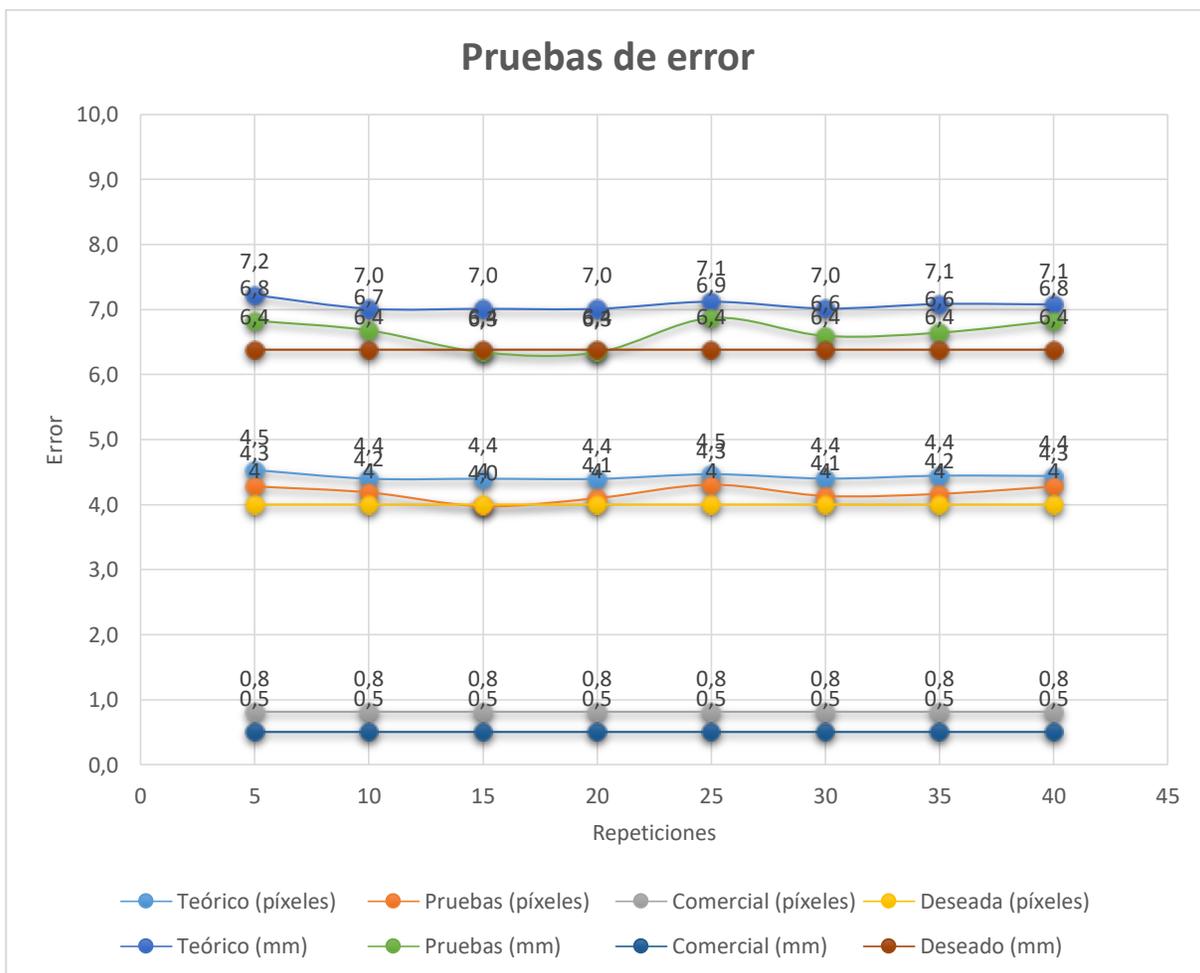


Figura 108. Errores en función del número de repeticiones.

En la tabla 17 y figura 108, se comparan el error obtenido en pruebas, el error tentativo a alcanzar y el error comercial que presentan otros equipos con características similares, el sistema se mantiene variando con error mayor a 3 mm del error tentativo de 6,4 mm, mejora 0,8 mm del error teórico cuadrático y al comprarse con el error presente en equipos comerciales presenta una desventaja en cuanto a la precisión que alcanza los 6,8 mm.

4.4. Pruebas de seguimiento color de referencia.

4.4.1. Pruebas de seguimiento de posición.

Para validar el algoritmo de seguimiento a una referencia se prueba el sistema posicionando 2 referencias en posiciones diferentes, se ubica la referencia 2 en 4 posiciones diferentes, una posición a la vez y se verifica que la mesa que contiene la referencia 1 alcance dicho punto luego de ubicarla en 20 posiciones diferentes.

En la tabla 18 se muestran los resultados de la prueba aplicada, donde se considera:

- Positivo (+) = Si la referencia 1 alcanza el punto de la referencia 2.
- Negativo (-) = Si la referencia no alcanza el punto de la referencia 2.

Tabla 18.

Pruebas de seguimiento posición

Posiciones de referencia 1	Posiciones de referencia 2			
	1	2	3	4
1	+	+	+	+
2	+	+	+	+
3	+	-	-	+
4	+	+	+	+
5	+	+	-	+

CONTINÚA 

6	+	-	+	+
7	+	+	+	+
8	+	+	+	+
9	+	+	+	+
10	+	+	+	+
11	+	+	+	+
12	+	+	-	+
13	+	-	+	+
14	+	+	-	+
15	+	+	-	+
16	+	+	+	+
17	+	+	+	+
18	+	+	+	+
19	+	+	+	+
20	+	+	+	+
T. Positivos	20	17	15	20
T. Negativos	0	3	5	0
Porcentaje (%)	100	85	75	100

4.5. Validación de la hipótesis.

4.5.1. Planteamiento de la hipótesis.

¿El diseño, construcción e implementación de una matriz de celda transportadora flexible con un algoritmo de realimentación visual optimizará el transporte de objetos en los sistemas de manufactura?

4.5.2. Validación de la hipótesis.

De acuerdo a los resultados que muestra la tabla 17, de la sección 4.3 la hipótesis es admitida como falsa, invalidando que la realimentación visual optimizará el transporte en los sistemas de manufactura, al haber realizado pruebas y obtenido un error de precisión de 4,5 píxeles o 6,8 mm en comparación a equipos comerciales de similares características.

4.6. Alcances y limitaciones

4.6.1. Alcances del sistema.

- Puede ser utilizado en varios tipos de ambientes dentro y fuera de una habitación tomando en consideración que la iluminación no cambie constantemente.
- Puede trabajar por tiempo ilimitado en un ambiente apropiado.
- Reconocerá tanto la forma y el tamaño siempre y cuando posea las características establecidas en la adquisición.

4.6.2. Limitaciones del sistema.

- El sistema puede transportar objetos hasta una posición determinada con un error de 6 mm.
- Puede dirigir un objeto hasta una referencia siempre y cuando la referencia mantenga sus características iguales o similares.

4.6.3. Análisis Económico del proyecto

Tabla 19.
Estructura módulos

N°	Materiales	Descripción	C/U	Cant	Sub Total
1	Plancha	Aluminio 6061	\$ 250,00	1	\$ 250,00
Sub Total					\$ 250,00

Tabla 20.
Módulo

N°	Materiales	Descripción	C/U	Cant	Sub Total
1	Eje de aluminio	D=12 mm	\$ 35,00	2	\$ 70,00

CONTINÚA 

2	Eje de duralon	D=2 in	\$ 45,00	1	\$ 45,00
3	Eje de duralon	D=3 in	\$ 15,00	1	\$ 15,00
4	Plantinas (motores)	En L 80X80 mm	\$ 1,25	36	\$ 45,00
5	Platinas (tapa)	En L 30X15 mm	\$ 0,50	30	\$ 15,00
6	Pernos (5*10 mm)	Acero inoxidable	\$ 0,04	126	\$ 5,04
7	Tuercas (5*2 mm)	Acero inoxidable	\$ 0,04	126	\$ 5,04
8	Pernos (4*20 mm)	Acero inoxidable	\$ 0,04	72	\$ 2,88
9	Tuercas (4*2 mm)	Acero inoxidable	\$ 0,04	72	\$ 2,88
10	Pernos (3*10 mm)	Acero inoxidable	\$ 0,04	36	\$ 1,44
11	Prisionros M3	Acero inoxidable	\$ 0,05	108	\$ 5,04
12	PrisionrosM5	Acero inoxidable	\$ 0,05	20	\$ 1,00
13	Eje de bronce	D=1in	\$ 100,00	1	\$ 100,00
14	Rodamientos	De= 28mm Di=12mm	\$ 0,50	36	\$ 18,05
15	Banda dentada	Banda dentada	\$ 3,00	18	\$ 54,00
Sub Total					\$ 385,37

Tabla 21.
Equipos y dispositivos eléctricos

N°	Materiales	Descripción	C/U	Cant	Sub Total
1	Computadora		\$1.000,00	1	\$1.000,00
2	Motor Pololu	75:1	\$ 50,00	18	\$ 900,00
3	Driver	Tarjeta Cytroen	\$ 50,00	18	\$ 900,00
4	Fuente de alimentación		\$ 20,00	2	\$ 40,00
5	Arduino	Atmega 328P	\$ 25,00	1	\$ 25,00
6	Reles		\$ 0,50	18	\$ 9,00
7	Cables		\$ 30,00	1	\$ 30,00
8	Seguros	Plastico	\$ 10,00	1	\$ 10,00
9	Pernos	Acero inoxidable	\$ 0,04	20	\$ 0,80
10	Tuerca	Acero inoxidable	\$ 0,04	20	\$ 0,80
11	Barrra de neutro		\$ 1,00	2	\$ 2,00
12	Cámara	Logitech C920 HD Pro	\$ 150,00	1	\$ 150,00
13	Extensor usb	cable	\$ 3,00	2	\$ 6,00
14	Joystick		\$ 2,50	1	\$ 2,50
15	Paro de emergencia		\$ 3,50	1	\$ 3,50
16	Luces indicadoras		\$ 1,50	2	\$ 3,00
Sub Total					\$ 3,082.60

Tabla 22.
Estructura general

N°	Materiales	Descripción	C/U	Cant	Sub Total
1	Tubo cuadrado	Aleacion 1020	\$ 10,00	2	\$ 20,00
2	Garuchas		\$ 2,50	4	\$ 10,00
3	Tubos redonde	Acero inoxidable	\$ 10,00	1	\$ 20,00
4	Guias moviles	Acero inoxidable	\$ 20,00	2	\$ 20,00
5	Soporte L regulabre	Acero inoxidable	\$ 20,00	2	\$ 20,00
6	Cubiera	Madera	\$ 30,00	1	\$ 30,00
7	Acrilico	Transparente	\$ 100,00	1	\$ 100,00
8	Varios		\$ 100,00		\$ 100,00
Sub Total					\$ 320,00

COSTO TOTAL DEL PROYECTO \$ 3787,97

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se diseñó y construyó un equipo para transporte en manufactura, mismo que cuenta con un sistema de visión artificial para controlar la trayectoria de movimiento considerando un error tentativo de 6,8 mm que limita su funcionamiento con respecto a equipos comerciales con similares características.
- El mecanismo piñón-cremallera permite desplazar una mesa en diferentes direcciones a velocidad constante y de forma uniforme sobre el área de trabajo con un error de 6,8 mm.
- El equipo para transporte con realimentación visual se construyó con componentes de fácil adquisición en el mercado nacional, teniendo un alto grado de factibilidad para su implementación.
- Se construyó un mecanismo de desplazamiento para transporte de objetos, a través de una mesa con cremallera doble que facilita la movilidad dentro de un plano XY.
- El sistema en modo seguidor de color alcanza un 90% de efectividad, debido que la iluminación en la referencia 2 varían cuando la mesa se acerca.
- El sistema en modo seguidor de trayectoria trabaja en tiempo real, reconoce el color de referencia, lo ubica sobre la trayectoria definida con un error de precisión 6.8 mm.

- El sistema de visión artificial adquiere, trata imágenes y define la región de interés de 5 mm hasta la longitud total de la mesa de 240 mm, para un posterior análisis que genera la posición de la referencia dentro del área de trabajo.
- El sistema modo manual trabaja en tiempo real de forma óptima, permite al operador realizar movimientos en 8 direcciones individuales diferentes y simultáneamente hasta 2 direcciones.
- Se verificó que la flexibilidad del sistema es una ventaja ya que es capaz de variar entre diferentes movimientos y caminos garantizando trasladar objetos determinados de un lugar a otro, sin necesidad de utilizar guías o perfiles de seguridad necesarios para conservar la dirección del movimiento.
- La matriz transportadora fue colocada de una forma cuadrada constituida de 9 módulos con el fin de demostrar los movimientos que es capaz de realizar en conjunto, debido a la ergonomía que poseen los módulos la matriz puede tomar diferentes formas dependiendo del número de módulos y necesidad.
- La implementación del algoritmo de realimentación visual a pesar de tener ventaja en flexibilidad no optimiza el transporte en manufactura, puesto presenta desventajas en precisión.
- El sistema es capaz de buscar, reconocer referencias establecidos en el área de trabajo bajo condiciones ambientales definidas, para un funcionamiento más robusto se evita la detección de falsos positivos que son generados por la excesiva exposición a la luz (transparencia o reflectancia), ya que se detectan parcialmente.

- Se realizó procesos de ajustes y pruebas de funcionamiento al sistema con fin de establecer errores, corregir anomalías posibles y evitar daños permanentes.

5.2. Recomendaciones

- Para optimizar el funcionamiento del sistema se debería investigar formas de control que se adapten de mejor manera a las condiciones mecánicas presentes, por ejemplo se podría emplear el aprendizaje utilizando redes neuronales para alcanzar un error estándar e incorporarse a un sistema de manufactura integrada por computadora (CIM).
- El sistema está configurado para funcionar con 2 referencias de color pero si el usuario dispone necesario puede reconfigurarlo con nuevas referencias.
- Ajustar de manera correcta los parámetros HSV de la imagen a fin de no tener problemas en el reconocimiento de color.
- Colocar la cámara a utilizar en una superficie fija procurando una vez ejecutado el programa no moverla para que el programa se adapte a la escena y con esto evitar que se produzcan imperfecciones en él.
- Tomarse el tiempo que sea necesario por usuario para familiarizarse con la interfaz gráfica antes de realizar actividades en cualquiera de los modos de trabajo definidos.
- Utilizar computadores de gama alta que aseguren la eficiencia del sistema al realizar el cálculo computación como sugerencia procesadores superiores a Intel Core I5.

- Asegurar que no existan obstrucciones u objetos extraños en el área de trabajo, ya que podrían ocasionar daños en los mecanismos de movimiento.
- El ambiente para el que fue diseñado el sistema de visión es cerrado por lo que se debe utilizarse dentro del área de trabajo definida para así garantizar un correcto funcionamiento.
- Implementar un sistema de transmisión de movimiento que permita mejorar la precisión y exactitud del equipo.
- Verificar el número del puerto serial asignado por el ordenador que utiliza el arduino, para reasignarlo dentro del programa en Qt garantizando de forma correcta la comunicación entre arduino y Qt creator.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

330ohms. (14 de Marzo de 2016). Recuperado el 7 de Junio de 2018, de

<http://blog.330ohms.com/2016/03/14/que-son-los-servomotores/>

ADCIS. (201). Recuperado el 31 de Mayo de 2018, de

<http://www.adcis.net/es/index.html>

arduino.cl. (s.f.). Recuperado el 7 de Junio de 2018, de <http://arduino.cl/arduino-nano/>

arduino.cl. (s.f.). Recuperado el 7 de Junio de 2018, de <http://arduino.cl/arduino-uno/>

arduino.cl. (s.f.). Recuperado el 7 de Junio de 2018, de <http://arduino.cl/arduino-mega-2560/>

ASSEMBLY. (6 de Octubre de 2016). Recuperado el 31 de Mayo de 2018, de

<https://www.assembly.es/beneficios-tipos-sistemas-transporte/>

BOLETININDUSTRIAL.COM. (2018). Recuperado el 31 de Mayo de 2018, de

<http://www.boletinindustrial.com/busca.aspx?q=transportador+de+bolas&st=productos>

BOLETININDUSTRIAL.COM. (2018). Recuperado el 31 de Mayo de 2018, de

<http://www.boletinindustrial.com/busca.aspx?q=cintas+transportadoras&st=productos>

BOLETININDUSTRIAL.COM. (2018). Recuperado el 31 de Mayo de 2018, de

<http://www.boletinindustrial.com/busca.aspx?q=Transportador+de+rodillos&st=productos>

- BOLETININDUSTRIAL.COM.* (2018). Recuperado el 31 de Mayo de 2018, de <http://www.boletinindustrial.com/producto.aspx?pid=91494>
- Canteli, J., Cantero, J., Miguélez, M., Muñoz, A., & Soldani, X. (29 de Noviembre de 2012). Recuperado el 31 de Mayo de 2018, de <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/sistemas-de-produccion-y-fabricacion/material-de-clase-1/TEMA-10.pdf>
- Carletti, E. (2017). *ROBOTS*. Recuperado el 7 de Junio de 2018, de http://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.htm
- Clemencia, A. (2017). Detector de Objetos levantados y olvidados, mediante visión artificial. *Revistas Bolivarianas*, 2. Recuperado el 31 de Mayo de 2018, de http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2415-23232017000100004&script=sci_arttext&tlng=es
- COGNEX.* (26 de Abril de 2017). Recuperado el 18 de Julio de 2018, de http://www.ikusmen.com/documentos/descargas/3cbb38_Introduction%20to%20Machine%20Visión.pdf
- COLDESA.* (2017). Recuperado el 31 de Mayo de 2018, de <http://www.coldesa.com/blog-industrias-coldesa/como-usados-transportadores-industria.html>
- createc3d.* (s.f.). Recuperado el 7 de Junio de 2018, de <https://createc3d.com/shop/es/módulos-y-sensores/345-comprar-módulo-l298n-puente-h-para-arduino-control-motores-paso-a-paso-precio-oferta.html>

ecuared. (18 de Julio de 2018). Recuperado el 18 de Julio de 2018, de

https://www.ecured.cu/Transportador_de_rodillos

energia9. (2012). Recuperado el 19 de Julio de 2018, de

<https://energia9.webnode.es/maquinas/los-operadores-mecanicos/mecanismo-pi%C3%B1on-cremallera/>

Gálvez, P. (17 de Julio de 2018). *electroindustria*. Recuperado el 18 de Julio de 2018,

de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1682>

Genius. (s.f.). Recuperado el 7 de Junio de 2018, de

<http://ar.geniusnet.com/product/widecam-f100>

Izurieta, A. (1997). *Manual para la medición de la Eficiencia de Manejo de un Sistema*.

Costa Rica: IICA/CATIE.

logitech. (s.f.). Recuperado el 7 de Junio de 2018, de [https://www.logitech.com/es-](https://www.logitech.com/es-roam/product/hd-pro-webcam-c920#specification-tabular)

[roam/product/hd-pro-webcam-c920#specification-tabular](https://www.logitech.com/es-roam/product/hd-pro-webcam-c920#specification-tabular)

makerselectronics. (s.f.). Recuperado el 7 de Junio de 2018, de

<https://makerselectronics.com/product/cytron-dual-channel-dc-motor-driver-10a-each-channel/>

MÁQUINAS Y MECANISMOS. (s.f.). Recuperado el 7 de Junio de 2018, de

<https://sites.google.com/site/maquimecatsu/tarea/transmisiones-mecanicas/2-conceptos-basicos-de-transmision-por-engranes>

micamaradeportiva. (17 de Enero de 2016). Recuperado el 7 de Junio de 2018, de <https://micamaradeportiva.com/sj4000-la-gopro-killer-mas-famosa-precio-y-opinion/>

PANAMAHITEK. (s.f.). Recuperado el 7 de Junio de 2018, de <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/>

PEÑAYCIA. (2012). Recuperado el 31 de Mayo de 2018

Pololu. (s.f.). Recuperado el 7 de Junio de 2018, de <https://www.pololu.com/product/1575>

Pololu. (s.f.). Recuperado el 7 de Junio de 2018, de <https://www.pololu.com/product/2275/specs>

Pololu. (s.f.). Recuperado el 7 de Junio de 2018, de <https://www.pololu.com/product/713>

Pulido, A. (28 de Agosto de 2008). *APRENDEMOS TECNOLOGÍA*. Recuperado el 31 de Mayo de 2018, de <https://aprendemostecnologia.org/2008/08/28/sistema-simple-de-poleas-con-correa/>

Rodríguez, H. (s.f). *ingemecánica*. Recuperado el 31 de Mayo de 2018, de <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn127.html>

Salazar, B. (2016). *INGENIERIAINDUSTRIALONLINE.COM*. Recuperado el 31 de Mayo de 2018, de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/procesos-industriales/>

Salazar, M. (03 de Julio de 2009). *msalazar*. Recuperado el 18 de Julio de 2018, de <http://msalazar-ingeniero.blogspot.com/>

SonRobots. (s.f.). Recuperado el 7 de Junio de 2018, de <http://sonrobots.com/arduinos/motores-servomotores-y-motores-paso-a-paso>

tecnojulio. (4 de Febrero de 2012). Recuperado el 7 de Junio de 2018, de <http://www.tecnojulio.com/1eso/2012/02/04/mecanismos-de-transmision-circular>

Torres, M. (30 de Abril de 2014). *Mecanismos*. Recuperado el 31 de Mayo de 2018, de https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/42_sistemas_de_polea_y_correa.html

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el siguiente trabajo fue desarrollado por los señores Luis Miguel Escobar Tigmasa y Diego Mauricio Garzón Canchignia bajo la supervisión.

Ing. Héctor Cochise Terán Herrera
Director del proyecto



Ing. Vicente David Halko Carrasco,
Director de Carrera

Dr. Rodrigo Vaca Corrales
Secretario Académico