

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA
INSTITUTO DE ELECTRÓNICA Y MECATRÓNICA
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA



**DISEÑO, MANUFACTURA Y CONTROL DE UN MECANISMO DE
POSICIONAMIENTO ESFÉRICO, UTILIZANDO HERRAMIENTAS CAD/CAE/CAM
Y PLATAFORMA ARDUINO PARA EL DESPLAZAMIENTO DE UNA CÁMARA IP.**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

ING. EN MECATRÓNICA

PRESENTA:

VANESSA CRISTELL TORRES LÓPEZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. FELIPE DE JESÚS RIVERA LÓPEZ

CO-DIRECTOR DE TESIS:

DR. ALBERTO ANTONIO GARCÍA

HEROICA CIUDAD DE HUAJUAPAN DE LEÓN, OAXACA. OCTUBRE 2020

Jurado Asignado

M.D.I Fernando Iturbide Jiménez

Dr. Fermín Hugo Ramírez Leyva

Dr. Mario Márquez Miranda

Lugares donde se realizó la tesis

Instituto de Electrónica y Mecatrónica, Universidad Tecnológica de la Mixteca; Huajuapán de
León, Oaxaca.

Taller de plásticos y textiles, Universidad Tecnológica de la Mixteca; Huajuapán de León,
Oaxaca

Director de tesis

Dr. Felipe de Jesús Rivera López

Co-Director de tesis

Dr. Alberto Antonio García

Resumen

En este documento de tesis se describe el diseño y desarrollo de un mecanismo de tres grados de libertad que tiene como finalidad desplazar una cámara IP sobre la superficie semiesférica descrita por sus eslabones. Como elemento central, se ha empleado la placa electrónica Arduino Uno®, en la cual se ha implementado un algoritmo que permite el movimiento del mecanismo vía remota a través del protocolo de comunicación Bluetooth.

Asimismo, se ha desarrollado una aplicación en el entorno de desarrollo MIT App Inventor para dispositivos móviles Android que logra vincular al mecanismo con el dispositivo móvil a fin de conseguir el control vía remota y la visualización de la imagen captada por la cámara IP.

Palabras clave: Mecanismo de tres grados de libertad, Arduino Uno ®, Bluetooth, desarrollo de aplicaciones.

Abstract

This thesis document describes the design and development of a three-degree-of-freedom mechanism whose purpose is to move an IP camera on the hemispherical surface described by its links. As a central element, the Arduino Uno® electronic board has been used, in which an algorithm has been implemented that allows movement of the mechanism remotely through the Bluetooth communication protocol.

Likewise, an application has been developed in the MIT App Inventor development environment for Android mobile devices that manages to link the mechanism with the mobile device in order to achieve remote control and display of the image captured by the IP camera.

Keywords: Three degrees of freedom mechanism, Arduino Uno ®, Bluetooth, application development.

Agradecimientos

Al Instituto de Electrónica y Mecatrónica de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, por brindar el espacio de trabajo.

A mis sinodales, M.D.I Fernando Iturbide Jiménez, Dr. Fermín Hugo Ramírez Leyva y Dr. Mario Márquez Miranda; y a mi Co-Director de tesis, Dr. Alberto Antonio García, por sus consejos y el tiempo invertido en la revisión de esta investigación.

A mi Director de tesis, Dr. Felipe de Jesús Rivera López, por el apoyo incondicional tanto para el desarrollo de este proyecto como para mi persona. Su repetida motivación me dio fuerzas para seguir adelante, su infinita comprensión y confianza me impulsaron a llegar hasta aquí y trazarme nuevas y mejores metas.

A mis abuelos y tíos, por todo el apoyo y cariño brindado desde siempre.

Y a Dios, que es la fuente de amor, comprensión y fortaleza que me ha guiado hasta aquí.

Dedicatoria

Dedico este logro a las personas más importantes en mi vida, quienes me han guiado en el camino y han sabido apoyarme de manera incondicional.

Principalmente a mi madre, María Antonia López Cigarroa, quien además de darme la vida, ha sabido impulsarme, aconsejarme y jamás dejarme caer. Este logro no es sólo mío, y yo no sería quien hoy soy si tu no estuvieras a mi lado.

A mi hermana, Tamara Lisette Torres López. Todo en esta vida es posible, siempre que lo desees con el corazón y te esfuerces por alcanzarlo.

A mi pequeña Leylanie. Espero poder convertirme en el mayor ejemplo de superación y esfuerzo que necesitas. Mi mayor motivo eres tú.

A mi abuelito Manuel, mi mayor ejemplo de bondad y entereza.

Y finalmente, a MEHC. Por ser en todo momento mi inspiración, sin ti y mi pequeña, la vida carecería de felicidad.

Índice general

Capítulo 1 Introducción general	21
Introducción	21
Estado del arte.....	23
Mecanismo esférico de cuatro barras	23
Mecanismo esférico de biela manivela corredera ecuatorial.	24
Mecanismo esférico de biela manivela corredera donde el plano de movimiento de la corredera es un plano paralelo al ecuador.....	24
Planteamiento del problema	25
Justificación	26
Hipótesis	27
Objetivos.....	27
Objetivo general.....	27
Objetivos específicos.....	27
Meta.....	27
Limitaciones de la tesis	28
Metodología	28
Fase 0 “Planeación”.....	28
Fase 1 “Desarrollo del concepto”.....	28
Fase 2 “Diseño de detalle”.....	29
Fase 3 “Pruebas y refinamiento”.....	29
Conclusiones	31
Capítulo 2 Fundamentos teóricos para el diseño, manufactura y control de mecanismos.....	33
Introducción	33
Mecanismos esféricos.....	33
Junta universal de Hooke o Cardan.....	34
Grados de libertad en un mecanismo esférico.	35
Diseño asistido por computadora.....	37
Manufactura aditiva.....	37
Ventajas del uso de manufactura aditiva	38
Desventajas del uso de la manufactura aditiva	38
Plataforma Arduino	39
Memoria y alimentación	39
Comunicación bluetooth.....	40
Características físicas	40
Módulo bluetooth HC-05.....	41
Conexiones.....	41
MIT App Inventor	42
Conclusiones	43
Capítulo 3 Diseño y ensamble de mecanismo de posicionamiento esférico	45
Introducción	45
Especificaciones del prototipo	46
Generación de concepto	48

Masa total.....	50
Grados de libertad	51
Generación de movimiento.....	54
Diseño de eslabones	57
Material.....	67
Energía.....	70
Costo final de desarrollo.....	71
Manufactura.....	72
Verificación de las dimensiones de los eslabones.....	72
Generación del archivo para impresión	74
Impresión 3D.....	75
Acabado superficial de las piezas obtenidas.....	76
Control del sistema.....	76
Software de control.	77
Hardware de control	86
Ensamble	87
Conclusiones.....	90
Capítulo 4 Resultados	91
Introducción	91
Fabricación de la placa electrónica de control.....	91
Lubricación de los balancines.....	93
Pruebas del mecanismo	93
Vinculación con el módulo bluetooth HC-05	93
Funcionamiento de los botones de desplazamiento	94
Movimiento de los eslabones.....	94
Imagen de cámara.....	95
Apariencia.....	97
Conclusiones.....	98
Capítulo 5 Conclusiones.....	99
Trabajo a futuro.....	100

Índice de tablas

Tabla 1 Especificaciones técnicas del prototipo	47
Tabla 2 Cuadro comparativo de las características de los motores DC, servomotores y motores paso a paso.....	56
Tabla 3 Lista de materiales con estimación de costo.....	71
Tabla 4 Configuración asignada a cada botón.....	83

Índice de figuras

Figura 1 Aplicaciones sugeridas por los turistas en la ciudad de Oaxaca para el proyecto AVATOOUR (Alejandro Sánchez & Cruz García, 2013).....	21
Figura 2. Mecanismo esférico de cuatro barras (Tadeo, et. al.,2009, pág. 743).....	23
Figura 3. Variables de entrada y salida en un mecanismo esférico de cuatro barras. (Tadeo, et. al., 2009)	23
Figura 4. Mecanismo esférico de biela-manivela-corredera ecuatorial (Tadeo, et. al, 2009)	24
Figura 5 Mecanismo esférico de biela-manivela-corredera donde el plano de movimiento de la corredera es un plano paralelo al ecuador (Tadeo, et.al , 2009, pág. 746).....	25
Figura 6. Diseño y desarrollo de nuevos productos (Ulrich & Eppinger, 2009)	28
Figura 7. Diagrama a bloques de los procesos para el desarrollo del mecanismo de posicionamiento esférico	30
Figura 8.Articulación universal de Hooke o Junta de Cardan	35
Figura 9.Pares cinemáticos y sus grados de libertad (Castillo Ramírez, 2005).....	36
Figura 10. Placa electrónica Arduino Uno (Arduino Org., 2017)	39
Figura 11. Módulo Bluetooth HC-05	41
Figura 12. MIT App Inventor	42
Figura 13. Etapas del desarrollo del concepto.	45
Figura 14. Procesos que componen la fase del diseño de detalle	46
Figura 15.Áreas de la mecatrónica involucradas en el desarrollo del prototipo.....	49
Figura 16. Sistema de coordenadas esféricas	51
Figura 17. Superficie de trabajo del mecanismo de posicionamiento esférico	52
Figura 18. a) Cámara IP en la posición (R, ϑ, φ) b) Cámara IP en la posición $(R, \pi/2, 0)$	53
Figura 19. Definición del tercer grado de libertad del mecanismo de posicionamiento esférico..	54
Figura 20. Bastidor. Vista superior	58
Figura 21. Bastidor. Descripción de barrenos	59
Figura 22. Balancín A. Vista frontal	60
Figura 23. Balancín A. Vista superior.....	60
Figura 24. Balancín B. Vista frontal.	61
Figura 25. Balancín B. Vista superior.....	61
Figura 26. Corredera. Vista frontal	62
Figura 27. Efecto final. Vista lateral.....	63
Figura 28. Ensamble del mecanismo de posicionamiento esférico. Vista frontal.....	64
Figura 29. Diferentes posiciones alcanzadas por el mecanismo de posicionamiento esférico	64
Figura 30. Intervalo de posiciones alcanzadas por el balancín A. a) ángulo mínimo b) ángulo máximo	65
Figura 31. Intervalo de posiciones alcanzadas por el balancín B. a) ángulo mínimo b) ángulo máximo..	66
Figura 32.Intervalo de posiciones alcanzadas por el efecto final. A) ángulo mínimo b) ángulo máximo	66
Figura 33. Proceso de generación de movimiento	70
Figura 34. Proceso de manufactura de los eslabones del mecanismo de posicionamiento esférico	72
Figura 35. Opciones de seccionamiento a) Tipo rompecabezas b) Seccionamiento vertical.....	73
Figura 36. Piezas seccionadas del bastidor.....	73
Figura 37. Seccionamiento de la corredera a) Arco móvil b) Soporte de servomotor.....	74
Figura 38. Archivos stl para impresión	75

Figura 39. Diagrama de flujo de la función principal	78
Figura 40. Diagrama de flujo de la función avance	80
Figura 41. Diagrama de flujo de la función retroceso.....	81
Figura 42. Aplicación desarrollada en Android. a) Presentación b) Control del mecanismo	82
Figura 43. Botón siguiente	82
Figura 44. Botón Conexión BT	83
Figura 45. Botones de desplazamiento.....	83
Figura 46. Imagen tomada del servidor FTP.	84
Figura 47. Recorrido de la imagen tomada por la cámara Wi-Fi	84
Figura 48. Ruta de origen de las imágenes capturadas por la cámara Wi-Fi	85
Figura 49. Descarga y visualización de la imagen.....	85
Figura 50. Diagrama eléctrico	86
Figura 51. Puente H. Integrado L298N	87
Figura 52. Ensamble del bastidor.....	88
Figura 53. Ensamble del balancín A al bastidor.	89
Figura 54. Ensamble final del mecanismo de posicionamiento esférico	89
Figura 55. Secciones de la fase de pruebas y refinamiento	91
Figura 56. Circuito de control del mecanismo de posicionamiento esférico	92
Figura 57. Selección de dispositivo Bluetooth	94
Figura 58. Diferentes posiciones alcanzadas por el mecanismo de posicionamiento esférico	95
Figura 59. Imágenes extraídas de la cámara WiFi Q7 HD.....	96
Figura 60. Prueba de imagen con la aplicación Android	96
Figura 61. Mecanismo de posicionamiento esférico.....	97

Capítulo 1 Introducción General

Introducción

El estudio de mercado realizado por (Alejandro Sánchez & Cruz García, 2013) a una muestra de 348 personas en la ciudad de Oaxaca de Juárez, Oaxaca, dónde se midió el grado de aceptación de un robot humanoide que permita al usuario visitar lugares turísticos sin salir de su hogar (denominado AVATOOUR), demostró que, además de la aplicación propuesta, habitantes y turistas requieren de un dispositivo que les facilite interactuar en diferentes actividades sin tener que encontrarse físicamente en un sitio específico.

En la Figura 1, se muestran las aplicaciones sugeridas por las personas entrevistadas para el proyecto AVATOOUR.

Figura 1

Aplicaciones sugeridas por los turistas en la ciudad de Oaxaca para el proyecto AVATOOUR

(Alejandro Sánchez & Cruz García, 2013)



Puede observarse que las aplicaciones con mayor mención: vigilancia (27.09%), cuidado de familiares (21.60%) y discapacitados (18.90%) exhiben una alta preocupación en las personas entrevistadas respecto a la seguridad propia y la de sus familiares, mientras que la minoría sugiere aplicaciones destinadas al entretenimiento y la ciencia; razón por la cual, el proyecto AVATOUR concluyó que, un dispositivo que facilite la interacción en diferentes actividades sin ser precisa la presencia física, será bien aceptado por el mercado mientras les proporcione seguridad para ellos y sus familiares.

Sin embargo, pese al alto grado de aceptación y la demanda de un dispositivo que nos permita realizar diferentes actividades sin encontrarnos presencialmente en un sitio determinado, el desarrollo de un robot humanoide resulta ser un proyecto ambicioso y costoso en la actualidad; además, requiere capacitación continua para los usuarios (Alejandro Sánchez & Cruz García, Proyecto AVATOUR, 2013), por lo cual se reduce el mercado meta para el proyecto AVATOUR.

A través de la siguiente investigación, se diseñará, manufacturará y controlará un mecanismo esférico de tres grados de libertad (GDL) que permita el desplazamiento de una cámara IP (“Protocolo de Internet” por sus siglas en inglés) para su adaptación en un casco inteligente de monitoreo, como trabajo a futuro. Un casco inteligente de monitoreo en tiempo real reducirá los costos que suponen la fabricación de un robot humanoide y cubrirá la necesidad expresada por la muestra de la población entrevistada.

La importancia de diseñar y manufacturar un mecanismo que permita el desplazamiento de una cámara IP, alrededor de toda la superficie de un casco inteligente de monitoreo, es garantizar un monitoreo en coordenadas esféricas desde cualquier ángulo, minimizando los puntos muertos de visión.

Estado del arte

A continuación, se presentan los mecanismos esféricos de mayor relevancia en la mecánica clásica:

Mecanismo esférico de cuatro barras

La Figura 2 muestra un mecanismo esférico de cuatro barras, con un solo grado de libertad. Las longitudes de los eslabones del mecanismo esférico de cuatro barras mostrado en la Figura 3 son: eslabón motriz, a ; eslabón acoplador, b ; eslabón seguidor, c y eslabón fijo f (Tadeo, et. al., 2009).

Figura 2

Mecanismo esférico de cuatro barras (Tadeo, et. al., 2009, pág. 743)

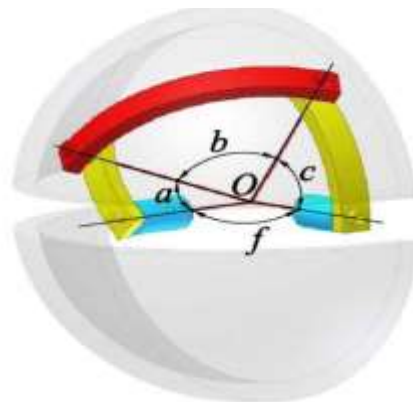
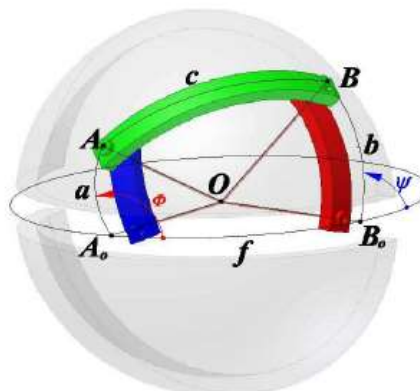


Figura 3

Variables de entrada y salida en un mecanismo esférico de cuatro barras. (Tadeo, et. al., 2009)



El análisis cinemático de mecanismos esféricos consiste en resolver, primero, el análisis de posición, esto es, a partir de una variable de entrada, digamos el ángulo ϕ , determinar una variable de salida, el ángulo ψ , tal como se ilustra en la Figura 3.

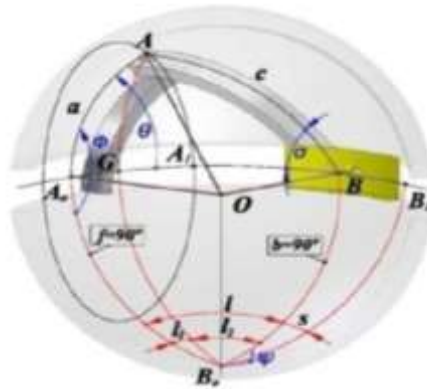
Mecanismo esférico de biela manivela corredera ecuatorial.

La Figura 4 ilustra un mecanismo esférico de biela-manivela-corredera ecuatorial. La trayectoria de la corredera para este mecanismo es el círculo máximo que se encuentra en el ecuador de la esfera (Tadeo, et. al., 2009).

Para este mecanismo esférico, el ángulo θ indica la variable de entrada, el eslabón fijo f y el eslabón de salida b tienen una magnitud de 90° . El objetivo de análisis de posición es determinar el ángulo l , que determina la posición de la corredera, con respecto al plano A_0OB_0 , en el plano ecuatorial.

Figura 4

Mecanismo esférico de biela-manivela-corredera ecuatorial (Tadeo, et. al, 2009)



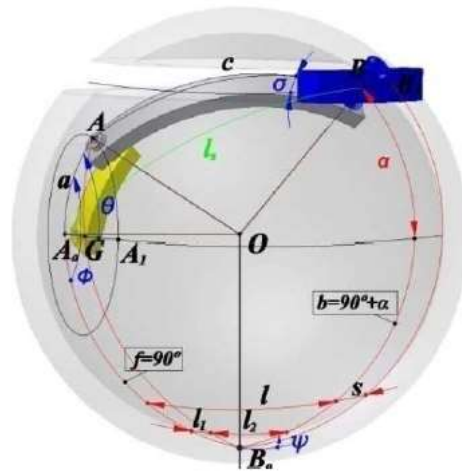
Mecanismo esférico de biela manivela corredera donde el plano de movimiento de la corredera es un plano paralelo al ecuador.

Dentro de la literatura, también se hace mención del mecanismo esférico de biela-manivela-corredera con plano paralelo al ecuador. La Figura 5 ilustra este caso especial del

mecanismo esférico. La diferencia entre el mecanismo esférico biela-manivela-corredera ecuatorial y este mecanismo reside en que el movimiento de la corredera acontece en un plano paralelo al plano del ecuador (Tadeo, et. al., 2009).

Figura 5

Mecanismo esférico de biela-manivela-corredera donde el plano de movimiento de la corredera es un plano paralelo al ecuador (Tadeo, et.al , 2009, pág. 746)



Planteamiento del problema

Los sistemas de monitoreo actuales, conformados por cámaras que graban señales de audio y video y monitores que permiten la visualización de estas señales, facilitan la observación de una o más variables de interés con el fin de detectar eventuales anomalías y corregirlas en el menor tiempo posible ((ESYS) Fundación Empresa Seguridad y Sociedad, 2016).

Es común ver circuitos de vigilancia instalados en escuelas, museos, hospitales, y bodegas, por mencionar únicamente unos ejemplos. Sin embargo, los sistemas basados en cámaras IP presentan una gran desventaja que limita el buen monitoreo de un espacio determinado.

Para los sistemas de monitoreo basados en cámaras IP, se precisa de la instalación de más de una cámara en una habitación con el fin de eliminar puntos muertos de visión cuando se requiere visualizar el estado completo de la misma; aumentando de esta manera el costo del sistema de monitoreo. Si el número de habitaciones a monitorear incrementa, la cantidad de cámaras IP necesarias para cubrir los espacios también lo hará, así como la inversión necesaria para la instalación de dicho sistema.

Dados los argumentos anteriores, surge la idea de optimizar los sistemas de monitoreo actuales minimizando los puntos muertos de visión mediante un mecanismo que además de facilitar el posicionamiento esférico de una cámara IP, permita su adaptación en cascos de uso personal para el monitoreo de diferentes habitaciones sin el uso excesivo de dispositivos de grabación.

Justificación

El desarrollo del presente proyecto de tesis además de permitir fortalecer los conocimientos adquiridos durante los estudios de licenciatura en las áreas de mecánica y electrónica, propias de la Ingeniería en Mecatrónica, permitirán contribuir con el desarrollo de un nuevo sistema de monitoreo resultado de una demanda creciente entre la población.

El estudio de mercado realizado para el proyecto AVATOUR (Alejandro Sánchez & Cruz García, 2013), demostró que la población requiere un nuevo sistema de monitoreo dinámico y de bajo costo.

Un sistema de monitoreo que coloque al ser humano como elemento principal y que carezca de puntos muertos de visión corregirá los errores existentes en los actuales sistemas basados en cámaras IP.

Hipótesis

Es posible diseñar y manufacturar un mecanismo de posicionamiento esférico de tres grados de libertad, utilizando herramientas CAD/CAM e impresión 3D y controlarlo vía Bluetooth bajo la plataforma de Arduino.

Objetivos

A continuación, se muestran los objetivos seguidos en la realización del proyecto.

Objetivo general

Diseñar y manufacturar un mecanismo de posicionamiento esférico que permita el desplazamiento de una cámara IP sobre una superficie esférica, para ser controlado inalámbricamente vía Bluetooth bajo la plataforma de Arduino.

Objetivos específicos

- Diseñar un mecanismo de posicionamiento esférico usando el software CAD SolidWorks®.
- Imprimir el diseño del mecanismo en la impresora 3D de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Diseñar un sistema de control del mecanismo de posicionamiento esférico para el desplazamiento de una cámara IP.
- Implementar el sistema de control inalámbricamente bajo el protocolo de comunicación Bluetooth.

Meta

Fabricar un mecanismo que pueda ser integrados en sistemas de monitoreo en tiempo real.

Limitaciones de la tesis

Costo. La selección de los componentes mecánicos, electrónicos y de control se verá afectada por el costo de estos, sin embargo, se establecerá qué componentes realizarán de manera más eficiente las tareas involucradas con el fin de reemplazarlos en trabajos a futuro.

Metodología

Para la conclusión satisfactoria de la tesis, se siguió la metodología para el diseño y desarrollo de nuevos productos (Ulrich & Eppinger, 2009), mostrada en la Figura 6

Figura 6

Diseño y desarrollo de nuevos productos (Ulrich & Eppinger, 2009)



Fase 0 “Planeación”

Identificada la oportunidad, se desarrollará la manufactura de un mecanismo de posicionamiento esférico para el desplazamiento de una cámara IP. Se espera contar con la infraestructura necesaria en la Universidad Tecnológica de la Mixteca en cada una de las etapas del desarrollo del prototipo.

Fase 1 “Desarrollo del concepto”

Se establecerán las especificaciones del prototipo de acuerdo con los objetivos planteados. Mediante una lluvia de ideas, se generará el concepto a desarrollar y se modelará mediante el software de Diseño Asistido por Computadora (CAD) SolidWorks®, además, se seleccionará el material adecuado para la manufactura de los eslabones.

En esta fase del proyecto se analizarán los dispositivos electrónicos que cumplan con las especificaciones para seleccionar el adecuado mediante simulaciones en Proteus® que permitan un correcto diseño de la parte electrónica. Y se definirá la arquitectura del prototipo.

Fase 2 “Diseño de detalle”

Apoyándose en la manufactura suave, se obtendrán los eslabones del mecanismo de posicionamiento esférico. El circuito electrónico será evaluado inicialmente en una placa de pruebas para la posterior realización de una tarjeta electrónica definitiva. Se efectuará el ensamble de cada una de las partes y se comprobará de manera general, el correcto funcionamiento del sistema.

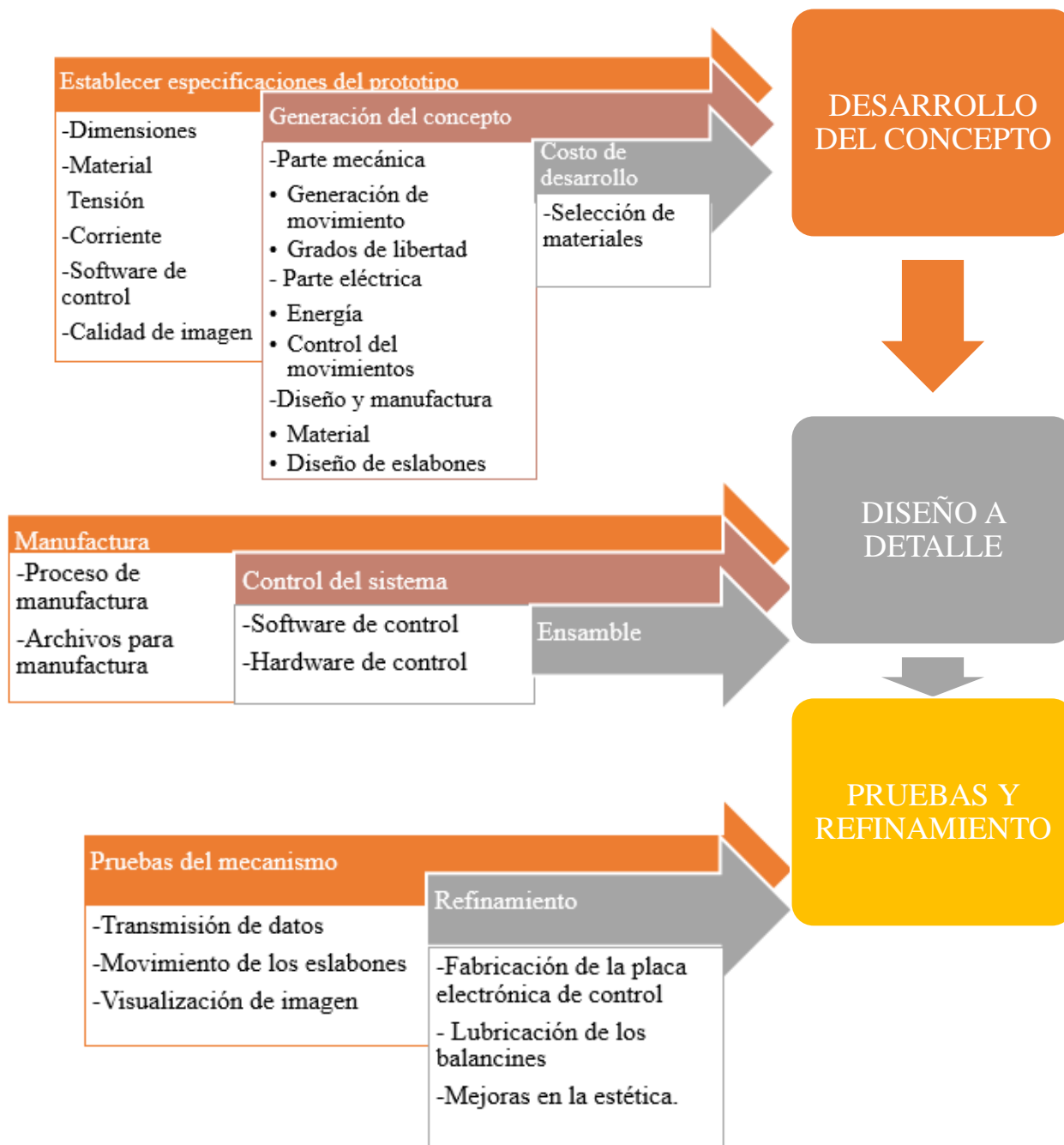
Fase 3 “Pruebas y refinamiento”

Las pruebas consistirán en verificar la inexistencia de singularidades en el mecanismo y en el cumplimiento de los intervalos establecidos para la posición de cada uno de los eslabones.

La Figura 7, muestra el diagrama a bloques que describe la secuencia de las fases planteadas por Ulrich para el desarrollo del mecanismo de posicionamiento esférico. En los capítulos posteriores, se muestra el desarrollo de cada uno de los procesos planteados.

Figura 7

Diagrama a bloques de los procesos para el desarrollo del mecanismo de posicionamiento esférico



Conclusiones

Como parte de un proyecto interdisciplinario, que ha demostrado ser requerido en el mercado gracias a las investigaciones de los proyectos AVATOUR y AVACOP, el desarrollo de un mecanismo de posicionamiento esférico ofrecerá una nueva opción tecnológica en los sistemas de monitoreo en tiempo real.

Se espera que el mecanismo de posicionamiento esférico pueda ser incluido a mediano plazo en el desarrollo de un casco inteligente de monitoreo, destinado a equipos de seguridad, estudio de zonas no descubiertas, cuidado de familiares (enfermos e infantes), monitoreo de negocios y bodegas, así como guía en museos, entre otros; sin la desventaja del alto costo de los sistemas de monitoreo actuales basados en un conjunto de cámaras IP.

Se dispondrá de toda la infraestructura, herramientas y equipo disponible en la Universidad Tecnológica de la Mixteca para el correcto desarrollo del proyecto, obteniendo como resultado, un prototipo impreso en 3D que pueda ser controlado a distancia mediante un teléfono celular.

El diseño, manufactura y ensamble del mecanismo de posicionamiento esférico será llevado a cabo siguiendo la metodología planteada por Ulrich y Eppinger para el diseño y desarrollo de nuevos productos, pasando por las fases de planeación, desarrollo del concepto, diseño de detalle, pruebas y refinamiento, omitiendo la fase de inicio de producción, puesto que el mecanismo de posicionamiento esférico será parte de un proyecto de mayor tamaño.

Introducción

El marco teórico que se desarrolla a continuación permite conocer los conceptos básicos necesarios para el entendimiento del desarrollo de este proyecto.

Partiremos con la definición de mecanismos esféricos y la obtención de sus grados de libertad de acuerdo al tipo de par cinemático que representan. Establecer el número adecuado de GLD permitirá tener un criterio adecuado en la selección de actuadores y eslabones para el mecanismo.

Posteriormente, se describirán los principales componentes electrónicos que formarán parte de la circuitería del mecanismo.

Finalmente, se describirá el software de desarrollo de aplicaciones para teléfonos móviles con el cual se creará el programa de control del mecanismo.

Mecanismos esféricos

Describir el movimiento de los cuerpos y entender sus causas, es una de las inquietudes más antiguas de la humanidad. La cinemática, como rama de la mecánica clásica, estudia las leyes del movimiento de los cuerpos sin tener en cuenta las causas que lo producen, limitándose esencialmente al estudio de trayectorias en función del tiempo (Cádiz, Hevia, & Reyes, 2013, pág. 11).

El fin principal de la cinemática es diseñar movimientos deseados en elementos mecánicos tales como mecanismos y máquinas para después calcular matemáticamente las posiciones, velocidades y aceleraciones que tales movimientos generan en dichos elementos (Sánchez Sánchez, 2008, pág. 3).

Un mecanismo, es la agrupación de eslabones móviles que son capaces de transmitir fuerzas y movimientos, con un miembro inmovilizado que recibe el nombre de eslabón fijo o bastidor (Castillo Ramírez, 2005).

Los mecanismos se pueden clasificar de diferentes maneras haciendo hincapié en sus similitudes y sus diferencias. Uno de estos agrupamientos en función de los movimientos que producen los mecanismos los divide en: mecanismos planos, mecanismos esféricos y mecanismos espaciales (Holgueras Castellanos, Rincón Pérez, & Riocerezo Ibizate, 2013, págs. 6-8).

En un mecanismo esférico, todos los eslabones tienen un punto en común de velocidad nula y las trayectorias de todos los puntos pueden estar contenidas en esferas concéntricas con centro en el punto de velocidad nula; en otras palabras, el lugar geométrico de cada punto es una curva contenida dentro de una superficie esférica y las superficies esféricas definidas por varios puntos arbitrariamente definidos, son concéntricas (Holgueras Castellanos, et. al, 2013, pág. 7).

La junta universal de Hooke es el ejemplo más conocido de un mecanismo esférico.

Junta universal de Hooke o Cardan

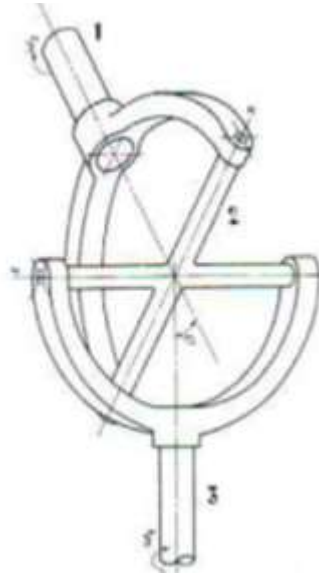
La junta universal de Hooke, normalmente utilizada en la industria automotriz, es un par cinemático de dos grados de libertad, formada por dos horquillas que están unidas entre sí por un elemento con forma de cruz donde cada horquilla articula con una de las aspas de la cruz, como se muestra en la Figura 8 (Rubio Alonso, 2015).

La junta Cardan, es un acoplamiento flexible que puede operar con un elevado grado de desalineamiento. Generalmente se montan por parejas, de manera que la no uniformidad de la primera junta se compensa con la segunda (Rubio Alonso, 2015) (Vigil Sanabia, 2009).

Se utilizan para conectar dos ejes no alineados cuya relación de velocidades angulares no es constante y es función del ángulo que forman los ejes.

Figura 8

Articulación universal de Hooke o Junta de Cardan



Grados de libertad en un mecanismo esférico.

De manera general, para que el movimiento prescrito de un mecanismo tenga lugar, el número de actuadores debe ser igual al número de grados de libertad del mecanismo con respecto al bastidor de este (Díaz Arias & Quintero, 2005).

La fórmula de Kutzbach-Glúeber, para la determinación del número de grados de libertad o movilidad de un mecanismo (M) con respecto al bastidor, se presenta por lo general, como se ilustra en la Ecuación 1 (Díaz Arias & Quintero, 2005):

$$M = 6(L - 1) - 5p_1 - 4p_2 - 3p_3 - 2p_4 - p_5 \quad (1)$$

Donde:

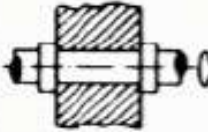

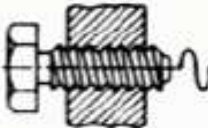

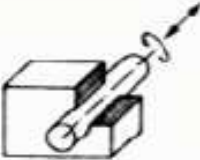













L = número de eslabones

p = número de juntas; el subíndice se refiere al número de GDL de la junta.

La Figura 9, muestra los tipos de juntas existentes, y los grados de libertad correspondientes a cada una de ellas.

Figura 9

Pares cinemáticos y sus grados de libertad (Castillo Ramírez, 2005)

Grado de libertad	Esquemas, nombres y símbolos de pares cinemáticos			
I	 Par de revolución <i>R</i>	 Par prismático <i>P</i>	 Par helicoidal <i>H</i>	 Contact. pentapuntual
II	 Par cilíndrico <i>C</i>	 Par esférico ranurado	 Par de leva <i>L</i>	 Contact. tetrapuntual
III	 Par esférico <i>E</i>	 Par plano <i>Pl</i>	 P. cilíndrico ranurado	 Contact. tripuntual
IV	 Par esfera cilindro <i>Ec</i>	 Par plano cilindro <i>Pc</i>	 Contacto bipuntual	 Contacto bipuntual
V	 Par esfera plano <i>E</i> ,	 Par esfera <i>Ee</i>		

Diseño asistido por computadora

Diseño asistido por computadora (“CAD”, por sus siglas en inglés) es el uso de programas computacionales para crear representaciones gráficas de objetos físicos ya sea en segunda o tercera dimensión (SIEMENS, 2015).

CAD es utilizado en los procesos de ingeniería desde el diseño conceptual hasta el lay-out de productos, a través del análisis dinámico de ensamblajes hasta la definición de métodos de manufactura. Esto le permite al ingeniero analizar interactiva y automáticamente las variantes de diseño, para encontrar el diseño óptimo de manufactura mientras se minimiza el uso de prototipos físicos.

Como herramienta CAD, se utilizará el software SolidWorks®. SolidWorks® es un programa de diseño mecánico en 3D con el que se puede crear geometría 3D usando sólidos paramétricos. La aplicación está enfocada al diseño de productos, diseño mecánico, ensamblajes, y dibujos para taller. SolidWorks® tiene soluciones para industrias de plásticos, lamina delgada, eléctrica, simulación y análisis por elementos finitos, el programa incluye un módulo inteligente de detección de errores de diseño y módulos para diseño sustentable (SolidWorks, 2015).

Manufactura aditiva

La tecnología conocida como Fabricación Aditiva o Additive Manufacturing (“AM”, por sus siglas en inglés), consiste, básicamente, en manipular material a escala micrométrica y depositarlo de forma muy precisa para construir un sólido (Zahera , 2012).

Mediante las técnicas aditivas (AM) se obtiene la geometría añadiendo material a partir de geometría virtual, sin uso de preformas (técnicas conformativas) y sin sustraer material (técnicas sustractivas) (Hopkinson, R.J.M, & Dickens, 2006).

Entre las técnicas de aplicación de AM, se encuentran la Estereolitografía, el Sinterizado Selectivo y el Modelado por Deposición Fundida, que permiten obtener piezas directamente desde un archivo CAD 3D, “imprimiéndolas” de forma totalmente controlada sobre una superficie.

El modelado por deposición fundida, que es la técnica de mayor auge, consiste en depositar un polímero fundido sobre una base plana, capa a capa. El material, que inicialmente se encuentra en estado sólido almacenado en rollos, se funde y es expulsado por una boquilla en minúsculos hilos que se van solidificando conforme van adquiriendo la forma de cada capa (López Conde, 2016).

El concepto de impresión 3D ha obtenido un gran auge en los últimos años, que se han empleado otros términos para referirse a ella como *e-manufacturing* (manufactura electrónica), *Direct Manufacturing* (manufactura directa) o *Additive Layer Manufacturing* (Manufactura aditiva por capas) (Wohlers, 2012)

Ventajas del uso de manufactura aditiva

- Complejidad geométrica de las piezas a fabricar.
- Libertad creativa.
- Personalización de productos.
- Reducción de costos relacionados con la complejidad de forma.
- Obtención de productos de menor peso.

Desventajas del uso de la manufactura aditiva

- Acabado superficial de las piezas y velocidad de fabricación. El aumento de la velocidad de fabricación condiciona la calidad del acabado superficial.

- Calidad del producto y repetibilidad del proceso. No se puede asegurar la precisión dimensional con la que se obtendrá una pieza en comparación con la siguiente.
- Tamaño limitado de piezas.
- Disponibilidad y coste de materia prima.

Plataforma Arduino

Arduino Uno es una placa electrónica de uso libre basada en el microcontrolador ATmega328 (ver Figura 10). Cuenta con 14 pines digitales de entrada/salida (de los cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un resonador cerámico 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio (Arduino Org., 2017).

Figura 10

Placa electrónica Arduino Uno (Arduino Org., 2017)



Memoria y alimentación

Dado que se basa en el microcontrolador ATmega328, tiene una memoria de 32 KB, 2 KB de SRAM y 1 KB de memoria EEPROM (Santiago Espinosa, 2012, págs. 42-48).

El Arduino Uno puede ser alimentado a través de la conexión USB o con una fuente de alimentación externa. La fuente de energía se selecciona automáticamente. Arduino Uno puede operar en un suministro externo de 6 a 20 voltios, sin embargo, el rango recomendado es de 7 a 12 voltios.

Comunicación bluetooth

La placa electrónica Arduino Uno, cuenta con diversas facilidades para comunicarse con un ordenador, otro Arduino, otro microcontrolador o bien un dispositivo móvil. El ATmega328 ofrece UART TTL (5V), una comunicación en serie, que está disponible en los pines digitales 0 (RX) y 1 (TX) (Biendicho Lletí, 2015, pág. 10).

Existe una gran variedad de módulos Bluetooth que son útiles en los proyectos de electrónica para establecer la comunicación entre la placa Arduino y dispositivos móviles, pero los más utilizados son los módulos JY-MCU, por su bajo costo y su alta oferta en el mercado.

Existen dos modelos de módulos Bluetooth: el HC-05 que puede ser maestro/esclavo, y el HC-06 que sólo puede actuar como esclavo. La diferencia entre maestro y esclavo es que en modo esclavo es el dispositivo quien se conecta al módulo, mientras que en modo maestro es el módulo quien se conecta con un dispositivo (DIYMakers, 2014).

Características físicas

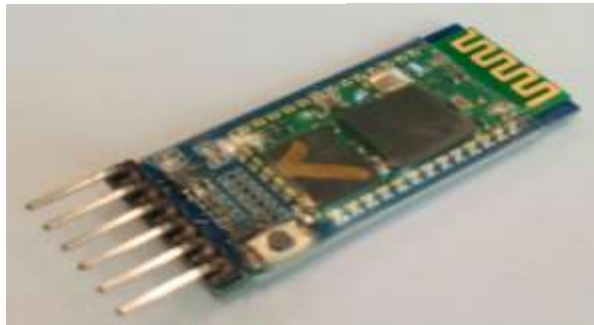
- Longitud: 6.86 cm
- Ancho 5.34 cm
- Peso: 25g

Módulo bluetooth HC-05

El módulo Bluetooth HC-05 (ver Figura 11) es uno de los dispositivos más comunes para establecer una comunicación Bluetooth entre la placa electrónica Arduino y algún dispositivo móvil.

Figura 11

Módulo Bluetooth HC-05



El módulo HC-05 tiene dos modos de funcionar: Maestro y Esclavo. Lo que significa que no solamente trabaja como esclavo, es decir, en espera de órdenes enviadas desde un dispositivo móvil, sino que también tiene la función de actuar como maestro y conectarse a otro dispositivo Bluetooth, pudiendo crear de esta manera una conexión bidireccional punto a punto entre dos módulos, permitiendo transferir y recibir información (Biendicho Lletí, 2015, pág. 26).

Conexiones

El módulo Bluetooth HC-05 cuenta con los siguientes seis pines de conexión (ITead Studio , 2010) :

- KEY: Por medio de la puesta en alto de este pin, podemos modificar los parámetros del módulo Bluetooth.
- RXD: Pin por donde se recibirán los datos transmitidos por la placa Arduino.
- TXD: Pin de transmisión de datos desde el módulo Bluetooth hacia la placa Arduino.

- 5.0: Pin de alimentación de 5 voltios del módulo Bluetooth.
- 3.3: Pin de alimentación de 3.3 voltios. El módulo Bluetooth puede ir conectado a cualquiera de estas dos alimentaciones.
- GND: Conexión a tierra.

MIT App Inventor

Además de la tarjeta electrónica que será el controlador del dispositivo y módulo Bluetooth que transmitirá las señales a los actuadores, es importante definir cuál será la manera en la que el usuario podrá comunicarse a la placa de control.

Existe un sinnúmero de aplicaciones dedicadas a establecer la comunicación Bluetooth entre Arduino y Android, todas disponibles en Internet. Sin embargo, para efectuar la comunicación entre el dispositivo móvil y el mecanismo de posicionamiento esférico, se desarrolló una aplicación propia a través del software de desarrollo online MIT App Inventor, puesto que es necesario modificar la interfaz de acuerdo con los requerimientos del sistema sin grandes complicaciones.

Con MIT App Inventor (ver Figura 12), se pueden crear aplicaciones fácilmente gracias a su programación visual, debido a que ofrece un sistema de conexión de bloques que facilita la codificación. Los requisitos de uso de esta plataforma son contar con un equipo de cómputo, tener una cuenta Google y un navegador Web como Chrome o Mozilla Firefox

Figura 12

MIT App Inventor



Conclusiones

Cada uno de los conceptos ilustrados a lo largo de este capítulo, servirán como base para el correcto desarrollo de las siguientes fases del proyecto.

En la Fase 1, que corresponde al desarrollo del concepto, se deberá definir el número de eslabones, movilidad y actuadores del mecanismo de posicionamiento esférico, además del material adecuado para la manufactura del prototipo.

Durante la Fase 2, para el ensamble y control del sistema, la placa electrónica Arduino Uno, el módulo Bluetooth HC-05 y el desarrollo de la aplicación en Android, garantizarán el correcto funcionamiento de cada uno de los eslabones, de tal manera que para la Fase 3, se buscará únicamente mejorar el funcionamiento del sistema.

La selección de los actuadores, y el material de manufactura, así como la descripción de sus características, no se ha incluido en este capítulo, sin embargo, durante la generación del concepto se presenta a detalle el proceso de selección utilizado.

Capítulo 3 Diseño y ensamble de mecanismo de posicionamiento esférico

Introducción

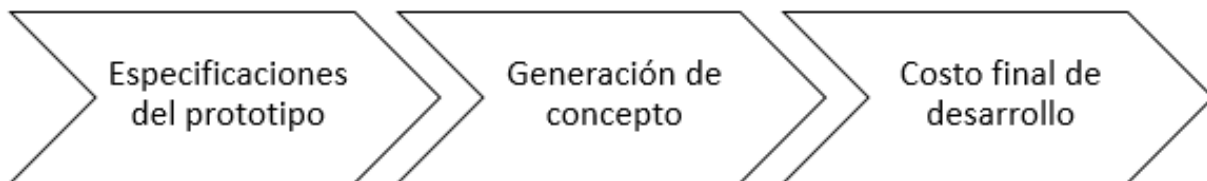
En este capítulo, se abordará el desarrollo del concepto, y el diseño a detalle que incluye la impresión en 3D de la parte mecánica y la elaboración de la placa electrónica de control.

Un concepto, es una descripción de la forma, función y características de un producto, y por lo general está acompañado por un conjunto de especificaciones y una justificación económica del mismo (J. Cañas & D. Novak, 2009) (Ulrich & Eppinger, 2009, pág. 112). De esta manera, el desarrollo del concepto puede dividirse en tres etapas (ver Figura 13):

- Especificaciones del prototipo
- Generación del concepto
- Costo final de desarrollo

Figura 13

Etapas del desarrollo del concepto.



De esta manera, se expondrán las especificaciones eléctricas, mecánicas y lógicas del prototipo, así como el diseño de cada uno de los eslabones. Se incluye además el costo final de desarrollo.

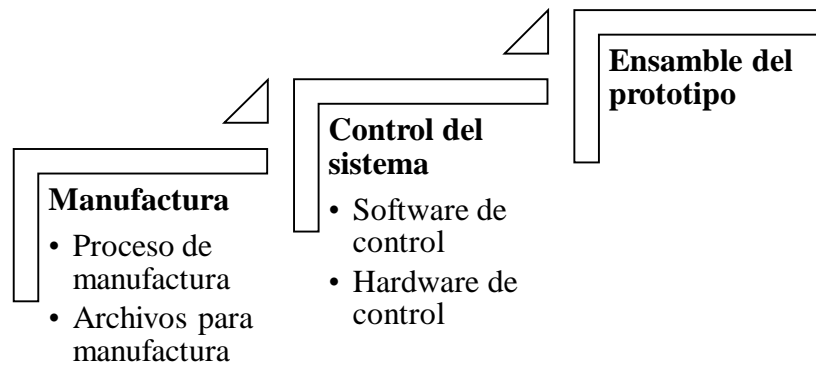
Por otro lado, en la fase de diseño de detalle se establece un plan de proceso y se rediseñan algunas piezas a fin de mejorar su manufactura. La salida de esta fase comprende la *documentación de control* del producto, es decir, los archivos necesarios para la manufactura, el

hardware y software que controlarán el sistema, las especificaciones de las piezas compradas, los planes de proceso para la fabricación y el ensamble del producto.

La Figura 14, muestra el flujo de los procesos que determinan la fase dos del proyecto. De esta manera, el objetivo principal del diseño de detalle es obtener el prototipo, ensamblando cada uno de los sistemas que lo componen, para dar paso a la última fase del desarrollo de productos que consiste en realizar pruebas y refinamiento al prototipo obtenido.

Figura 14

Procesos que componen la fase del diseño de detalle



Especificaciones del prototipo

Cada uno de los objetivos establecidos en la fase de planeación, fueron traducidos a lenguaje técnico para establecer las métricas que determinan las especificaciones del prototipo. Sin embargo, no todas las especificaciones se definieron en el inicio del proyecto; fue necesario revisar características, identificando las medidas físicas, funcionalidades y cualidades a lo largo de todo el proceso de desarrollo, describiendo de esta manera todos los rasgos esenciales, evitando establecer un exceso de especificaciones para cubrir con los requisitos establecidos por la Secretaría de la Función Pública en la elaboración de especificaciones técnicas (Secretaría de la Función Pública, 2017).

Las especificaciones técnicas del prototipo dan una descripción general de las características físicas tales como:

- Dimensiones: Forma, tamaño, medidas, masa total, volumen, etc.
- Material, texturas, color.
- Software necesario para su funcionamiento
- Tensión, corriente, potencia, velocidad.

En la Tabla 1, se muestran las especificaciones técnicas del mecanismo de posicionamiento esférico para el desplazamiento de una cámara IP.

Tabla 1

Especificaciones técnicas del prototipo

No.	Métrica	Unidad	Valor
1	Cámara Wi-Fi	Q7 HD	
2	Capacidad de almacenamiento	GB	8
3	Color	Transparente/Gris	
4	Conectividad cámara/dispositivo móvil	LAN	
5	Conectividad microcontrolador/dispositivo móvil	Bluetooth	
6	Corriente	mA	71
7	Costo unitario de manufactura	Pesos	2622
8	Forma	Mecanismo semiesférico	
9	Grados de Libertad	GDL	3
10	Masa total	G	221.14
11	Material	Acrílico/PLA	
12	Medidas	Cm	30x30x15
13	Potencia	W	0.355
14	Resolución de avance	Grados	5
15	Resolución de video	Pixeles	640x480

16	Tiempo máximo de grabación	Min	30
17	Tiempo requerido para el montaje de cámara	Seg	10
18	Versiones de Android compatibles con el software	> 4.2.1	
19	Voltaje	VDC	12
20	Volumen	cm ³	276.82

Puesto que los eslabones del mecanismo de posicionamiento esférico fueron impresos en PLA, un polímero biodegradable, es necesario considerar parámetros importantes como la humedad y la temperatura para la operación y el almacenamiento del prototipo.

En cuanto a las condiciones de operación, se recomienda no manipular el prototipo en temperaturas superiores a los 40°C. Las especificaciones para las piezas impresas en PLA establecen que pueden ser manipuladas sin presentar complicaciones a temperaturas inferiores a los 60°C (Impresoras 3D, 2018), sin embargo, el aumento de temperatura ocasionado por acción de los motores incrementa la temperatura a la que se exponen los eslabones, por lo que la temperatura de operación se limita a 40°C para un funcionamiento óptimo.

Las condiciones óptimas bajo las cuales se debe almacenar el prototipo sin acortar su vida útil se muestran a continuación (Ultimaker, 2017):

- El prototipo deberá ser almacenado en un lugar fresco y seco a temperaturas entre -20°C y 30°C.
- Evitar la exposición directa a la luz del sol.
- Minimizar la captación de humedad conservándolo en un embalaje cerrado.

Generación de concepto

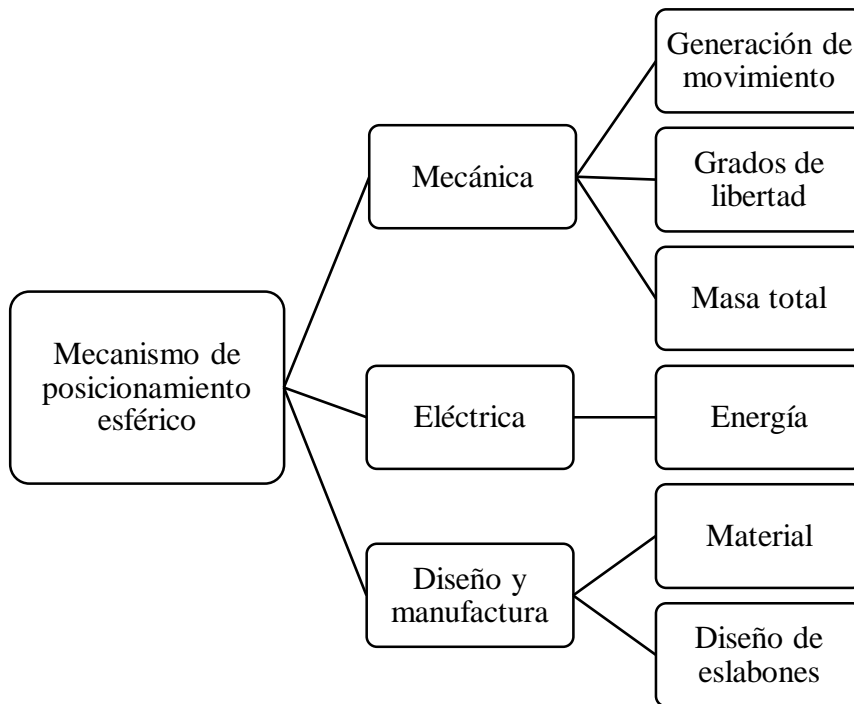
El proceso de generación de concepto implica entender el problema general y descomponerlo en subproblemas que puedan atenderse por separado, para una mejor solución del caso.

En el desarrollo del mecanismo de posicionamiento esférico para el desplazamiento de una cámara IP, se encuentran involucradas cinco áreas de la mecatrónica: mecánica, eléctrica, programación, diseño y manufactura. Por lo tanto, para un buen desarrollo del concepto, se dividió el problema general en subproblemas de acuerdo con cada una de las áreas que este comprende, tal como puede observarse en la Figura 15.

Para un óptimo desarrollo de la metodología, el orden adecuado de solución de los problemas se planteó de la siguiente manera:

Figura 15

Áreas de la mecatrónica involucradas en el desarrollo del prototipo



- Masa total
- Grados de libertad
- Generación de movimiento

- Diseño de eslabones
- Material
- Energía

Masa total

El prototipo final del mecanismo de posicionamiento esférico deberá ser capaz de poder adaptarse a cascos de uso personal, por lo tanto, uno de los parámetros más importantes a considerar durante el diseño es la masa total que debe tener, como protección para el usuario final.

A modo de indicación general, la masa máxima que se recomienda no sobrepasar, a la altura de la cabeza, en condiciones ideales de manipulación es de 7kg (Universidad de Málaga, 2006, págs. 1-2). Se entiende como condiciones ideales de manipulación las que incluyen una postura ideal para el manejo: espalda derecha, sin giros ni inclinaciones (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 1997).

Sin embargo, para situaciones de mayor protección donde la población expuesta son mujeres, jóvenes y adultos mayores, no se deberán manejar, a la altura de la cabeza, cargas superiores a 4.2 kg (esto supone reducir los 7kg de referencia por un factor de corrección de 0.6) (Universidad de Málaga, 2006, pág. 3).

Como se pretende ofrecer mayor protección al usuario final y cubrir la mayoría de la población, el límite teórico de masa total que deberá manejarse a la altura de la cabeza deberá ser de 4.2 kg.

Por lo tanto, limitaremos la masa total del mecanismo de posicionamiento esférico al 50% de la masa total permitida para cargas a la altura de la cabeza; es decir, la masa total del mecanismo no deberá exceder los 2.1kg.

Grados de libertad

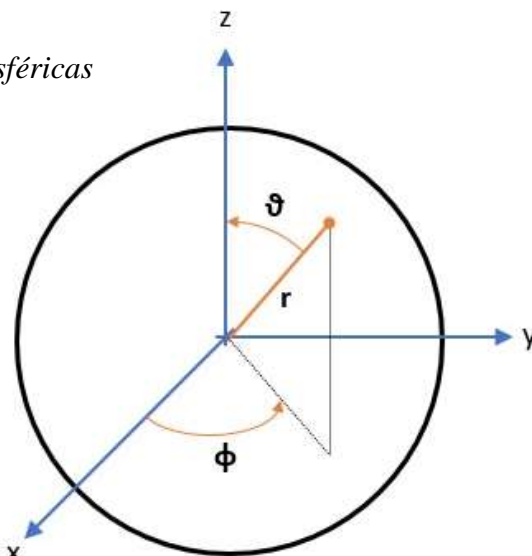
El principal parámetro por considerar en el movimiento del mecanismo, son los grados de libertad que éste debe tener.

Se sabe que la representación de un punto en el espacio tridimensional puede hacerse a través de coordenadas rectangulares (x, y, z) , coordenadas cilíndricas (r, ϑ, z) y coordenadas esféricas (r, ϑ, ϕ) . Dado que el posicionamiento de la cámara IP se efectuará sobre una superficie semiesférica, el sistema de coordenadas esféricas resultó ser el más adecuado para describir cualquier punto sobre el área de trabajo.

De acuerdo con la Figura 16, donde se muestra el sistema de coordenadas esféricas, la primera coordenada (r), es la distancia entre el origen y el punto P; ϑ es el ángulo que forma r con la vertical y ϕ es el ángulo que forma la proyección de r sobre el plano XY con el eje X (Universidad Politécnica de Madrid, 2006, págs. 21-22) (Herrera Escudero, 2014, pág. 4).

Figura 16

Sistema de coordenadas esféricas



La superficie de tra

x

de la cual se desplazará la

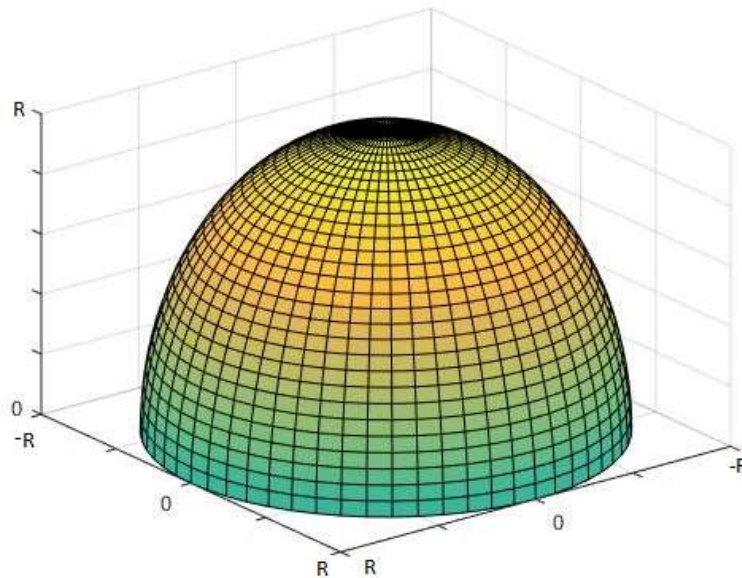
cámara IP, queda descrita en coordenadas esféricas de la siguiente manera:

- El radio r , constante, de valor R .

- El ángulo ϑ , variable, con valores $(0 \leq \vartheta \leq \pi/2)$
- El ángulo φ , variable, con valores $(0 \leq \varphi \leq 2\pi)$.

Figura 17

Superficie de trabajo del mecanismo de posicionamiento esférico



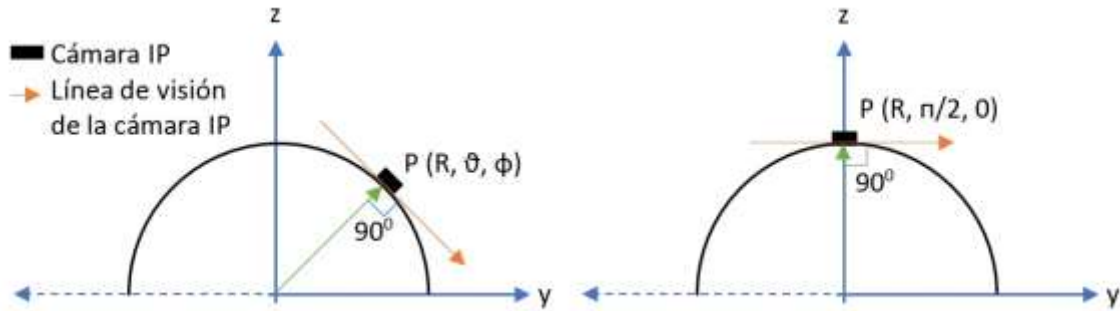
De esta manera, la representación de un punto en el área de trabajo queda perfectamente definido por r , ϑ y φ . Sin embargo, al tener r un valor constante, ϑ y φ serán los dos grados de libertad que permitirán situar a la cámara IP en cualquier punto de la superficie de trabajo.

No obstante, el movimiento de la cámara IP, para su óptimo funcionamiento, no queda completamente definido únicamente con 2 GDL. Si el movimiento se limita a los 2 GDL descritos anteriormente, la línea de visión de la cámara IP en cualquier punto P de la superficie semiesférica será siempre perpendicular al vector que une al origen con este, debido a que el dispositivo de grabación de video se mantendrá tangente a la superficie semiesférica ver Figura 18 a), de este modo, el enfoque de la cámara será adecuado únicamente cuando el punto P se encuentre en $(R, \pi/2, 0)$ tal como se observa en la Figura 18 b).

Con el objetivo de evitar que la línea de visión de la cámara IP no sea la apropiada, el efector final, tendrá un grado de libertad capaz de permitir, de manera manual, la corrección de la línea de visión de la cámara IP.

Figura 18

a) Cámara IP en la posición (R, ϑ, ϕ) b) Cámara IP en la posición $(R, \pi/2, 0)$

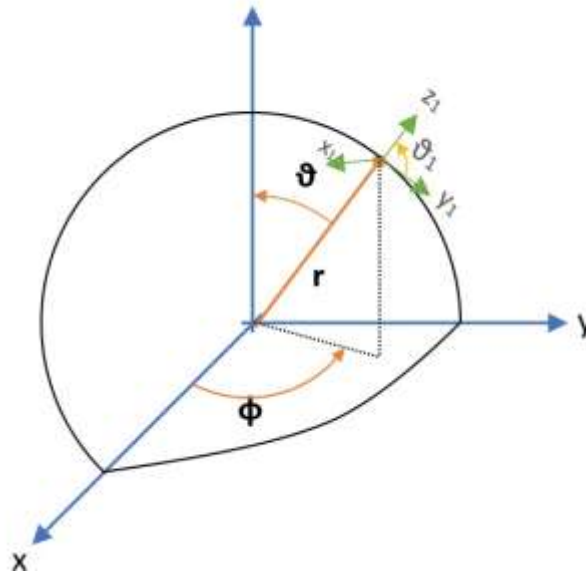


En la Figura 19, el sistema de referencias principal compuesto por (r, ϑ, ϕ) , donde el origen es el punto central de la circunferencia mayor de la superficie semiesférica, describirá cualquier punto sobre el área de trabajo del mecanismo. El punto P, pasa a ser el origen del sistema de referencias para el efector final. Dado que se pretende corregir la línea de visión de la cámara IP, el tercer grado de libertad es representado por la coordenada ϑ_1 , tomando en cuenta que el movimiento rotacional que podrá efectuar será en el intervalo de ángulos $(0 \leq \vartheta \leq \pi)$ para evitar colisiones con el área de trabajo del mecanismo.

De esta manera, con los tres grados de libertad (ϑ , ϕ , y ϑ_1) y sus respectivas restricciones, se garantiza que el posicionamiento de la cámara IP y la línea de visión de esta serán las apropiadas.

Figura 19

Definición del tercer grado de libertad del mecanismo de posicionamiento esférico.



Generación de movimiento

Cada uno de los grados de libertad descritos son definidos mediante ángulos, lo que justifica el uso de actuadores angulares para la generación de los movimientos requeridos.

En electrónica, los motores más utilizados para la generación de movimientos son los motores de pasos, los motores DC y los servomotores (López & Margni, 2003). Durante la selección de los actuadores más adecuados para la generación de los movimientos del mecanismo de posicionamiento esférico se consideraron las siguientes características técnicas:

- Control de posición
- Circuito driver
- Resolución
- Velocidad

- Vibraciones
- Voltaje de alimentación

La característica más importante por considerar es el control de posición, puesto que debemos garantizar al usuario final, que el mecanismo será capaz de alcanzar y mantenerse en la posición seleccionada a pesar de las perturbaciones que pueda sufrir el mecanismo.

Los motores de corriente continua (motores DC) son de los actuadores más comunes. Un motor de DC puede funcionar libremente en ambas direcciones, a pesar de que es muy fácil controlar su velocidad con pequeños cambios en el voltaje de alimentación, requieren de un circuito driver externo dado que no garantizan precisión en el control de posición ni en la detención (Llamas, 2016) (Verdugo Rojas, 2015).

Los servomotores, son en general un conjunto de cuatro cosas: un motor de corriente continua, un conjunto de engranajes, un circuito de control y un sensor de posición (Verdugo Rojas, 2015). La velocidad de un servomotor es relativamente baja puesto que se encuentra acoplado a un reductor. La principal desventaja de un servomotor es que no puede dar la vuelta completa, siendo su intervalo de desplazamiento habitual 180° de ida y vuelta. Sin embargo, proporcionan un control absoluto en posición y giro con una alta precisión (Creative Technologies Castilla, 2014).

En los motores paso a paso (también conocidos como stepper), el eje gira un ángulo fijo llamado “paso” que es controlado por un procesador. La rotación completa de un motor de pasos se divide en pasos equitativos, siendo estos normalmente 1.8, 3.6 o 7.2 grados. Los motores de paso a paso tienen un control de posición y velocidad total, sin embargo, no se pueden utilizar para tareas de rotación de alta velocidad (Salamaca Pachón & Daza Figueredo, 2009).

En la Tabla 2, se muestra una comparación de las principales características de los motores DC, los servomotores y los motores paso a paso. Las características pueden variar de acuerdo con el modelo particular de cada motor.

Tabla 2

Cuadro comparativo de las características de los motores DC, servomotores y motores paso a paso.

		Motor DC 1.5v a 5v	Servomotor MG995	Motor a pasos 17hs4401
Características	Velocidad con máxima eficiencia (rpm)	12400	50	2 000
	Precisión	Baja	Alta	Alta
	Tensión de alimentación (V)	1.5- 5	4.8- 6	12
	Resolución (pasos/rev)	--	500, 1000, 2000	200
	Vibraciones	Altas	Bajas	Altas
Control	Posición	Malo	Absoluto	Absoluto
	Velocidad	Malo	Absoluto	Absoluto
	Circuito driver	Externo	Integrado	Externo

De acuerdo con la información presentada, los motores de corriente continua, aunque son capaces de alcanzar altas velocidades, no son los ideales para ser seleccionados como actuadores en el prototipo, puesto que para el correcto funcionamiento del mecanismo se requiere alta precisión y un control óptimo de la posición que permita al usuario determinar en cualquier instante de tiempo la posición y la línea de visión de la cámara IP.

Por otro lado, los motores de paso, dada su alta precisión y su óptimo control de posición, representan una alternativa confiable como actuadores rotativos en el mecanismo, sin embargo, además de ser necesario un circuito driver externo para garantizar un buen control de posición, las altas vibraciones producidas por el funcionamiento del rotor adicionan inestabilidad al sistema, de no ser controladas. Otro factor importante para descartar el uso de motores de pasos como actuadores rotativos en el mecanismo de posicionamiento esférico, es la baja velocidad nominal que alcanzan respecto a los otros dos tipos de motores analizados.

De esta manera, los servomotores representan la opción más fiable en la selección de actuadores rotativos en el mecanismo de posicionamiento esférico, puesto que cuentan con un óptimo control de posición dado por un circuito driver interno, bajas vibraciones, ángulos de paso desde 0.72° hasta 0.18° y velocidades medias entre los tres tipos de motores analizados. El inconveniente con los servomotores es el intervalo de desplazamiento (180° ida y vuelta), ya que limita el movimiento de los eslabones, sin embargo, este intervalo de desplazamiento también resulta de utilidad para la prevención de colisiones en el mecanismo.

Diseño de eslabones

El eslabón más importante por considerar en el diseño del mecanismo es el eslabón fijo, debido a que su diámetro interno será lo que describa la semiesfera a través de la cual se desplazará la cámara IP.

Bastidor Debido a que se pretende que el mecanismo de posicionamiento esférico para el desplazamiento de una cámara IP sea, en un futuro, adaptable a cascos de protección, se consultó las medidas estándares de estos equipos de protección personal.

La Norma Oficial Mexicana NOM-115-STPS-2009 (Lozano Alarcón, 2009) y la Norma de Referencia NRF-058-PEMEX-2012 (Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y

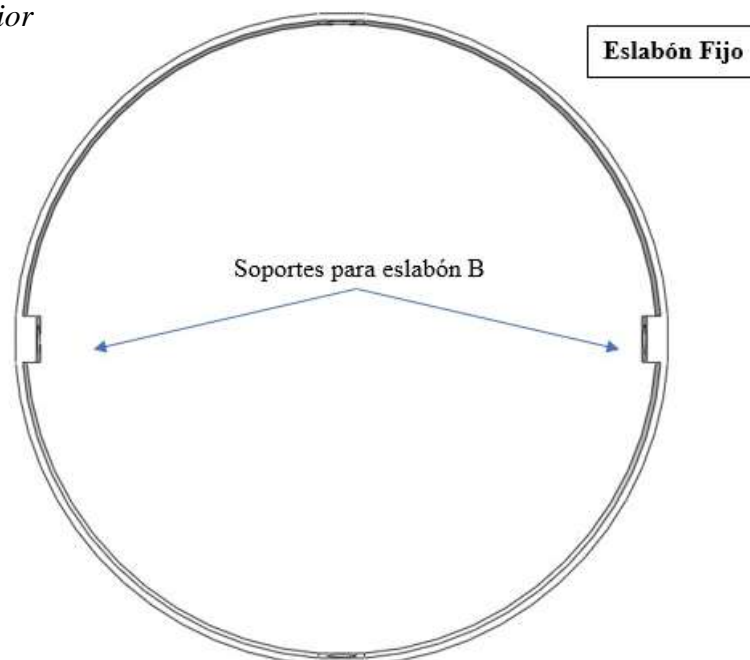
Organismos Subsidiarios, 2012) referente a los cascos de protección para la cabeza, establecen que, la suspensión de un casco de seguridad industrial debe tener una circunferencia igual a 56 cm (medida correspondiente a la suspensión sin la extensión del tafilete), es decir, un diámetro de 17.82 cm. Se manejará esta medida como límite inferior para el diámetro del mecanismo de posicionamiento esférico.

Se debe descartar el valor del diámetro expuesto (17.82 cm) dado que es esencial considerar el tamaño de la circuitería que controlará el movimiento de cada uno de los eslabones. Por esta razón, y tomando en cuenta que la tarjeta electrónica Arduino Uno ® es el elemento de mayor tamaño a utilizar en la circuitería, se fijará el diámetro interno del bastidor en 27.5 cm, seleccionando una tolerancia de ± 0.05 cm

La Figura 20, muestra la vista superior del bastidor. Puede observarse que se colocaron dos soportes de 2cm de ancho a 180° uno del otro, esto, al considerar la diferencia de los diámetros externos de los eslabones móviles A y B. Ésta diferencia se debe al hecho de que un

Figura 20

Bastidor. Vista superior

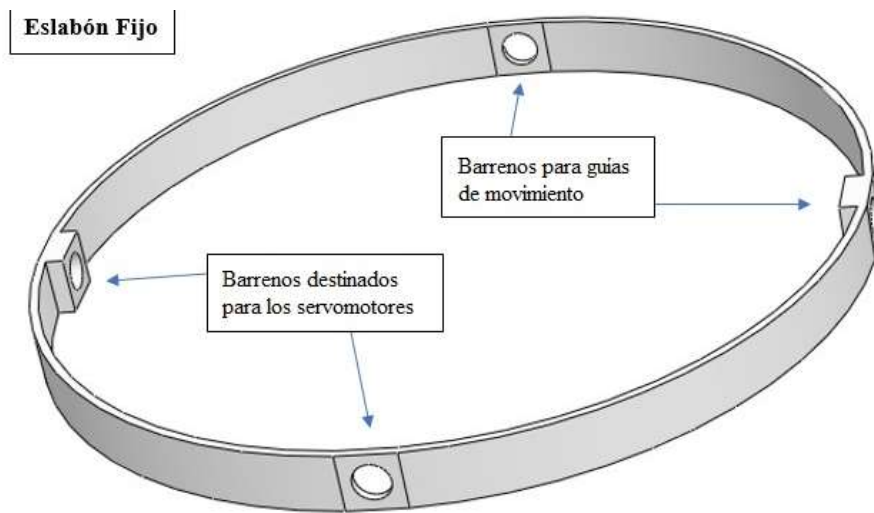


segmento del eslabón B se moverá dentro del eslabón A, por lo tanto, debemos garantizar que tendrá un área de trabajo adecuada, libre de colisiones.

Se colocaron cuatro barrenos a una distancia angular de 90° entre ellos, con la finalidad de unir los eslabones móviles A y B al bastidor. Es importante mencionar, que dos de esos cuatro barrenos tendrán el objetivo de dar paso a la flecha de los servomotores para la transmisión directa de movimiento y fuerza, mientras que los restantes tendrán la función de actuar como guías de movimiento (ver Figura 21).

Figura 21

Bastidor. Descripción de barrenos



Eslabón A En la Figura 22, se muestra una vista frontal del eslabón A (balancín A). La medida del diámetro externo de este miembro corresponde al diámetro interno del bastidor, esto, con el objetivo de conseguir una perfecta unión entre ambos eslabones.

El espacio localizado en la parte interna del eslabón A representa el camino por medio del cual se desplazará el eslabón B (balancín B).

Figura 22

Balancín A. Vista frontal

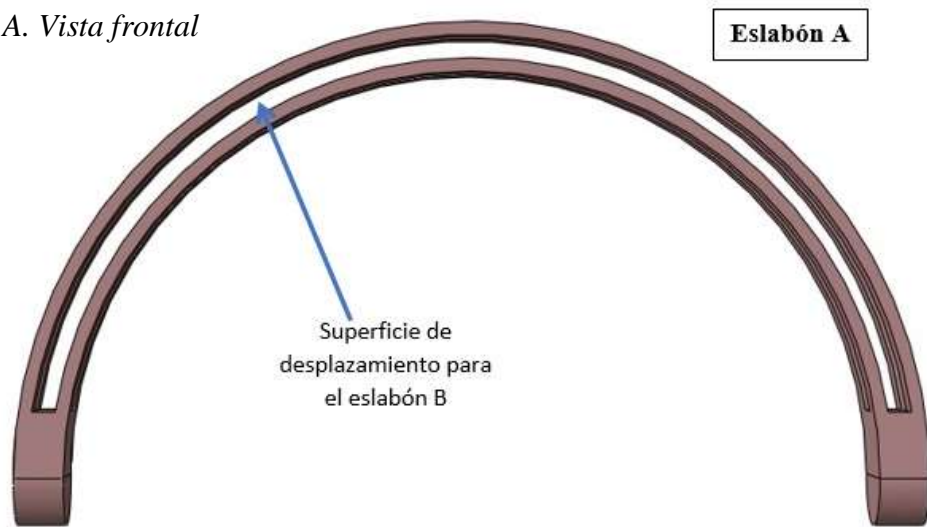
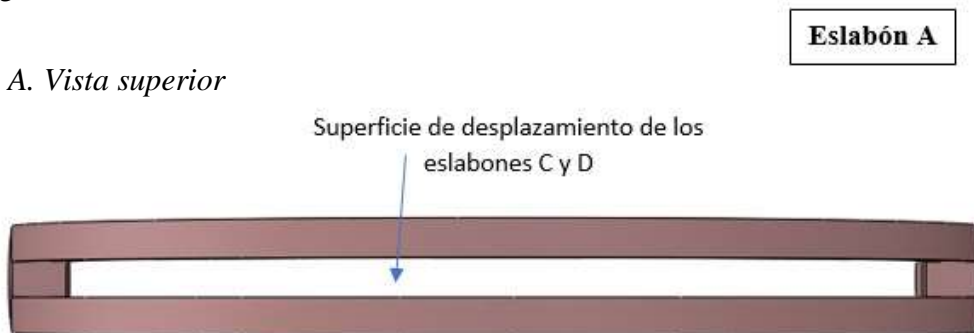


Figura 23

Balancín A. Vista superior



Como puede apreciarse en la vista superior del eslabón A (Figura 23), existe también una ranura que no está relacionada con el movimiento del eslabón B, sin embargo, permitirá que los eslabones C y D se muevan libremente, desplazando a la cámara IP.

Eslabón B El eslabón B , ver vista frontal en Figura 24, se desplazará dentro del eslabón A, razón por la cual las medidas de sus diámetros interno y externo fueron seleccionadas de acuerdo con la superficie de desplazamiento mostrada en la Figura 22.

Figura 24

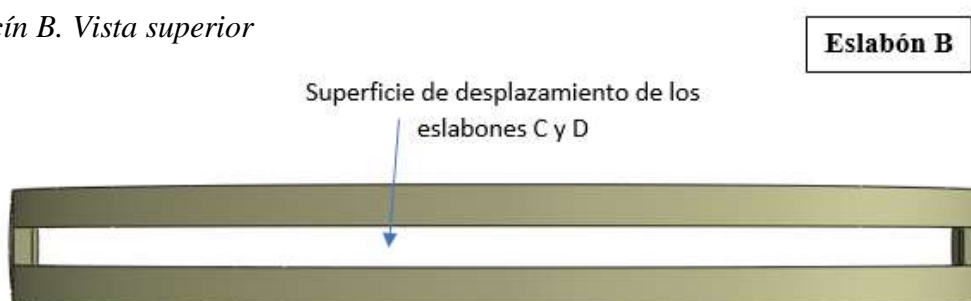
Balancín B. Vista frontal.



Nuevamente, desde la vista superior del eslabón B , Figura 25, puede apreciarse la ranura que permitirá el movimiento de los eslabones C y D para el desplazamiento de la cámara IP.

Figura 25

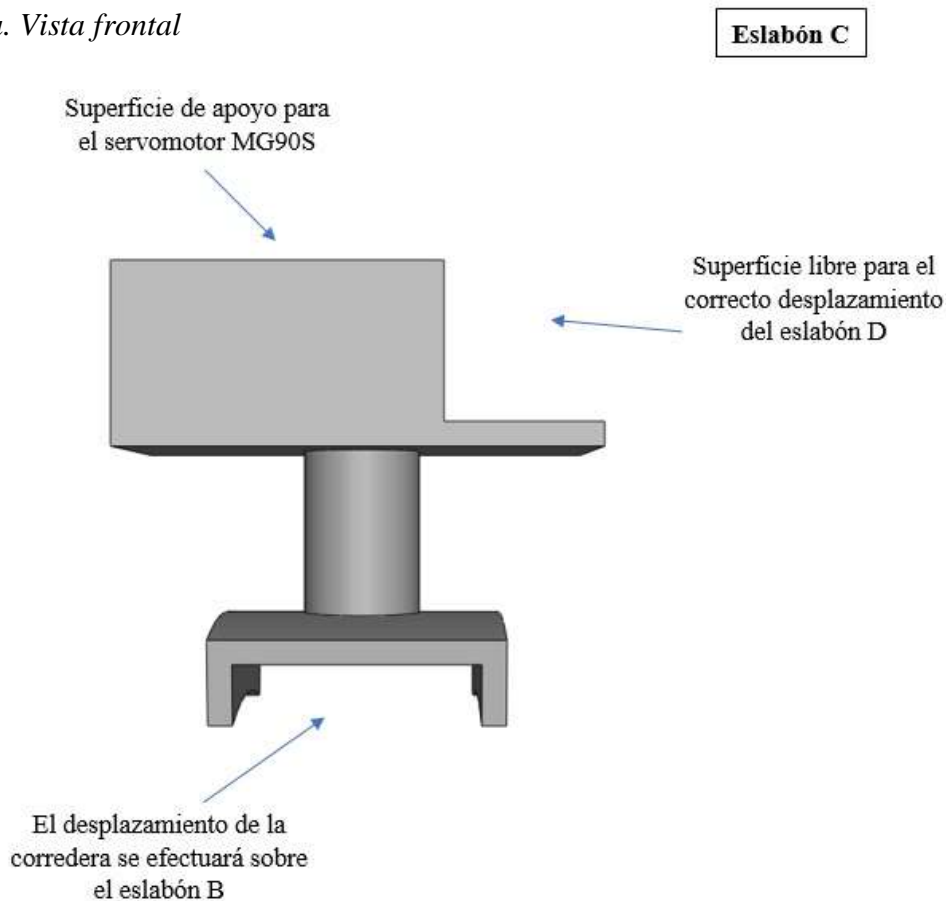
Balancín B. Vista superior



Eslabón C En la Figura 26, se muestra la vista frontal del eslabón C (denominaremos a este miembro como corredera). El desplazamiento de la corredera se efectuará sobre el eslabón B, de tal manera que su posición quedará determinada en cualquier instante de tiempo por la intersección marcada por los eslabones A y B.

Figura 26

Corredera. Vista frontal



El diseño de la parte superior de la corredera se eligió de esta manera, dado que en la esquina superior izquierda se colocará el servomotor MG90S que facilitará el movimiento del efector final del mecanismo (eslabón D), el cual corregirá manualmente la línea de visión de la cámara IP. El diseño es asimétrico, puesto que en la esquina superior derecha se ha dejado un espacio libre que permitirá al eslabón D desplazarse sin presentar colisiones.

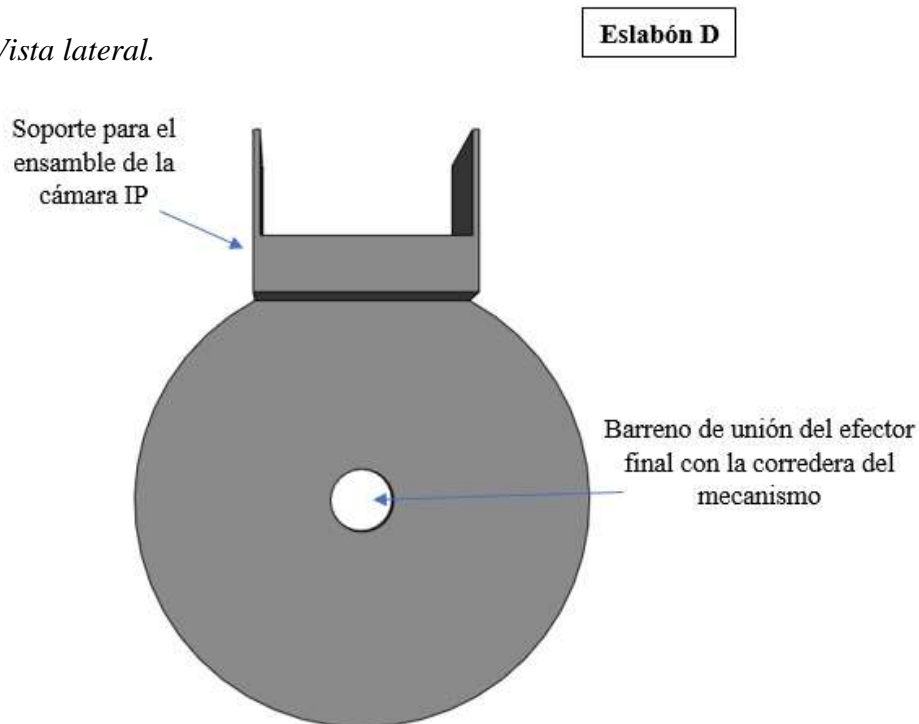
La parte media de la corredera es el fragmento del eslabón que marcará la intersección de los eslabones A y B.

Eslabón D El eslabón D, que llamaremos efector final, es el destinado a corregir la línea de visión de la cámara IP. Tendrá un movimiento de rotación pura sobre su eje.

En la Figura 27, se muestra una vista lateral del efector final. El barreno ubicado en el centro del disco permitirá que el servomotor colocado sobre la superficie de la corredera transmita fuerza y movimiento al efector final.

Figura 27

Efector final. Vista lateral.



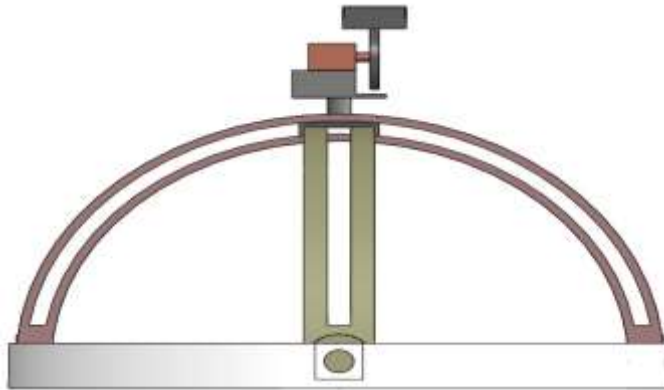
El soporte ubicado sobre el disco permitirá el ensamble de la cámara IP Q7 HD sobre el mecanismo de posicionamiento esférico.

Ensamble de eslabones

La Figura 28 muestra la vista frontal del mecanismo de posicionamiento esférico. Se ha colocado una representación conceptual del servomotor MG90S sobre la corredera para poder ensamblar el efector final al mecanismo.

Figura 28

Ensamble del mecanismo de posicionamiento esférico. Vista frontal



En el estudio de movimiento del mecanismo con el software SolidWorks®, se alcanzaron diferentes puntos sobre la superficie semiesférica descrita por los eslabones, con el fin de comprobar que no existen puntos muertos de visión para el desplazamiento de la cámara IP.

La Figura 29 muestra la vista superior de posiciones arbitrariamente elegidas para cada uno de los balancines, con el fin de desplazar a la cámara IP sobre la superficie semiesférica.

Figura 29

Diferentes posiciones alcanzadas por el mecanismo de posicionamiento esférico



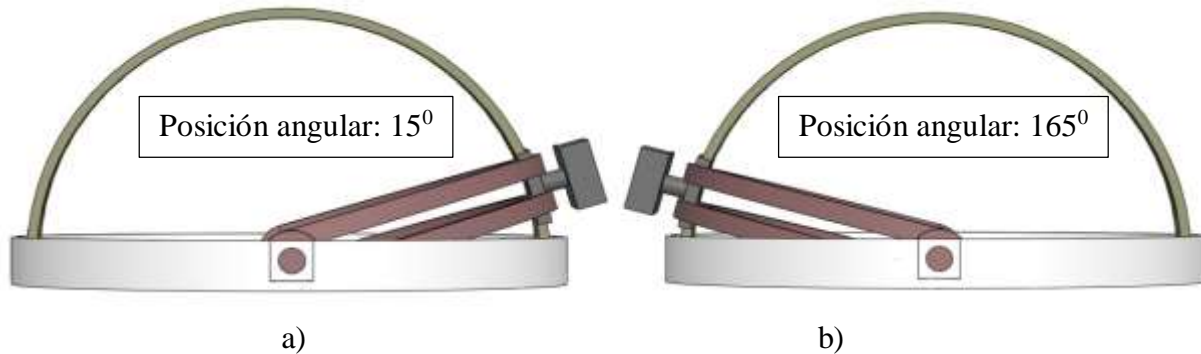
Análisis de movimiento

El siguiente aspecto por verificar es el intervalo de posiciones alcanzadas por cada uno de los balancines, puesto que, como ya se mencionó anteriormente, los servomotores brindan un intervalo de movimiento de (0,180) grados.

Al efectuar el análisis de movimiento en el eslabón A, se obtuvo que el intervalo de posiciones alcanzadas por este eslabón es (15, 165) grados (ver Figura 30), por lo que el rango de posiciones se limita a los 150 grados, lo que no impone complicaciones para el trabajo con servomotores.

Figura 30

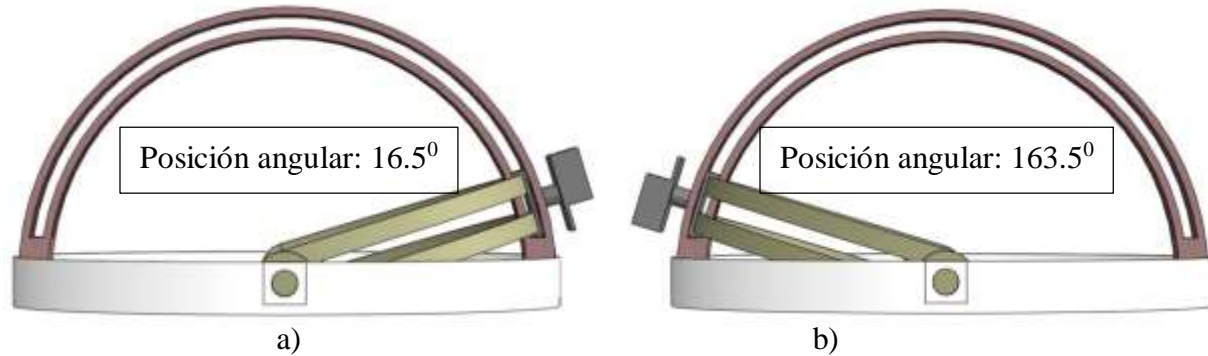
Intervalo de posiciones alcanzadas por el balancín A. a) ángulo Mín. b) ángulo Máx.



Asimismo, al efectuar el análisis sobre el eslabón B se obtuvo que el intervalo de posiciones obtenidas por este miembro es (16.5, 163.5) grados ,ver Figura 31, dando un rango de desplazamiento de 147 grados. Por lo tanto, el movimiento del balancín B tampoco supondrá complicaciones en el uso de servomotores.

Figura 31

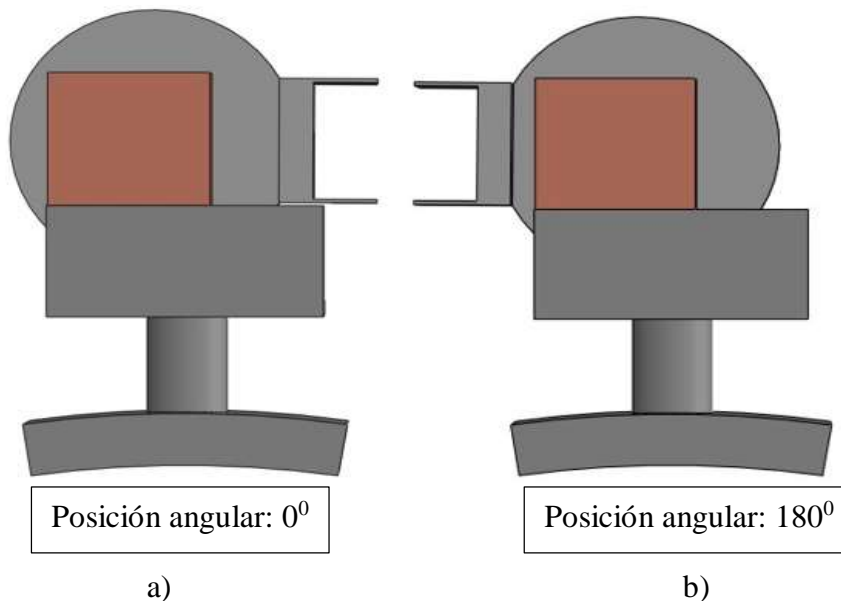
Intervalo de posiciones alcanzadas por el balancín B. a) ángulo Mín. b) ángulo Máx.



Finalmente, como se muestra en la Figura 32, el intervalo de posiciones alcanzadas por el efector final corresponde a (0,180) grados; intervalo que corresponde al máximo tolerado por los servomotores.

Figura 32

Intervalo de posiciones alcanzadas por el efector final. a) ángulo Mín. b) ángulo Máx.



El diseño de los eslabones y los actuadores seleccionados, permitirán el desplazamiento libre de colisiones de la cámara IP sobre la superficie semiesférica descrita por el diámetro

interno del bastidor, de la misma manera, el efector final es capaz de corregir la línea de visión del dispositivo de grabación.

Análisis de los grados de libertad

Es necesario comprobar que el número de grados de libertad inicialmente planteado es el mismo que se obtiene con el diseño de los eslabones.

Se aplicará la ecuación de Kutzbach-Glúeber (Ecuación 1) al mecanismo sin considerar el efector final.

L : número de eslabones=3 (Bastidor, balancín A, balancín B)

La unión de cada uno de los balancines con el bastidor corresponde a un par de revolución, puesto que los balancines describen un movimiento rotacional puro, por lo tanto, cuentan con un grado de libertad cada una. De tal manera que:

p_1 : Número de juntas con un solo grado de libertad: 2

$p_2 = p_3 = p_4 = p_5 = 0$, el mecanismo no cuenta con juntas de más de un grado de libertad.

Por lo tanto, la movilidad del mecanismo, sin considerar al efector final, es igual a 2.

El efector final del mecanismo cuenta con un grado de libertad, descrito por el movimiento rotacional puro transmitido del servomotor el centro del disco.

Por lo tanto, el diseño del mecanismo de posicionamiento esférico cumple con los 3 GDL propuestos inicialmente.

Material

Existe actualmente una gran variedad de materiales para emplear en la técnica de modelado por deposición fundida en manufactura aditiva. Podemos encontrar en el mercado, rollos de filamento de materiales como: PLA (poliácido láctico), ABS (acrilonitrilo butadieno

estireno), HIPS (poliestireno de alto impacto), nylon, PVA (acetato de polivinilo), fibra de carbono y polipropileno, por mencionar algunos (López Conde, 2016).

No obstante, para la manufactura del prototipo perteneciente al mecanismo de posicionamiento esférico, los materiales que cumplen con características tales como: rigidez, capacidad de mecanizar, estabilidad y bajo costo, son el poliácido láctico y el acrilonitrilo butadieno estireno. Es importante verificar también características como toxicidad, resistencia a la humedad y densidad, para poder seleccionar entre estos dos materiales al más adecuado para la manufactura.

El poliácido láctico es un polímero constituido por moléculas de ácido láctico derivado del maíz, por lo que es permanentemente inodoro, claro, brillante, biodegradable y resistente a la grasa. Se caracteriza por tener buenas propiedades mecánicas en comparación con otros termoplásticos, así como presentar buenas propiedades de barrera frente a olores y sabores (Createbot, 2016).

Sin embargo, si se requiere mejorar sus propiedades, el PLA puede modificarse con agentes plastificantes o con otros polímeros.

El PLA es un material que se puede degradar en dióxido de carbono, agua y otras moléculas pequeñas en condiciones de compostaje, además, es biocompatible, lo que significa que no produce efectos tóxicos o cancerígenos en los tejidos locales (Valero- Valdivieso, Ortegón, & Uscategui, 2013). Otra de las ventajas de este material consiste en que el PLA permite ahorrar hasta 45% de energía para su producción, en comparación con los polímeros basados en petróleo.

Por otro lado, el ABS es un termoplástico derivado del petróleo con alta resistencia al impacto. El acrónimo se deriva de los tres monómeros utilizados para producirlo: acrilonitrilo,

butadieno y estireno. Los bloques de acrilonitrilo le proporcionan rigidez, resistencia a ataques químicos, estabilidad a altas temperaturas y dureza; los bloques de butadieno proporcionan tenacidad a cualquier temperatura y finalmente, los bloques de estireno aportan resistencia mecánica y rigidez (Massó Oller, 2015).

El ABS se caracteriza por ser un plástico duro y rígido con resistencia a la abrasión. Puede ser lijado, pulido, pintado y ensamblado dado que existen tratamientos que permiten suavizar la superficie de las capas para lograr un excelente acabado (Createbot, 2016).

Sin embargo, las emanaciones de gases se vuelven tóxicas en altas concentraciones, por lo que el ABS se ha clasificado como cancerígeno por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (Azimi, Zhao, Pouzet, Crain, & Stephens, 2016).

El ABS, supone una buena opción gracias a las propiedades mecánicas presentes en las piezas creadas con manufactura aditiva en la técnica de modelado por deposición fundida. Las piezas producidas con acrilonitrilo butadieno estireno, pueden ser manipuladas a temperaturas mayores a las que son producidas con políácido láctico, lo que da otro punto a favor del ABS, sin embargo, el principal y mayor problema de la manipulación de este material es la toxicidad que alcanza.

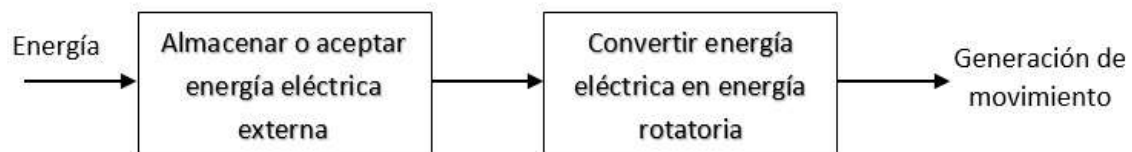
De esta manera, aunque el ABS ofrece mejores propiedades que el PLA, el material seleccionado para la manufactura del mecanismo de posicionamiento esférico es el políácido láctico, pues se debe minimizar el riesgo al que se expondrá toda persona que mantenga contacto con las piezas del mecanismo, comenzando con el productor hasta llegar al usuario final. De la misma manera, al ser el PLA un material biodegradable, reduce el impacto ambiental que el prototipo pueda ocasionar.

Energía

Para que los actuadores del mecanismo de posicionamiento esférico puedan funcionar, necesitan del suministro de una fuente de energía. La Figura 33, muestra el proceso de generación de movimiento. Puede observarse que se dispone de dos opciones en la obtención de energía: el almacenamiento y el suministro de energía externa.

Figura 33

Proceso de generación de movimiento



El aceptar energía eléctrica de una fuente fija (tomacorriente de pared), proporcionará al mecanismo de posicionamiento esférico un funcionamiento ininterrumpido, lo que facilita al usuario final la grabación de video en cualquier instante de tiempo. Sin embargo, al alimentar la circuitería del mecanismo con una fuente fija de voltaje, se elimina la característica del desplazamiento del prototipo en diferentes espacios, razón por la cual se rechaza el suministro de energía eléctrica por medio de una fuente fija.

De esta manera, la opción más adecuada es el almacenamiento de energía, el cual se efectuará por medio de un conjunto de tres baterías de litio recargables de 4.2 v a 8.8Ah conectadas en serie.

Es importante mencionar que, como trabajo a futuro, una mejor opción de alimentación para el prototipo consistirá en la captación de energía solar por medio de pequeñas células fotovoltaicas para su conversión a energía eléctrica, ya que además de eliminar el problema que supone la alimentación a través de un tomacorriente de pared, proporcionará una fuente de alimentación fija que permitirá el monitoreo ininterrumpido para el usuario final.

Costo Final De Desarrollo

En la Tabla 3, se muestra la lista total de materiales considerados para el ensamble del mecanismo de posicionamiento esférico, así como el costo unitario y el costo total. El dispositivo móvil que transmitirá las señales de control de posición de la cámara se ha omitido, ya que el software Bluetooth Serial Controller puede ser instalado y configurado en cualquier teléfono celular con una versión de Android 4.2.1 o superior.

Tabla 3.

Lista de materiales con estimación de costos

Componente	Cantidad	Costo unitario	Total
Cámara Q7 HD WiFi	1	600	600
Eslabón A	1	200	200
Eslabón B	1	200	200
Eslabón C	1	80	80
Eslabón D	1	60	60
Eslabón fijo	1	280	280
Módulo Bluetooth	1	260	260
Placa de acrílico 30x30x0.7 cm	1	200	200
Placa electrónica Arduino Uno	1	150	150
Baterías de 4.2 v 8800mAh	4	25	75
Servomotores MG995	2	160	320
Servomotor MG90S	1	60	60
Tornillos varios	20	1	20
Tuercas varias	20	0.5	10
Módulo L298N	1	50	50
		Total	2565

Manufactura

La Figura 34, muestra el proceso de manufactura para la obtención de un eslabón adecuado para el ensamble. Como se mencionó en capítulos anteriores, entre las principales desventajas de la manufactura aditiva se encuentra el tamaño limitado y el imperfecto acabado superficial de las piezas que se obtienen, razón por la cual es de gran importancia verificar que el diseño de cada uno de los eslabones podrá ser manufacturado sin problemas; además de ser necesario contar con un proceso de refinamiento del acabado final de las piezas impresas en 3D.

Figura 34

Proceso de manufactura de los eslabones del mecanismo de posicionamiento esférico



Verificación de las dimensiones de los eslabones.

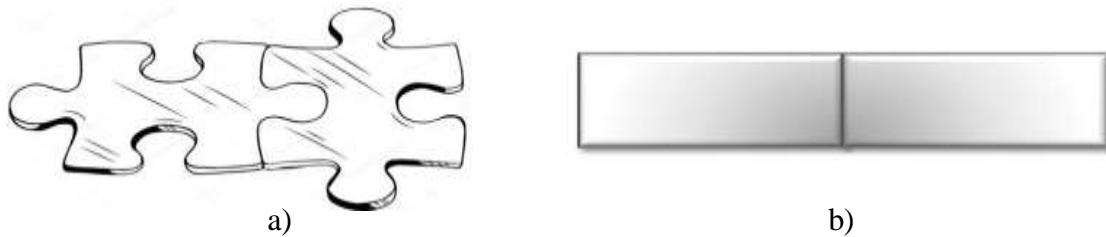
La impresora 3D que efectuará la manufactura de los eslabones, cuenta con un espacio de trabajo de 30 x 25 x 25 cm, por lo tanto, es necesario verificar que las dimensiones de los eslabones que conforman el mecanismo de posicionamiento esférico no excedan las dimensiones dadas por la impresora.

En los balancines, la dimensión máxima corresponde a la circunferencia externa de cada uno, es decir, 27.5 cm para el balancín A y 26.3 cm para el balancín B. De tal manera que el espacio requerido para la impresión de cada uno de estos eslabones es de 27.5 x 13.75 x 2 cm y 26.30 x 13.15 x 2 cm, respectivamente, lo cual se encuentra dentro del límite establecido por el espacio de trabajo de la impresora 3D.

Por otra parte, las dimensiones del bastidor (28.10 x 28.10 x 2 cm) exceden el límite definido por el espacio de trabajo de la impresora 3D, consecuentemente, es necesario seccionarlo para su ensamble posterior a la impresión. A fin de realizar esta tarea, se hizo referencia a la geometría descrita por las piezas de un rompecabezas, ver Figura 35 a), ya que de esta manera se maximiza el área de contacto entre las piezas a ensamblar en comparación con un seccionamiento vertical simple, Figura 35 b), proporcionando un mayor ajuste entre las mismas.

Figura 35

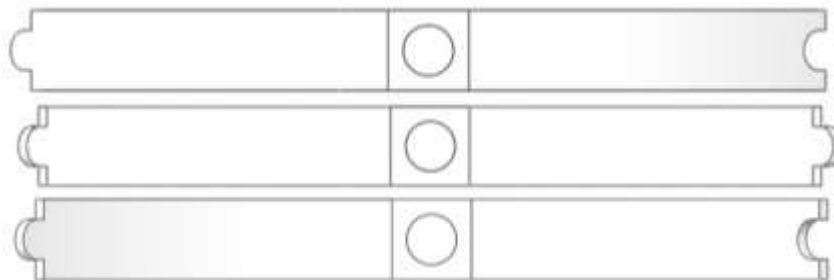
Opciones de seccionamiento a) Tipo rompecabezas b) Seccionamiento vertical



El bastidor fue seccionado en las cuatro piezas que se muestran a la Figura 36, siendo 15.05 x 15.05 x 2 cm las dimensiones de la pieza de mayor tamaño. De esta manera, se eliminó el conflicto de dimensiones presentado por el limitado espacio de trabajo de la impresora 3D.

Figura 36

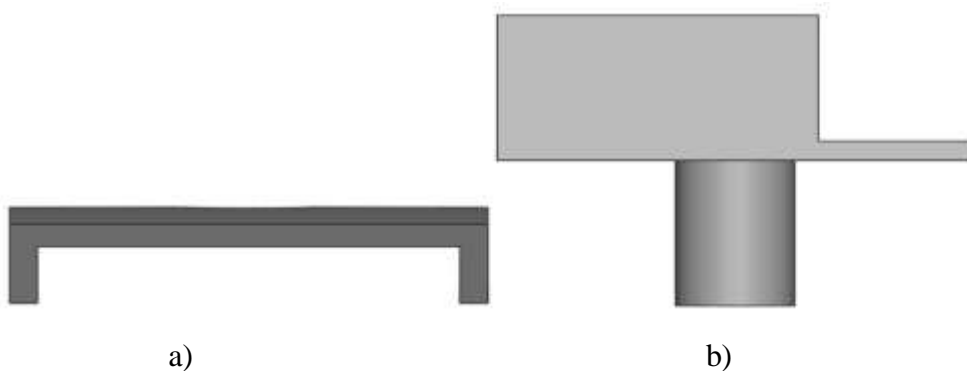
Piezas seccionadas del bastidor



Además del bastidor, otro eslabón que es necesario rediseñar para su manufactura es la corredera. El dimensionamiento de la corredera no representa un problema respecto al espacio de trabajo de la impresora 3D, sin embargo, puesto que se requiere ser posicionada sobre el balancín B y dentro de la ranura del balancín A, el limitado espacio que ofrece la intersección entre ambos balancines imposibilita en ensamble de la pieza completa, razón por la cual se optó por dividir la corredera original en dos secciones. La primera, que se muestra en la Figura 37 a), corresponde al arco que se situará sobre el eslabón B, y la segunda, corresponde al vástago que une al arco con el soporte para el actuador del efector final, ver Figura 37 b).

Figura 37

Seccionamiento de la corredera a) Arco móvil b) Soporte de servomotor



La corredera será la última pieza por ensamblar.

Finalmente, el efector final, debido a que es el eslabón más pequeño de todo el mecanismo, no requiere un rediseño, puesto que sus dimensiones no exceden el espacio de trabajo de la impresora 3D.

De esta manera, se eliminaron todos los posibles fallos que pudieran presentarse debido al limitado espacio de trabajo de la impresora 3D.

Generación del archivo para impresión

Los archivos de diseño de cada uno de los eslabones se guardan, por defecto, como tipo *pieza* con extensión *prt* o *sldprt*. Los archivos *sldprt* contienen imágenes tridimensionales de una parte específica que puede ser modificados con software de SolidWorks®.

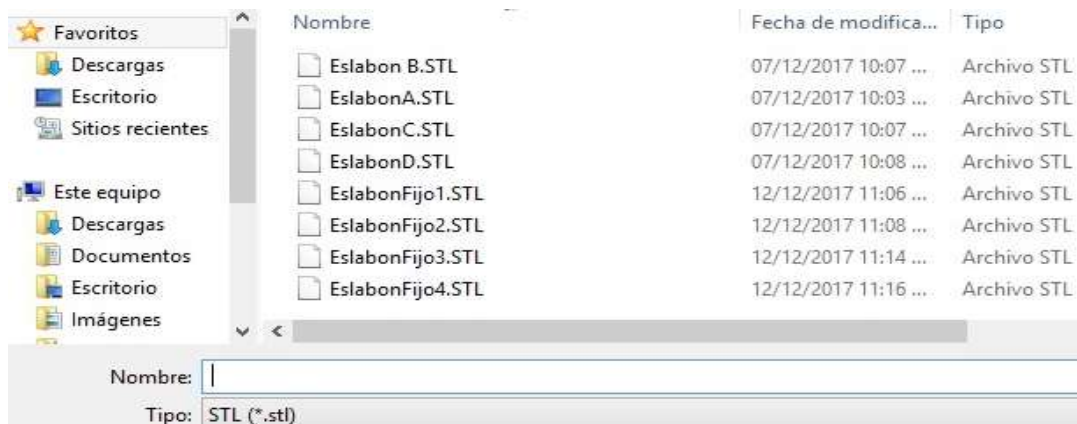
Sin embargo, para que la pieza pueda ser manufacturada con una impresora 3D, es necesario guardar el diseño final con extensión *stl* (“Standard Triangle Language”, por sus siglas en inglés). Un archivo *stl* actualmente es lo que se utiliza como input o archivo de entrada para las impresoras 3D; es la representación digital del modelo que se desea imprimir a partir de su versión CAD.

Los ficheros *stl* utilizan una malla de triángulos cerrada para definir la forma de un objeto. Cuanto más pequeños son estos triángulos, mayor es la resolución del fichero final y por lo tanto el tamaño del archivo. Al guardar un diseño CAD con la extensión *stl*, el software de diseño muestra el número de triángulos pertenecientes a la malla y el tamaño del archivo creado.

La Figura 38 muestra la lista de los archivos *stl* necesarios para la manufactura de los eslabones del mecanismo de posicionamiento esférico.

Figura 38

Archivos stl para impresión



Impresión 3D

Debido a que la impresora 3D de la Universidad Tecnológica de la Mixteca no se encuentra en condiciones óptimas de funcionamiento, se optó por manufacturar los eslabones del mecanismo de posicionamiento esférico a través de una empresa externa.

Los parámetros de impresión seleccionados para las piezas se muestran a continuación:

- Grosor de línea (boquilla): 0.4mm
- Densidad: 70% (sólido)
- Altura de capa: 0.2 mm

A pesar de que las dimensiones de las piezas obtenidas coinciden con las medidas originales del diseño, por el material de soporte y de relleno que la impresora 3D genera durante la impresión, es necesario refinar el acabado superficial de los eslabones.

Acabado superficial de las piezas obtenidas

Con el fin de eliminar las rebabas que se generan por el material de soporte y el material de relleno que extruye la impresora 3D y obtener un acabado superficial fino, fue preciso lijar toda la superficie de los eslabones.

En zonas donde las rebabas o grumos superficiales excedían los 2mm de espesor, se utilizó una lija metálica N^o 80, a fin de tener un desbaste mayor en menor tiempo. Después de eliminar las rebabas y para obtener un acabado superficial uniforme, se aumentó gradualmente el número de lija manipulada. Es decir, se utilizó lijas N^o 150, 180, 220 y finalmente 400.

Control del sistema

Para que los eslabones efectúen los movimientos propuestos, es preciso diseñar el control de movimiento de los actuadores siguiendo las indicaciones que el usuario final envía a través de su dispositivo móvil mediante Bluetooth.

Para mejor comprensión del texto, se dividió el control del sistema en dos partes: software de control, que incluye la lógica de programación del control de los actuadores y la generación de la aplicación con MIT App Inventor para la transmisión y recepción de datos de la placa electrónica y la cámara Wi-Fi al dispositivo móvil; y el hardware de control, que se refiere al diagrama eléctrico del sistema.

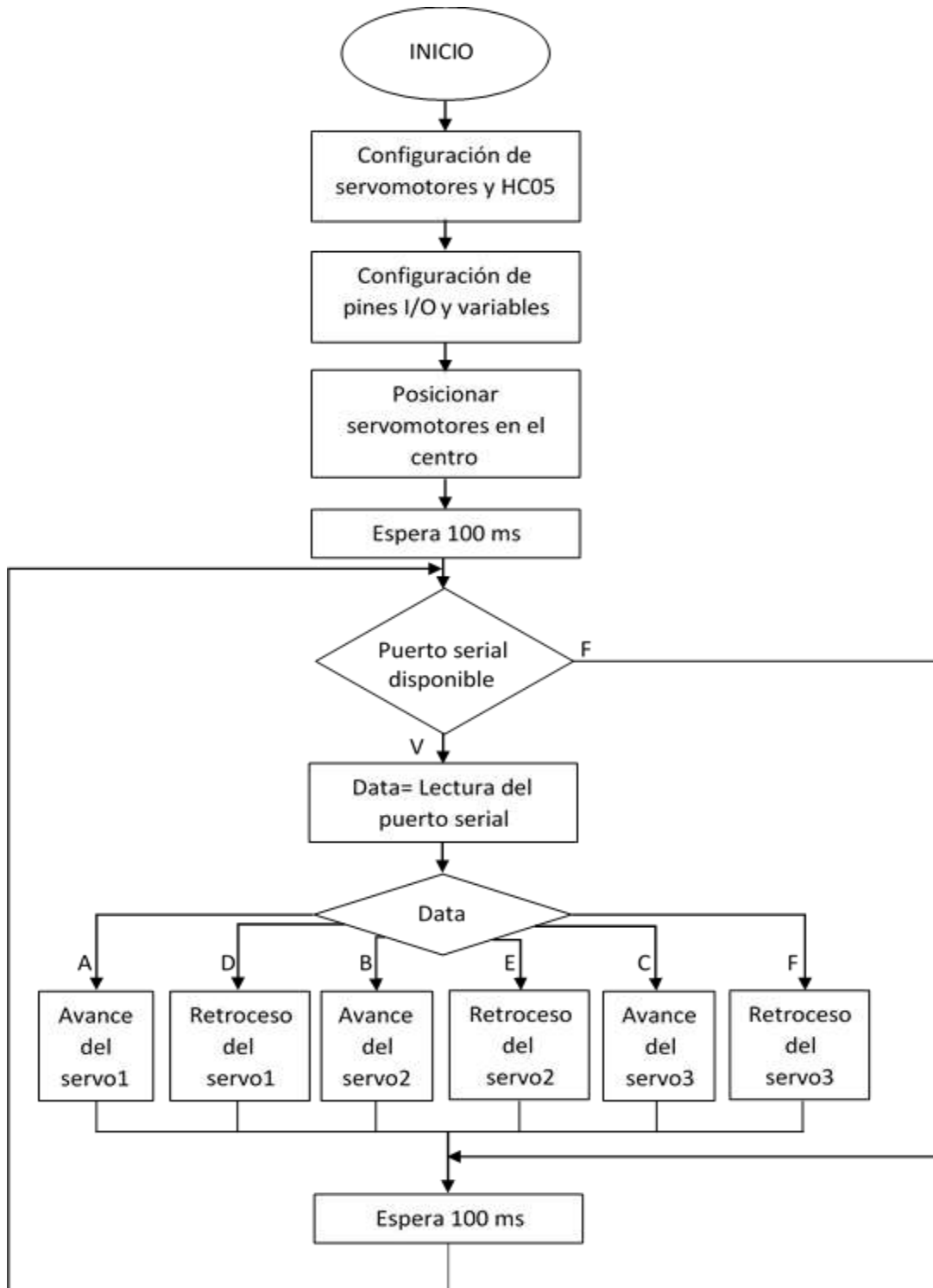
Software de control.

El software de control se divide en dos partes: la lógica de programación para la recepción serial del código ASCII enviado por el dispositivo Android a través de Bluetooth para accionar a los actuadores y el desarrollo de la aplicación Android que permite tanto el envío del código ASCII a la tarjeta Arduino a través del protocolo de comunicación Bluetooth, la imagen captada por la cámara Wi-Fi mediante un servidor FTP (*"File Transfer Protocol"*, por sus siglas en inglés).

Lógica de programación En la Figura 39, se muestra el diagrama de flujo general de los procesos a seguir para el control del mecanismo de posicionamiento esférico. La configuración de los servomotores y el módulo HC-05, se refiere a la creación de objetos que puedan ser manipulados a través de la placa Arduino Uno®.

Figura 39

Diagrama de flujo de la función principal



El posicionamiento al centro de todos los servomotores se realiza antes de las repetidas iteraciones de lectura del puerto serial con el fin de tener el control de la posición de cada uno de los actuadores en cualquier instante de tiempo.

La variable *Data* es el valor ASCII enviado vía Bluetooth por el usuario, a través del dispositivo Android, que indicará el avance o retroceso de alguno de los tres actuadores. La lectura del buffer de entrada se ejecuta repetidamente cada 100 ms de manera indefinida.

La Figura 40, muestra el diagrama de flujo de la función de *avance*; como entrada, se recibe el número del servomotor a mover.

El ángulo máximo contiene la posición máxima que el servomotor puede alcanzar. Si el ángulo máximo aún no se ha alcanzado, la posición se incrementa en cinco grados cada vez que el usuario lo indique. Cada cambio en la variable posición del servomotor, se ve reflejada en el movimiento del actuador.

Antes de volver a la función principal, se ejecuta un delay de 100ms.

La Figura 41, muestra el diagrama de flujo de la función *retroceso*, al igual que en la función *avance*, se recibe como entrada el número de servomotor a mover.

El ángulo mínimo, indistinto para los tres servomotores, determina que tanto puede retroceder el actuador. Si la posición del servomotor es mayor al ángulo mínimo, se decrementará en cinco grados, tanto como el usuario lo indique.

Se retorna a la función principal después de 100ms.

Figura 40

Diagrama de flujo de la función avance

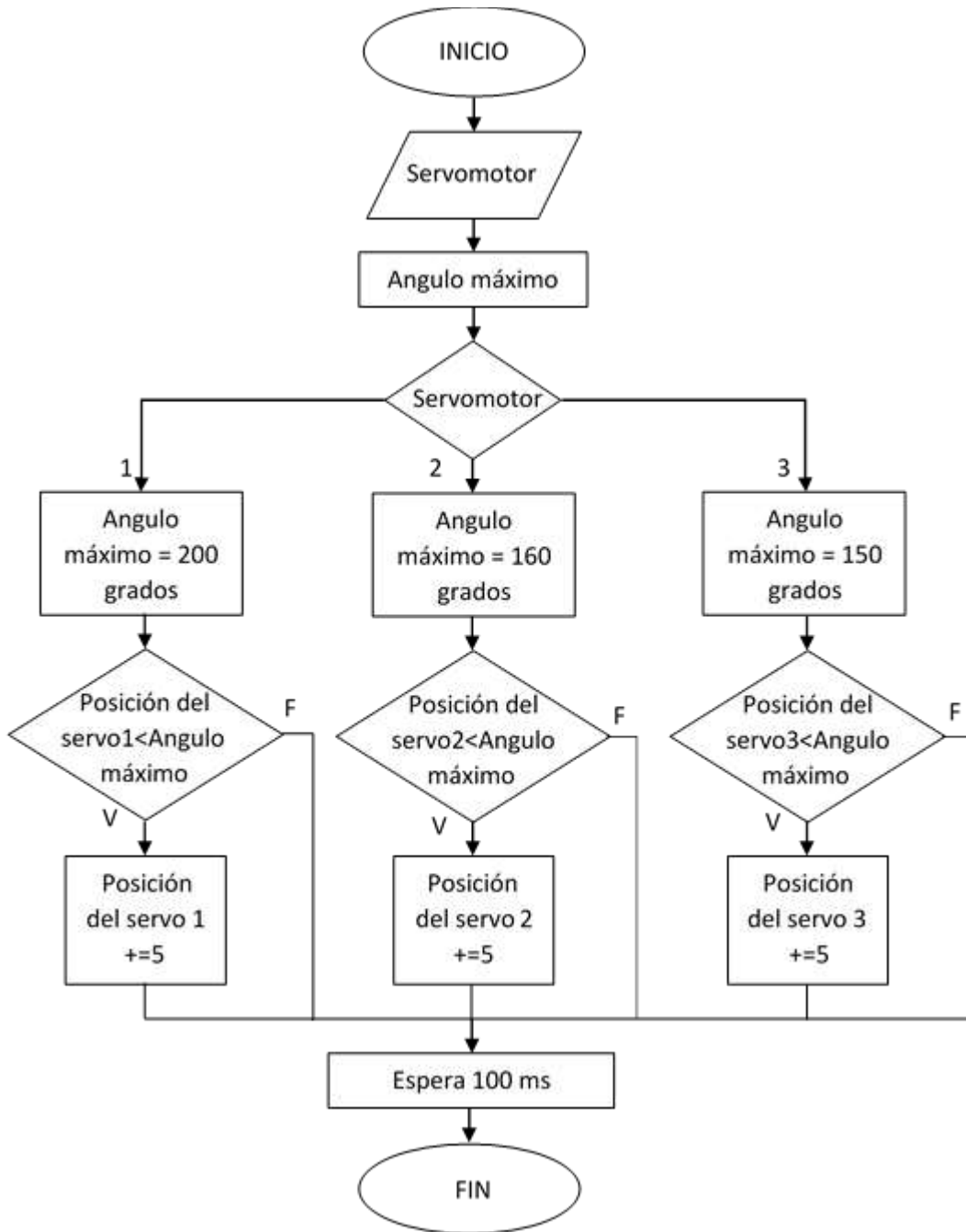
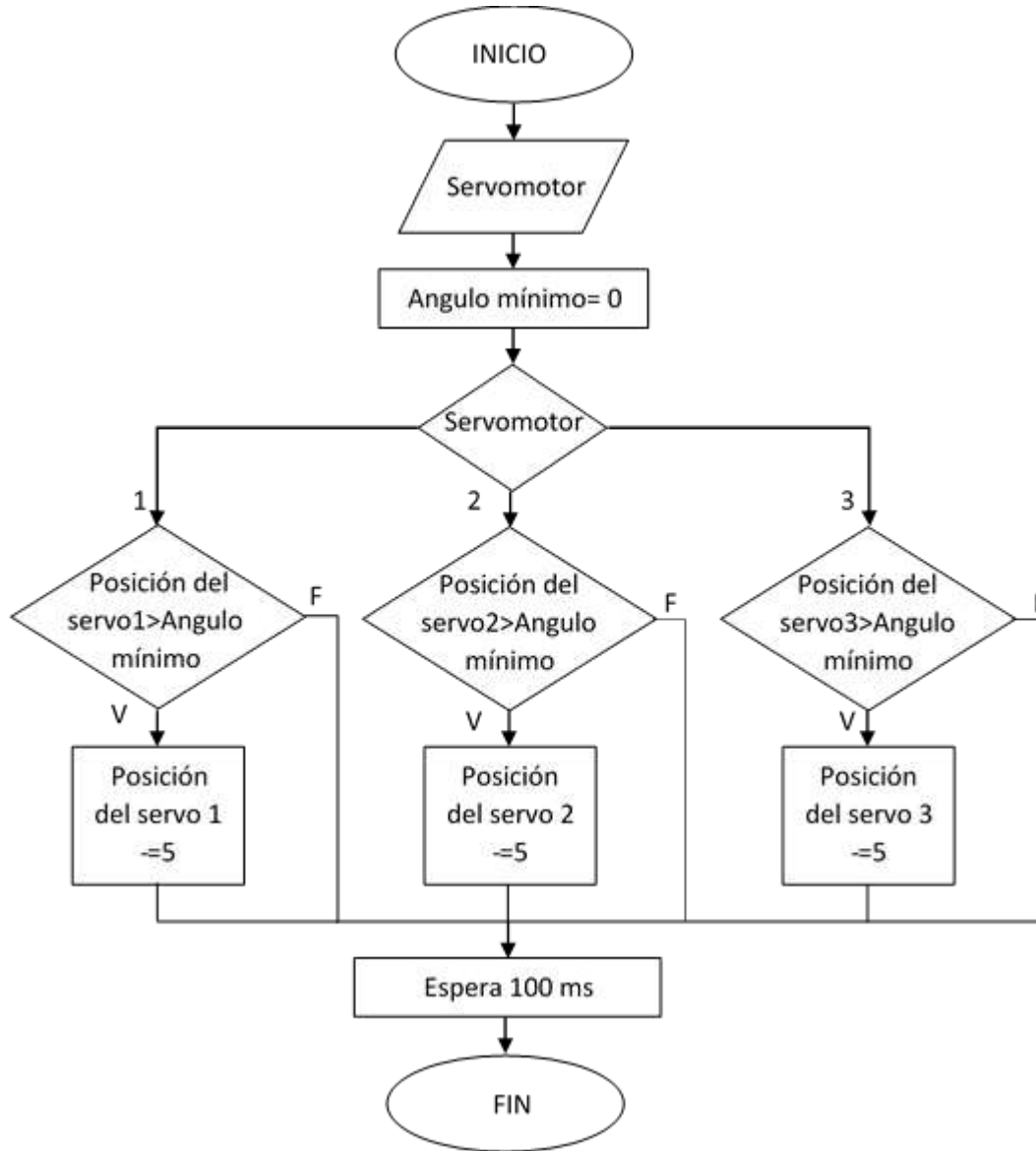


Figura 41

Diagrama de flujo de la función retroceso



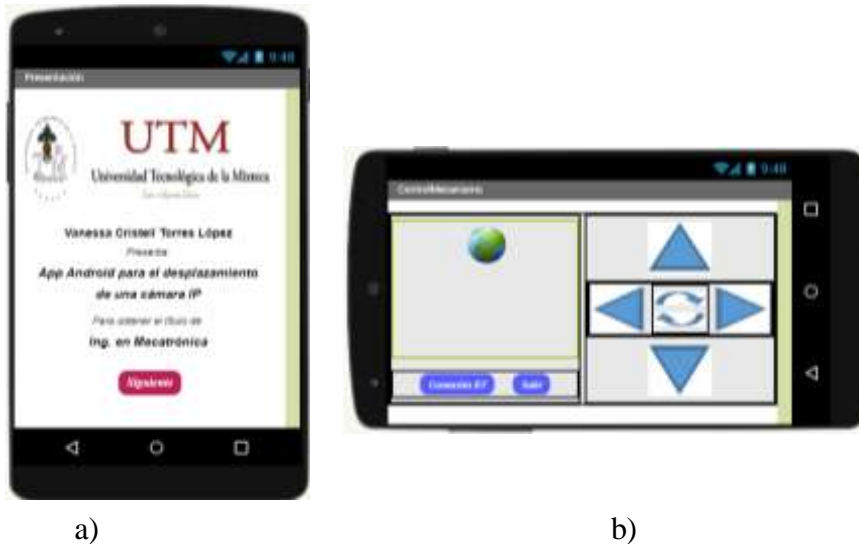
Los diagramas de flujo mostrados son los precursores del sketch creado en el Software Arduino versión 1.8.5, para la programación de las tarjetas electrónicas Arduino (el sketch de Arduino para la programación de la tarjeta Arduino Uno®, se muestra en el anexo B).

Desarrollo de la aplicación con MIT App Inventor

La aplicación desarrollada en Android, consta de las dos pantallas mostradas en la Figura 42 (tomadas desde el entorno de desarrollo). La primera contiene una presentación del proyecto , ver Figura 42 a), y la segunda muestra la interfaz de comunicación cámara/celular/Arduino , Figura 42 b). El diagrama a bloques de la aplicación Android se muestra en el anexo C.

Figura 42

Aplicación desarrollada en Android. a) Presentación b) Control del mecanismo



El paso de la primera pantalla a la segunda, se efectúa presionando el botón *siguiente*, que se muestra en la Figura 43.

Figura 43

Botón siguiente



A continuación, la conexión con el mecanismo se realiza presionando el botón *Conexión BT*, Figura 44, el cual desplegará la lista de dispositivos Bluetooth disponibles, de donde se deberá seleccionar el dispositivo HC-05.

Figura 44

Botón Conexión BT



Posteriormente, el movimiento de los eslabones se lleva a cabo presionando cada uno de los botones de desplazamiento, situados en la parte derecha de la pantalla, Figura 45.

La Tabla 4 muestra el carácter correspondiente a cada botón, y la acción a realizar cuando este se presiona.

Figura 45

Botones de desplazamiento

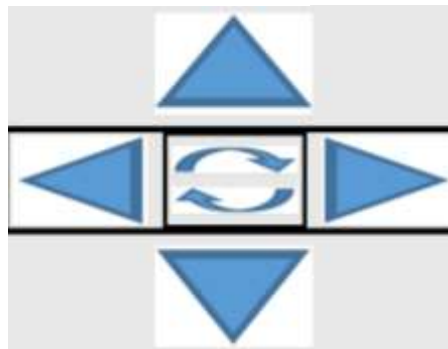








Tabla 4

Configuración asignada a cada botón

Botón	Carácter correspondiente	Movimiento que controla
	A	Avance del efector final

	B	Avance del balancín A
	C	Avance del balancín B
	D	Retroceso del efector final
	E	Retroceso del balancín A
	F	Retroceso del balancín B

Finalmente, la imagen tomada de la cámara se observará en la parte izquierda de la pantalla. La Figura 46 muestra en lugar de dicha imagen, el ícono de Internet, que indica que la imagen es rescatada de un servidor FTP.

Figura 46

Imagen tomada del servidor FTP.



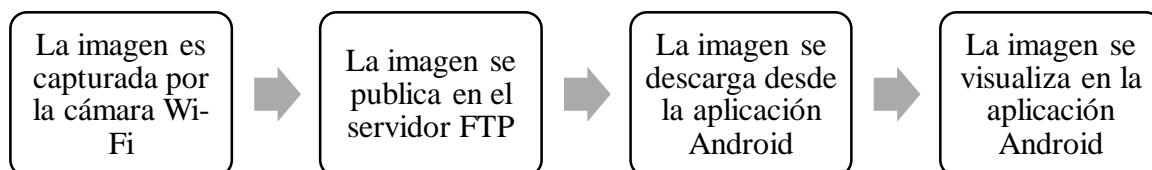
El usuario puede abandonar la aplicación presionando el botón *salir*.

Servidor FTP

La Figura 47 indica el camino que sigue la imagen desde que es capturada por la cámara Wi-Fi hasta que puede visualizarse en el dispositivo Android. Para la transferencia de las imágenes captadas por la cámara Wi-Fi, se eligió el servidor FTP Filezilla®.

Figura 47

Recorrido de la imagen tomada por la cámara Wi-Fi

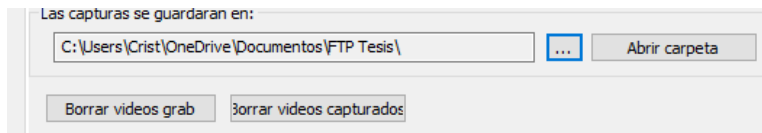


La imagen es capturada por la cámara Wi-Fi a través de la aplicación *SYSM Monitor* (La aplicación *SYSM Monitor* ha sido declarada obsoleta en octubre de 2019. El apéndice 1 contiene una manera alternativa de mostrar la imagen en la aplicación Android desarrollada), desde donde es guardada automáticamente en la carpeta seleccionada para compartir archivos mediante FTP. La Figura 48 muestra la ruta del directorio donde se almacenarán las imágenes tomadas desde la cámara. Toda imagen capturada por la cámara Wi-Fi se publica automáticamente en el servidor FTP siempre que se tenga acceso a Internet.

Teniendo la carpeta de origen de la imagen, se creó el usuario de nombre *Cristell* y contraseña de acceso *12345* en FileZilla Server, al cual se le asignaron los permisos de lectura, escritura y descarga de los archivos contenidos en la carpeta FTP Tesis.

Figura 48

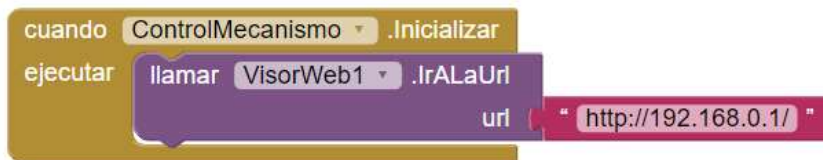
Ruta de origen de las imágenes capturadas por la cámara Wi-Fi



La descarga y visualización de la imagen del servidor a la aplicación Android se ejecuta accediendo a la dirección IP del servidor, tal como se muestra en la Figura 49.

Figura 49

Descarga y visualización de la imagen



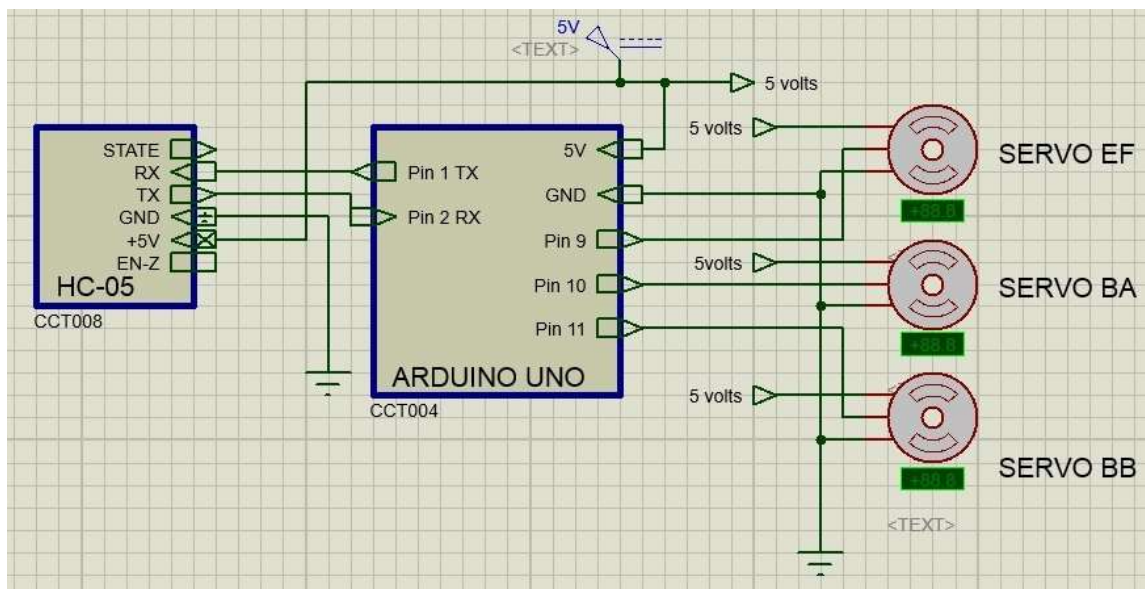
Hardware de control

Con hardware de control, se hace referencia al diagrama eléctrico necesario para el correcto funcionamiento del mecanismo.

En la Figura 50, se muestra el diagrama eléctrico elaborado con el software Proteus 8 Professional. Los dispositivos involucrados en el hardware de control son: La tarjeta electrónica Arduino Uno®, los tres servomotores, el módulo Bluetooth HC-05 y una fuente de alimentación de 5 v.

Figura 50

Diagrama eléctrico



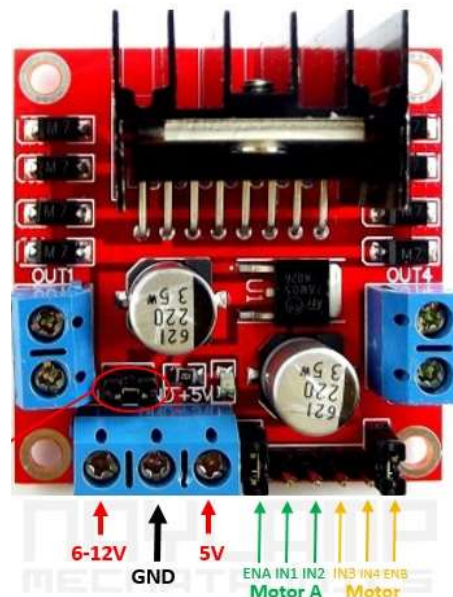
Únicamente son visibles los pines de Arduino configurados como entrada, salida o alimentación. Las entradas y salidas corresponden a la configuración establecida en el sketch de Arduino.

Se estableció anteriormente que la energía suministrada al mecanismo serán 12 v adquiridos de baterías recargables, los cuales servirán para alimentar al puente H que amplificará

la señal de PWM antes de llegar a los servomotores. La fuente de 5v mostrada en la Figura 50 es el regulador incluido en el puente H mostrado en la Figura 51.

Figura 51

Puente H. Integrado L298N



Ensamble

En el ensamble del prototipo del mecanismo de posicionamiento esférico, fue preciso utilizar dos tipos de uniones: uniones permanentes, empleando acrilato como pegamento; y uniones mecánicas, con pernos, tornillos y tuercas.

La primera pieza por ensamblar fue el bastidor, ya que es la pieza fija en la cual se ensamblarán los demás componentes. Para darle soporte al bastidor, se colocó sobre una placa de acrílico de 30x30cm y 7mm de espesor, tal como se muestra en la Figura 52.

Figura 52

Ensamble del bastidor



Posteriormente, fue preciso el ensamble del balancín A. Se debe recordar que el bastidor contenía cuatro ranuras, mediante las cuales se fijarían los balancines.

En una de las ranuras destinadas a la unión del balancín A se colocó un servomotor MG995, que fue fijado con 4 tornillos hexagonales de 2in al bastidor. La transmisión del movimiento del servomotor al balancín A, se efectuó colocando un perno concéntrico con la semicircunferencia de uno de los extremos del balancín sobre la flecha del servomotor. En la segunda ranura de unión, colocada a 180^0 de la primera, se colocó un rodamiento que además de completar la unión del balancín A al bastidor, permitirá el movimiento de este eslabón. El ensamble del balancín A al bastidor puede observarse en la Figura 53.

Figura 53

Ensamble del balancín A al bastidor.



Siguiendo el mismo procedimiento del balancín A, se ensambló el balancín B en el bastidor.

Se debe recordar que la corredera fue seccionada en dos piezas para facilitar su ensamble. La sección de la corredera que se deslizará sobre el balancín B se situó justamente bajo la intersección de los balancines para poder ser ensamblada, posteriormente, las dos piezas de la corredera fueron fijadas permanentemente.

Finalmente, el efector final se unió mecánicamente con el servomotor MG90S, que fue unido a la corredera. La Figura 54, muestra el ensamble final del mecanismo de posicionamiento esférico.

Figura 54

Ensamble final del mecanismo de posicionamiento esférico



Conclusiones

El proceso de selección de material para manufactura, y masa total permitida, tuvo como objetivo maximizar la seguridad de toda persona que mantenga contacto con el mecanismo de posicionamiento esférico, así como reducir las emisiones tóxicas al medio ambiente, puesto que no se debe limitar la seguridad del usuario y el entorno a cambio de una mejora en las características mecánicas de las piezas del mecanismo.

De igual manera, con la selección de actuadores, energía y diseño de eslabones, se buscó elegir a los componentes que garanticen el óptimo funcionamiento del sistema.

Cada una de las decisiones tomadas a lo largo de este capítulo, servirán de base para la verificación del funcionamiento del mecanismo de posicionamiento esférico una vez que todos los sistemas que lo conforman sean ensamblados.

En la etapa de manufactura de los eslabones se visualizó la mayor complicación de las técnicas aditivas, que consiste en el imperfecto acabado superficial de las piezas que se obtienen, esto, debido a que la impresora 3D incluye material de soporte y de relleno no correspondientes al diseño. El material extra adherido a cada uno de los eslabones fue eliminado con lijas metálicas de diferente tamaño de grano, dependiendo del tamaño de la rebaba a eliminar.

Durante el ensamble de los balancines del mecanismo se observó que existe una fricción no despreciable entre ellos, ocasionada por el rozamiento de las piezas de PLA, por lo que, con el fin de reducir el torque requerido para alcanzar una posición determinada, deberán lubricarse los balancines y el efector final.

Por otro lado, es importante señalar que, aunque el proyecto se efectuó con la cámara Wi-Fi Q7 HD, tanto el hardware como el software de la misma se encuentran obsoletos desde octubre de 2019, razón por la cual en el Apéndice 1 se incluye una alternativa para su reemplazo.

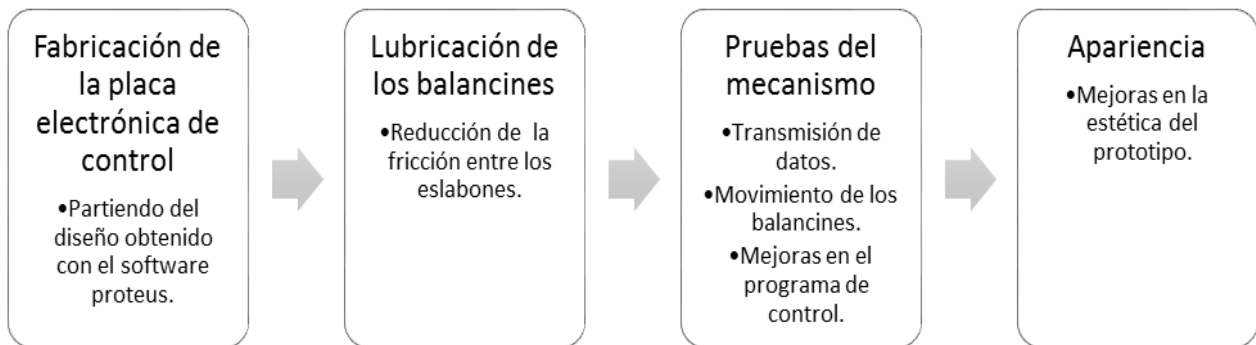
Introducción

En la fase 3 “Pruebas y refinamiento” de la metodología planteada por Ulrich & Eppinger, se pretende localizar singularidades en los subsistemas del prototipo con el fin de eliminar fallas que conlleven a un funcionamiento erróneo del mecanismo de posicionamiento esférico. La salida de la fase tres será entonces el prototipo completamente funcional, tras haber efectuado la optimización de los subsistemas que lo componen.

Por lo antes mencionado, seccionaremos la última fase del proyecto tal como se ilustra en la Figura 55:

Figura 55

Secciones de la fase de pruebas y refinamiento



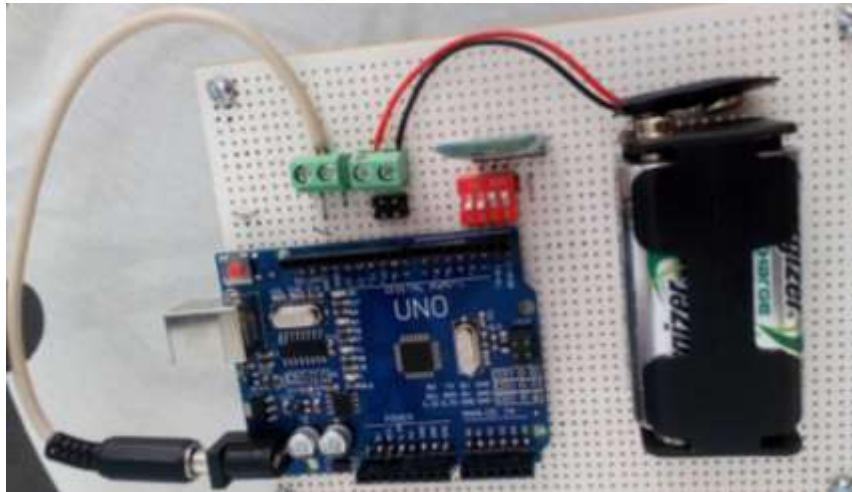
Fabricación de la placa electrónica de control

Para la fabricación de la placa electrónica de control, se tomó como referencia el diseño del diagrama eléctrico elaborado mediante el software Proteus® (Figura 48), presentado en el capítulo anterior.

Los dispositivos electrónicos de control (tarjeta electrónica Arduino Uno ® y módulo Bluetooth HC-05) fueron soldados a una placa fenólica de dimensiones 13.8x10.6 cm, con pistas de cobre preestablecidas, tal como se muestra en la Figura 56.

Figura 56

Circuito de control del mecanismo de posicionamiento esférico



El Dip-Switch localizado entre la tarjeta Arduino Uno y el módulo Bluetooth HC-05 permitirá bloquear la conexión entre estos elementos con el fin de reprogramar la tarjeta, en caso de ser necesario, sin tener interferencias en el puerto serial. Por otro lado, los seis pines machos que se observan representan la alimentación de 5v y GND destinada a los tres servomotores.

Antes de ensamblar la placa electrónica de control al prototipo fue necesario efectuar pruebas de continuidad, con el fin de verificar la no existencia de conexiones que provocaran cortocircuitos o falsos contactos.

Finalmente, la placa electrónica de control fue ensamblada y atornillada sobre la base de acrílico.

Lubricación de los balancines

Con el fin de reducir la fricción existente entre los balancines y disminuir el torque necesario para que los servomotores logren moverlos, fue necesario lubricar cada uno de los eslabones móviles del mecanismo. Se usó petrolato sobre toda la superficie de contacto entre los balancines A y B, además de la corredera.

Para alargar la vida útil del mecanismo de posicionamiento esférico, será necesario lubricar las piezas móviles al menos dos veces al año.

Pruebas del mecanismo

Con el sketch cargado en la placa electrónica Arduino Uno se efectuó pruebas en el mecanismo de posicionamiento esférico tales como: la vinculación con el módulo bluetooth HC-05, el funcionamiento de los botones de desplazamiento y el movimiento de los eslabones.

Vinculación con el módulo bluetooth HC-05

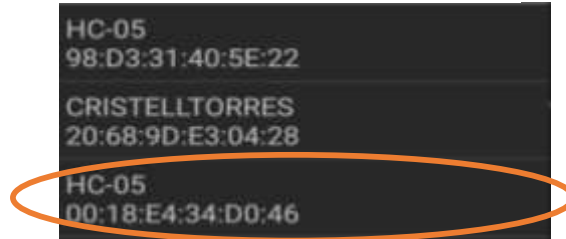
La primera prueba efectuada en el prototipo fue la verificación de la vinculación de la placa electrónica Arduino uno con el dispositivo móvil a través del módulo Bluetooth HC-05. A continuación, se muestra la serie de pasos seguidos en esta prueba.

1. Conectar la alimentación a la placa electrónica de control del mecanismo de posicionamiento esférico.
2. Verificar la conexión entre la tarjeta Arduino Uno ® y el módulo Bluetooth HC-05.
3. En el dispositivo móvil, encender la comunicación Bluetooth.
4. Abrir la aplicación Android creada y seleccionar Conexión BT.

5. Seleccionar el módulo Bluetooth en el dispositivo móvil para establecer la comunicación serial. La dirección MAC: 00:18:E4:34:D0:46 , corresponde al módulo HC-05 configurado , Figura 57.

Figura 57

Selección de dispositivo Bluetooth



Funcionamiento de los botones de desplazamiento

Después de la validación de la vinculación del dispositivo móvil con la tarjeta electrónica, se verificó el correcto funcionamiento de los botones de desplazamiento establecidos en la Tabla 1 (ver Capítulo 3).

Para evitar posibles fallos, debe recordarse los pines de salida analógica de la tarjeta Arduino Uno ® asignados a cada uno de los servomotores, es decir:

- Servomotor del efector final: Pin 9
- Servomotor del balancín A: Pin 10
- Servomotor del balancín B: Pin 11

Movimiento de los eslabones

Una vez verificada la correcta conectividad entre el mecanismo de posicionamiento esférico y el dispositivo móvil, fue importante efectuar pruebas de desplazamiento para comprobar el cumplimiento del desplazamiento del mecanismo en la superficie semiesférica establecida.

La Figura 58 ilustra diferentes posiciones alcanzadas por el mecanismo de posicionamiento esférico en su fase de pruebas de movimiento para los balancines A y B y el efector final. La Figura 58 a) muestra una vista superior de la posición 80°, 90°, 90° (balancín A, balancín B, efector final, respectivamente). En la Figura 58 b), se observa la vista superior de la posición 110°, 120°, 150°. Finalmente, la Figura 58 c) muestra la posición 120°, 70°, 80° alcanzada por el mecanismo de posicionamiento esférico.

Figura 58

Diferentes posiciones alcanzadas por el mecanismo de posicionamiento esférico

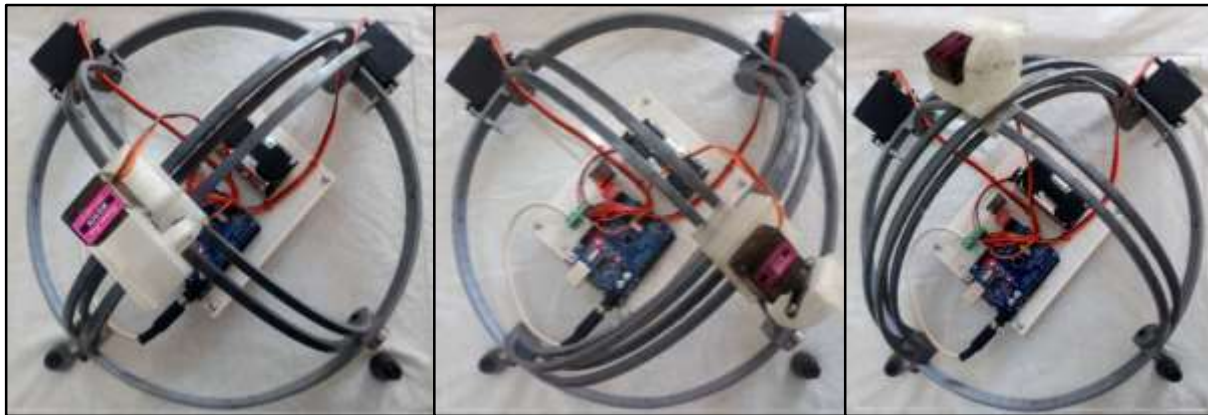


Imagen de cámara

La siguiente prueba realizada para verificar el correcto funcionamiento del sistema consistió en validar que la imagen obtenida de la cámara WiFi Q7 HD pueda extraerse exitosamente del servidor FTP para ser visualizada a través de la aplicación creada para el dispositivo móvil. La Figura 59 muestra imágenes tomadas de la cámara en diferentes posiciones del mecanismo de posicionamiento esférico.

Figura 59

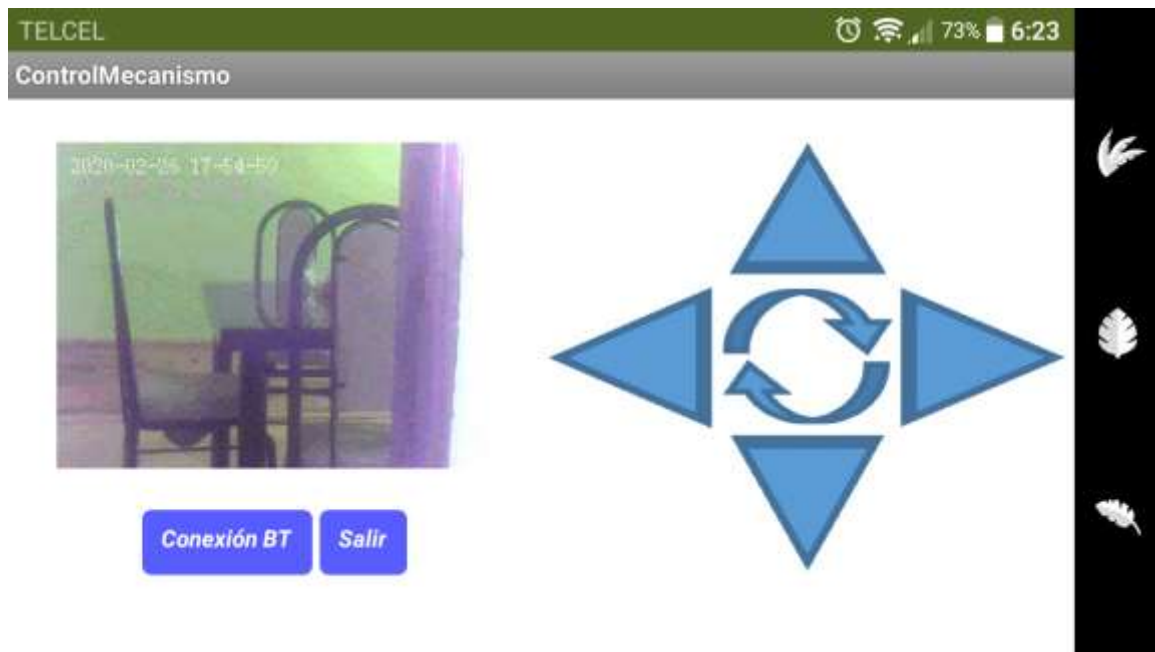
Imágenes extraídas de la cámara WiFi Q7 HD



De la misma manera, la Figura 60 muestra una captura de pantalla de lo visualizado en la aplicación Android.

Figura 60

Prueba de imagen con la aplicación Android

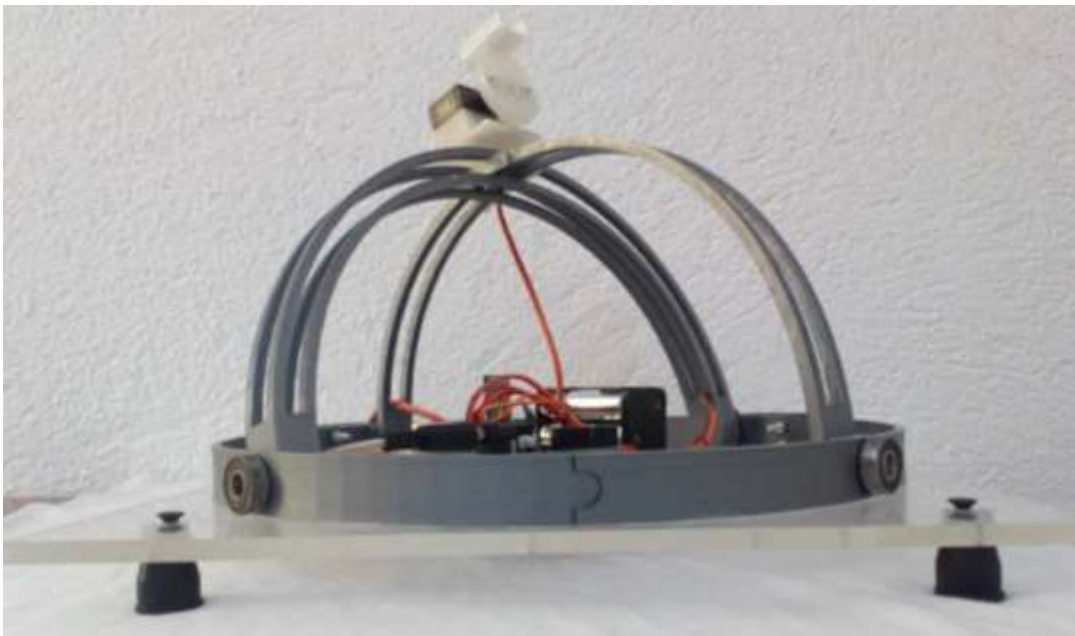


Apariencia

En el mejoramiento de la apariencia, se incluyó cuatro soportes de polímeros que evitarán el roce de la placa de acrílico con la superficie donde sea colocado el mecanismo de posicionamiento esférico. La Figura 61 muestra la apariencia final del mecanismo de posicionamiento esférico.

Figura 61

Mecanismo de posicionamiento esférico



Conclusiones

Como producto final del proyecto, se obtuvo el prototipo completamente funcional del mecanismo de posicionamiento esférico.

La fabricación de la placa electrónica de control fue parte del proceso de refinamiento del prototipo. Al quedar los elementos electrónicos sujetos a una placa fenólica y no solo conectados en una tarjeta de pruebas, se le añadió robustez al sistema. Uno de los grandes inconvenientes del uso de una placa fenólica con pistas preestablecidas fue aislar completamente las alimentaciones, esto debido al cortocircuito producido por los tornillos que unen la placa de control con la base de acrílico. De esta manera, se optó por colocar tuercas poliméricas a fin de evitar se siga produciendo el cortocircuito en las terminales de la alimentación, caso contrario para las tuercas metálicas.

Para la correcta programación de la tarjeta Arduino fue necesario la descarga de los drivers del dispositivo. La placa electrónica se configuró para permitir su reprogramación, sin embargo, a fin de efectuar de manera exitosa futuras reprogramaciones, se deberá contar con conexión a Internet con el fin de garantizar la actualización de los controladores del dispositivo.

El producto final del proyecto cumplió con los objetivos especificados en la fase de planeación. El mecanismo permite el desplazamiento de una cámara IP en la superficie semiesférica descrita por los eslabones, el cual es controlado de manera remota vía bluetooth a través de la aplicación desarrollada para dispositivos móviles Android.

En el siguiente capítulo, se analizarán las complicaciones presentadas durante el desarrollo del proyecto.

Capítulo 5 Conclusiones

Con la realización exitosa de cada una de las fases planteadas, se ha cumplido con el objetivo general del proyecto, consistente en diseñar un mecanismo que permita desplazar una cámara IP sobre una superficie esférica controlado por un teléfono celular inalámbricamente, vía Bluetooth.

Cada una de las fases del proyecto aportó características importantes durante el desarrollo del prototipo, sin embargo, las fases analizadas con mayor detenimiento son “Desarrollo del concepto” donde surgieron las diferentes alternativas de solución a los problemas planteados y por lo tanto donde se tomaron las decisiones de mayor trascendencia en el proyecto; asimismo, la fase de “Pruebas y refinamiento” representó la segunda fase más importante. Fue aquí donde se verificó el cumplimiento de los objetivos planteados en la fase de “Planeación”.

Respecto a la fase de “Diseño de detalle”, a pesar de ser precursora a la fase de refinamiento, su importancia residió en las mejoras implementadas en el diseño al prevenir fallos incluso antes de que estos se hubiesen presentado. Puede considerarse que la fase de “Diseño de detalle” buscó optimizar cada uno de los componentes del sistema y finalmente obtener un ensamble del prototipo del mecanismo de posicionamiento esférico.

El diseño y ensamble del mecanismo de posicionamiento esférico brinda la posibilidad de reemplazar piezas sin verse afectada la integridad completa del mecanismo, lo cual puede verse traducido como una ventaja si se piensa en la producción en línea de estos, y de esta manera cumplir con la necesidad de los usuarios que buscan un sistema de monitoreo en tiempo real libre de puntos muertos de visión.

En caso de requerir un reemplazo de cámara IP por un diferente modelo, bastará con rediseñar el efector final, sin modificar la forma y/o dimensiones de la corredera, los balancines o el bastidor.

Como un primer acercamiento a los cascos inteligentes de monitoreo en tiempo real con fines de cuidado a familiares y niños en respuesta a la demanda del mercado encuestado por Sánchez & Cruz García como parte del proyecto AVATOUR (2013), se obtuvo el prototipo del mecanismo de posicionamiento esférico que brinda un monitoreo en un radio de 15 metros gracias a la conectividad Bluetooth.

Trabajo a futuro

A fin de obtener un mayor rendimiento en el sistema, se menciona a continuación las mejoras necesarias para solucionar los diferentes detalles observados durante el desarrollo del prototipo de la primera versión del mecanismo de posicionamiento esférico.

Se propone cambiar la tarjeta Arduino Uno, por la tarjeta Arduino Nano, para reducir el tamaño de la circuitería y volver la placa electrónica de control más compacta. En el mismo sentido, se sugiere el reemplazo de las baterías recargables por celdas solares que alimenten al circuito; para reducir el tamaño de la placa de control, y evitar la dependencia de un tomacorriente de pared.

Después de alcanzar el objetivo de controlar vía remota el mecanismo de posicionamiento esférico vía bluetooth y lograr un monitoreo con un radio de 15 metros, el prototipo está listo para migrar a comunicación Wi-Fi y así incrementar su alcance.

Por último, a pesar de que los tres grados de libertad del mecanismo de posicionamiento esférico son suficientes para posicionar a la cámara IP, la adición de un cuarto grado de libertad,

permitirá mejorar el ángulo con el que son captadas las imágenes, para brindarle mayor comodidad a los usuarios.

Glosario

Casco de protección: Equipo de protección personal que se ajusta a la cabeza del usuario para protegerla, de acuerdo con su clasificación, contra impactos, tensión eléctrica o una combinación de éstos (Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios, 2012).

Concha: Pieza en forma de cúpula que cubre la cabeza (Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios, 2012).

Eslabón: También llamado *miembro*. Un eslabón es un elemento de una máquina o mecanismo que conecta a otros elementos y que tiene movimiento relativo a ellos; puede servir de soporte, como guía de otros eslabones, para transmitir movimientos o bien funcionar de las tres formas (Castillo Ramírez, 2005).

Esterolitografía: Método y equipo para realizar objetos sólidos mediante impresión sucesiva de finas capas de un material mediante luz ultravioleta (Zahera , 2012).

Junta o par cinemático: Conexión entre dos o más eslabones que permite el movimiento total o relativo entre ellos (Sánchez Sánchez, 2008).

Suspensión: Conjunto de piezas que sirve para sostener la concha del casco de protección en la cabeza del usuario, de tal forma que reduzca el efecto de impacto (Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios, 2012).

Tafilete: Parte ajustable de la suspensión que sirve para sujetar el casco alrededor de la cabeza pasando por la frente (Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios, 2012)

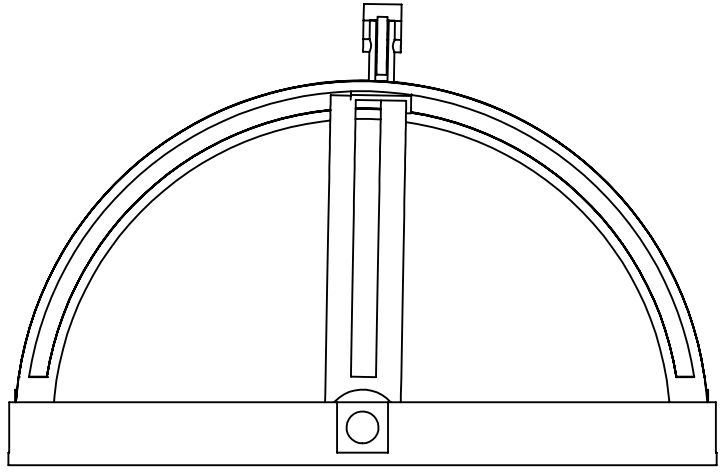
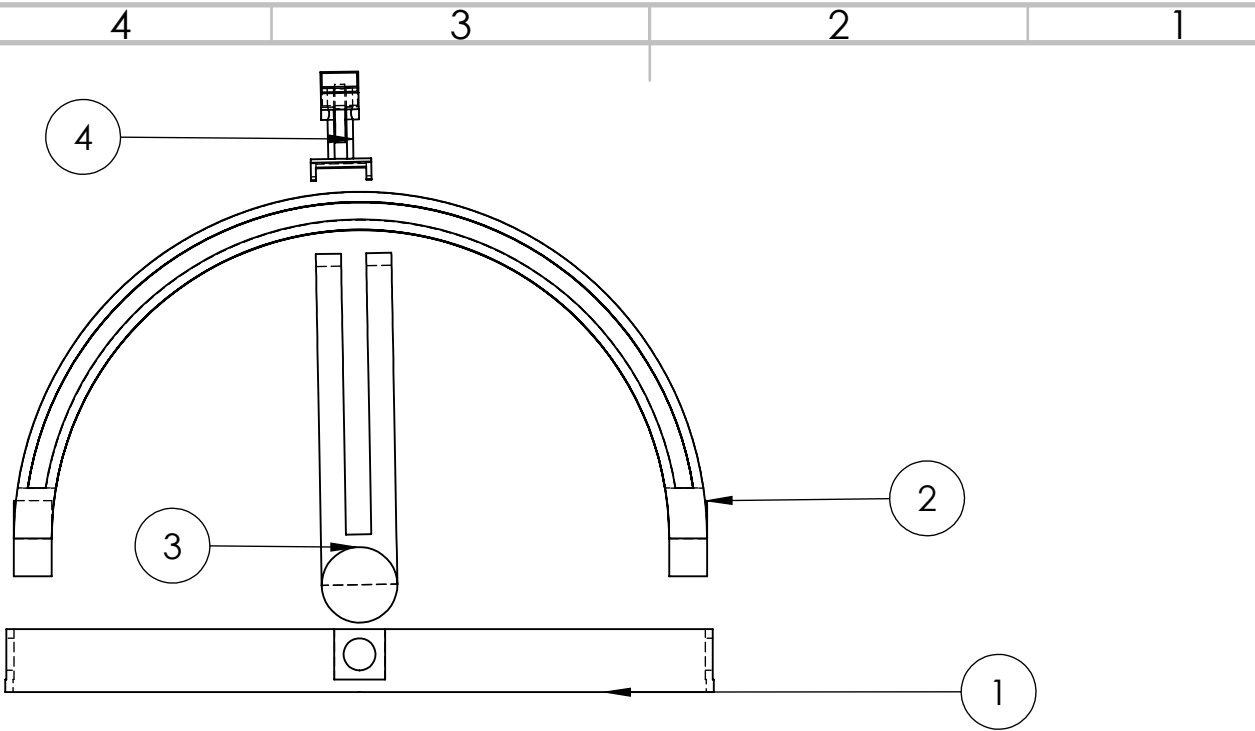
ANEXO A

Dibujos técnicos de los eslabones del mecanismo de posicionamiento esférico

A continuación, se muestran los dibujos técnicos correspondientes a cada uno de los eslabones del mecanismo de posicionamiento esférico.

Los dibujos técnicos se ordenan de la siguiente manera:

- Dibujo del eslabón fijo o bastidor
- Dibujo del balancín A
- Dibujo del balancín B
- Dibujo de la corredera
- Dibujo del efector final



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	EslabonFijo	1
2	EslabonA	1
3	Eslabon B	1
4	Efactor Final	1

Universidad Tecnológica de la Mixteca
 Instituto de Electrónica y Mecatrónica

Mecanismo de posicionamiento esférico

Elaboró
 Vanessa Cristell Torres López

Fecha
 Feb 2020

Nombre del dibujo
 Vista explosionada del mecanismo de posicionamiento esférico

Revisó
 Dr. Felipe de Jesús Rivera López

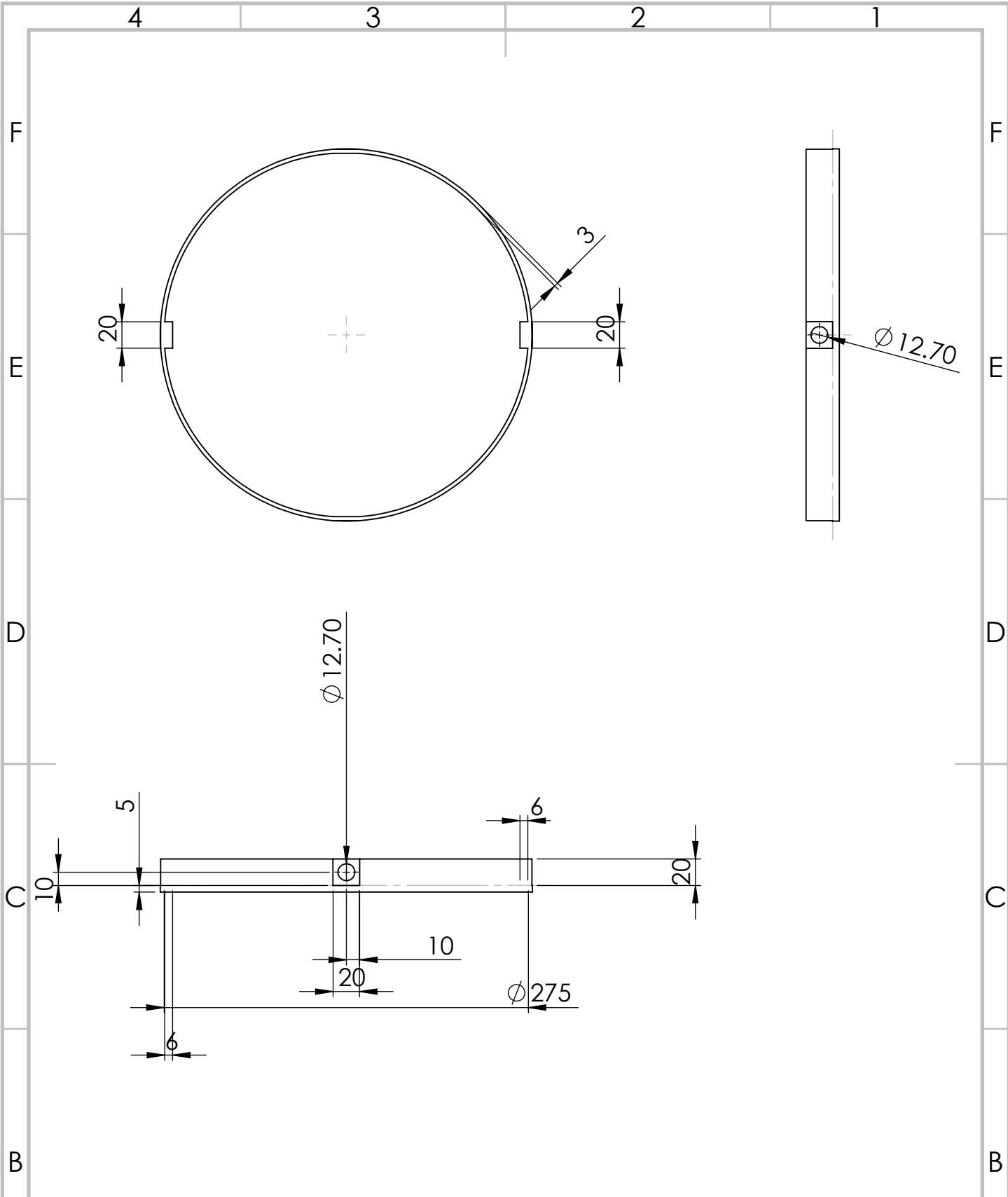
Acotación
 milímetros

Material
 PLA

Número de dibujo
 1 de 6

Escala
 1:3

A4



Universidad Tecnológica de la Mixteca

Instituto de Electrónica y Mecatrónica

Mecanismo de posicionamiento esférico

Elaboró
Vanessa Cristell Torres López

Fecha
Feb 2020

Nombre del dibujo
Eslabón fijo

Revisó
Dr. Felipe de Jesús Rivera López

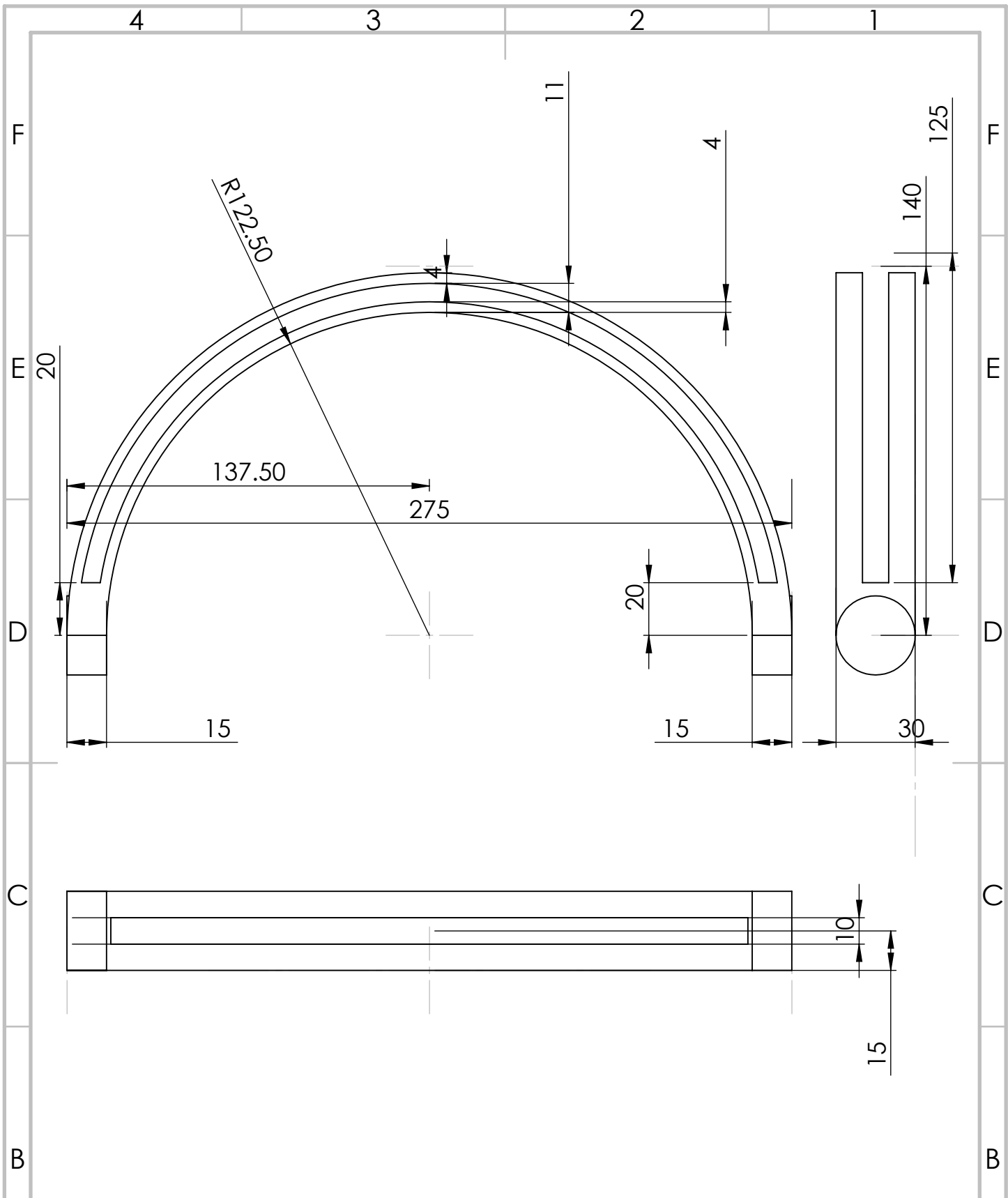
Acotación
milímetros

Material
PLA

Número de dibujo
2 de 6

Escala
1:4

A4



Universidad Tecnológica de la Mixteca

Instituto de Electrónica y Mecatrónica

Mecanismo de posicionamiento esférico

Elaboró
Vanessa Cristell Torres López

Fecha
Feb 2020

Nombre del dibujo
Eslabón A

Revisó
Dr. Felipe de Jesús Rivera López

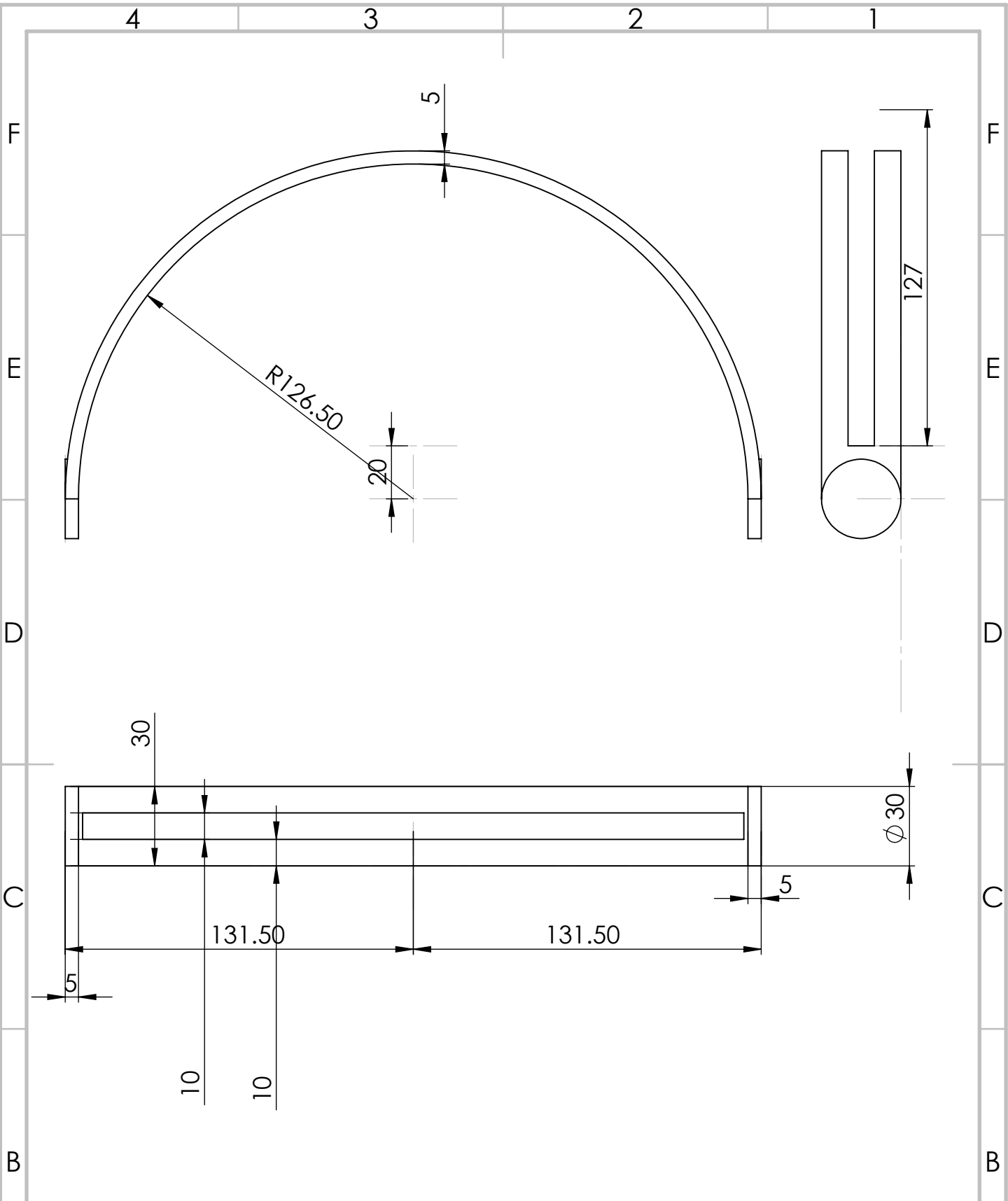
Acotación
milímetros

Material
PLA

Número de dibujo
3 de 6

A4

Escala
1:2



Universidad Tecnológica de la Mixteca

Instituto de Electrónica y Mecatrónica

Mecanismo de posicionamiento esférico

Elaboró
Vanessa Cristell Torres López

Fecha
Feb 2020

Nombre del dibujo
Eslabón B

Revisó
Dr. Felipe de Jesús Rivera López

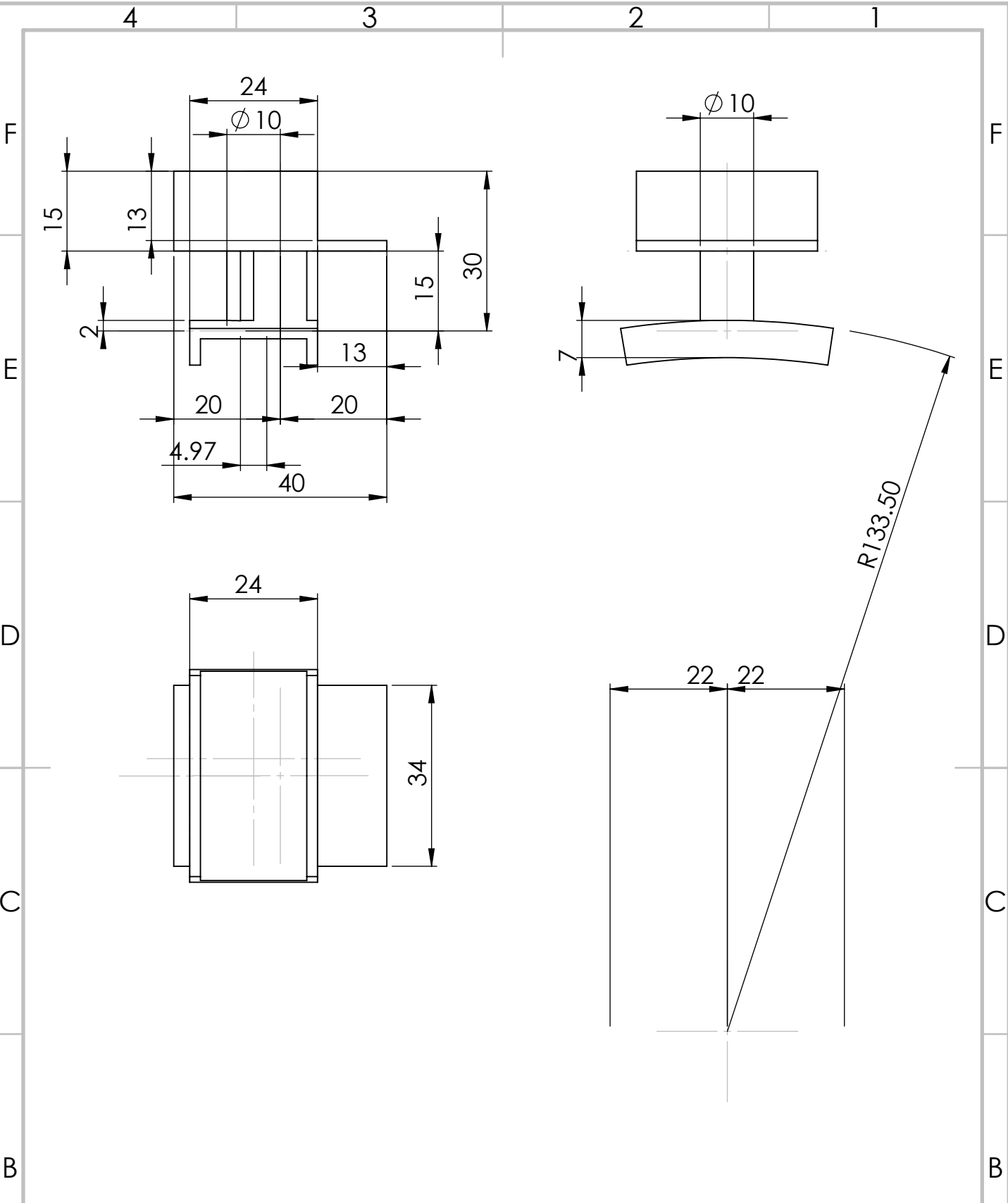
Acotación
milímetros

Material
PLA

Número de dibujo
4 de 6

Escala
1:2

A4



Universidad Tecnológica de la Mixteca

Instituto de Electrónica y Mecatrónica

Mecanismo de posicionamiento esférico

Elaboró
Vanessa Cristell Torres López

Fecha
Feb 2020

Nombre del dibujo
Eslabón C

Revisó
Dr. Felipe de Jesús Rivera López

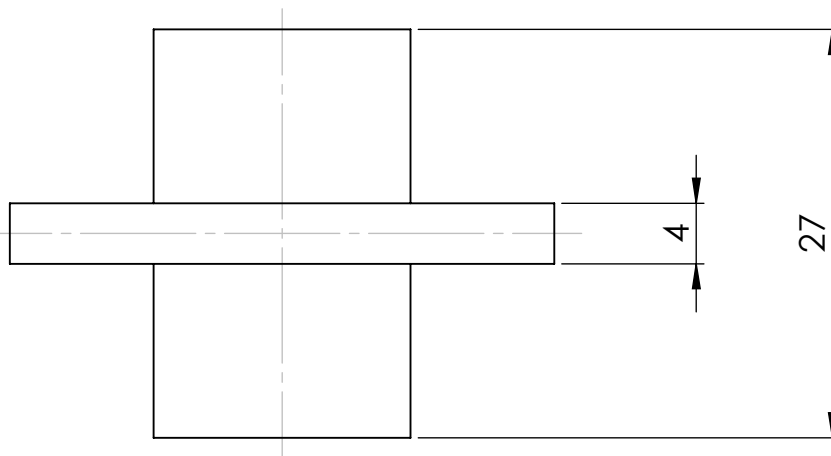
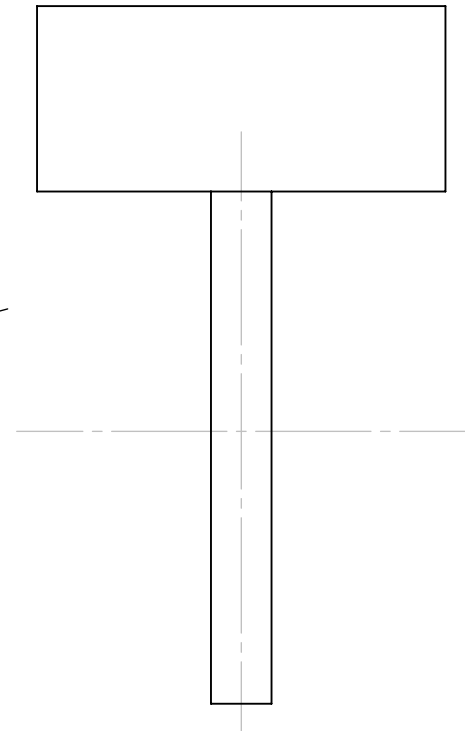
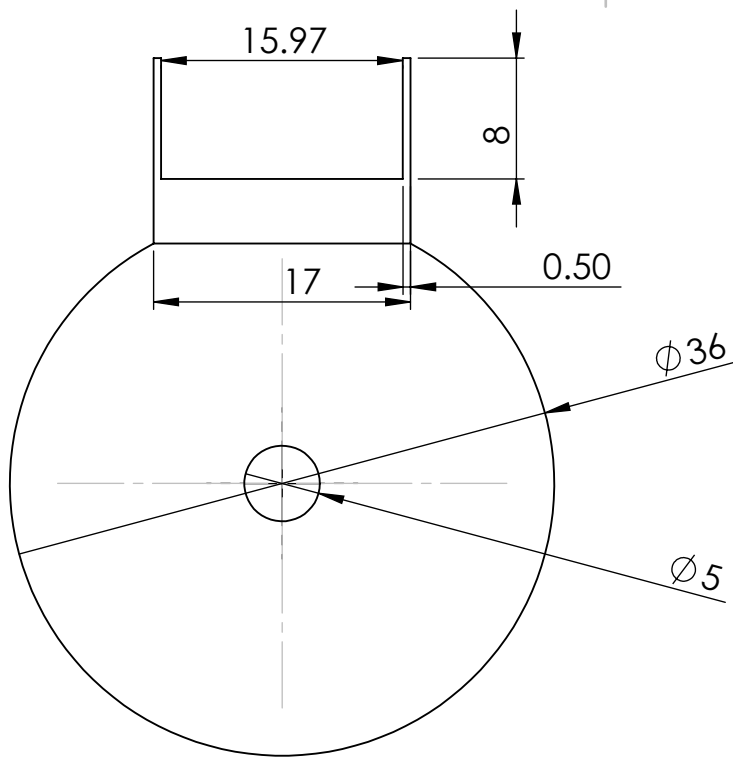
Acotación
milímetros

Material
PLA

Número de dibujo
5 de 6

Escala
1:1

A4



Universidad Tecnológica de la Mixteca

Instituto de Electrónica y Mecatrónica

Mecanismo de posicionamiento esférico

Elaboró
Vanessa Cristell Torres López

Fecha
Feb 2020

Nombre del dibujo
Eslabón D

Revisó
Dr. Felipe de Jesús Rivera López

Acotación
milímetros

Material
PLA

Número de dibujo
6 de 6

Escala
2:1

A4

ANEXO B

Programación de la tarjeta Arduino Uno

A continuación, se muestra el sketch de Arduino para la programación de la tarjeta Arduino Uno ® en el control del mecanismo de posicionamiento esférico.

```
/* CONTROL DEL MECANISMO DE POSICIONAMIENTO ESFÉRICO
Archivo:  Software De Control
Autor:   Vanessa Cristell Torres López
Fecha:   Septiembre 2018
*/

//-----
//DECLARACIÓN DE LIBRERÍAS
//-----

#include <Servo.h>           //Control de servomotores
#include <SoftwareSerial.h> //Comunicación serial

//-----
//DECLARACIÓN DE SERVOMOTORES
//-----

Servo EFinal; //Servomotor MG90S del efector final
Servo BalancinA; //Servomotor MG995 del balancín A
Servo BalancinB; //Servomotor MG995 del balancín B

//-----
//DECLARACIÓN DEL DISPOSITIVO DE COMUNICACIÓN SERIAL
//-----

SoftwareSerial HC05 (0,1); //Módulo Bluetooth

//-----
//DECLARACIÓN DE VARIABLES GLOBALES
//-----

//Las variables POS, contendrán la posición de los_
//servomotores en cualquier momento, se inicializan con el_
//valor del centro de cada servomotor.
//-----
int posEF=100; //Posición del efector final
int posBA=0; //Posición del balancín A
int posBB=90; //Posición del balancín B

int Data; //Contiene el código ASCII recibido vía
```

```

//Bluetooth para el control de los servomotores

//-----
//CÓDIGO DE CONFIGURACIÓN (se ejecuta únicamente una vez)
//-----
void setup()
{
  //Asignación de pines de control de servomotores

  EFinal.attach(9); //Pin 9 para el servo del efector final
  BalancinA.attach(10); //Pin 10 para el servo del balancín A
  BalancinB.attach(11); //Pin 11 para el servo del balancín B

  HC05.begin(9600); //Velocidad del puerto serial 9600 baudios

  //Posicionamiento a los servomotores en su centro

  EFinal.write(poseF);
  delay(100); //Espera de 100ms
  BalancinA.write(posBA);
  delay(100); //Espera de 100ms
  BalancinA.write(posBB);
  delay(100); //Espera de 100ms
}

//-----
//CÓDIGO PRINCIPAL (Se ejecuta repetidamente)
//-----
void loop()
{
  if(HC05.available()) //Verificación de la disponibilidad del
    //dispositivo de comunicación Serial
  {
    Data=HC05.read(); //Lectura del buffer serial

    switch(Data) //De acuerdo al ASCII recibido, se eje-
      //cutará una función
      //(descripción de funciones al final)
    {
      case 'A': avance(1); break;
      case 'D': retroceso(1); break;
      case 'B': avance(2); break;
      case 'E': retroceso(2); break;
      case 'C': avance(3); break;
      case 'F': retroceso(3); break;
      default: break;
    }

  }

  delay(100); //Espera de 100ms antes de
    //la siguiente lectura
}

```

```

//-----
//FUNCIONES DE CONTROL
//-----

//FUNCIÓN DE AVANCE
//Recibe el número del servomotor a mover.
//Si la posición máxima no se ha alcanzado,
//la posición del servo seleccionado aumentará en cinco grados.
//-----

void avance (int servo)
{
  int maximo; //Ángulo de posición máximo

  switch (servo) //Seleccionamos el ángulo maximo
                 //de acuerdo al servomotor a mover
  {
    case 1:
      maximo=200;
      if(poseF<maximo)
      {
        poseF+=5;
        EFinal.write(poseF);
      }
      break;

    case 2:
      maximo=160;
      if(posBA<maximo)
      {
        posBA+=5;
        BalancinA.write(poseF);
      }
      break;

    case 3:
      maximo=150;
      if(posBB<maximo)
      {
        posBB+=5;
        BalancinB.write(poseF);
      }
      break;

    default:
      break;
  }
  delay(100);
}

//FUNCIÓN DE RETROCESO
//Recibe el número del servomotor a mover.
//Si la posición mínima no se ha alcanzado,
//la posición del servo seleccionado disminuirá en cinco grados.
//-----

```

```

void retroceso (int servo)
{
  int minimo=0; //Ángulo de posición mínimo

  switch (servo) //Seleccionamos el servomotor a mover

  {
    case 1:
      if(posEF>minimo)
      {
        posEF-=5;
        EFinal.write(posEF);
      }
      break;

    case 2:
      if(posBA>minimo)
      {
        posBA-=5;
        BalancinA.write(posEF);
      }
      break;

    case 3:
      if(posBB>minimo)
      {
        posBB-=5;
        BalancinB.write(posEF);
      }
      break;

    default:
      break;
  }
  delay(100);
}

```

ANEXO C

Programación Android en MIT App Inventor

A continuación, se muestra la programación en bloques de la aplicación en Android desarrollada mediante MIT App Inventor.

Pantalla de Inicio

La pantalla de inicio, como se ha mencionado, únicamente contiene la presentación del programa y el botón siguiente; por lo que la programación de la misma es sencilla, puesto que únicamente se configuró la acción a ejecutar cuando el botón ha sido seleccionado, tal como se muestra en la Figura AD-1

Figura AD - 1

Configuración del botón siguiente



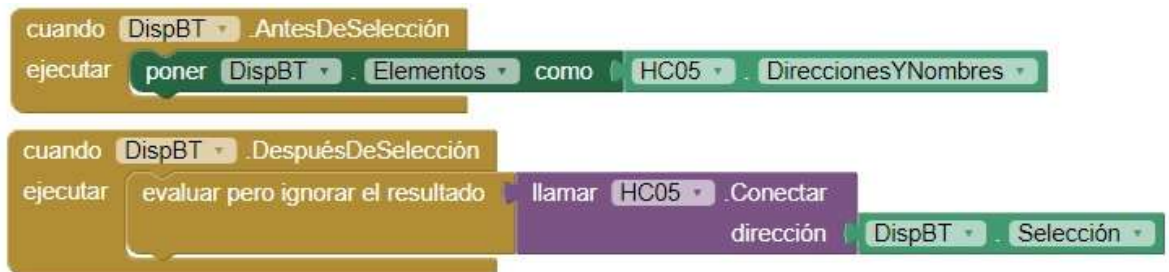
Pantalla de control del mecanismo

En la pantalla de control de mecanismo, se debe configurar la conexión Bluetooth, la descarga de la imagen, y el envío del carácter vía Bluetooth.

La Figura AD -2 muestra la programación en bloques requerida para la configuración de la conexión Bluetooth.

Figura AD- 2

Configuración de la conexión Bluetooth



Para la descarga de la imagen del servidor FTP, únicamente se requiere colocar la dirección IP del servidor, tal como se muestra en la Figura AD-3

Figura AD- 3

Carga de la imagen captada por la cámara



El envío de los datos vía Bluetooth, se efectúa cuando se presionan los botones de desplazamiento, en caso de ocurrir un error se notificará al usuario. Las Figuras AD -4 hasta AD -9 muestran la programación a bloques de los seis botones de movimiento.

Figura AD - 4

Configuración de botón arriba

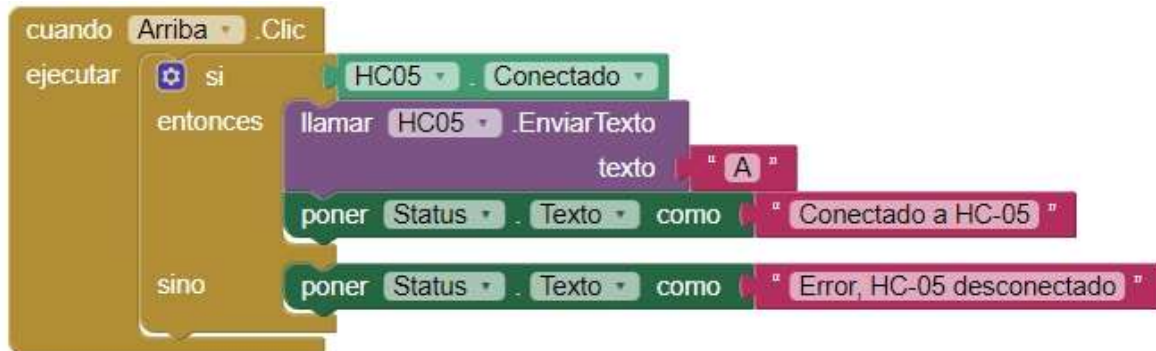


Figura AD - 5

Configuración del botón abajo

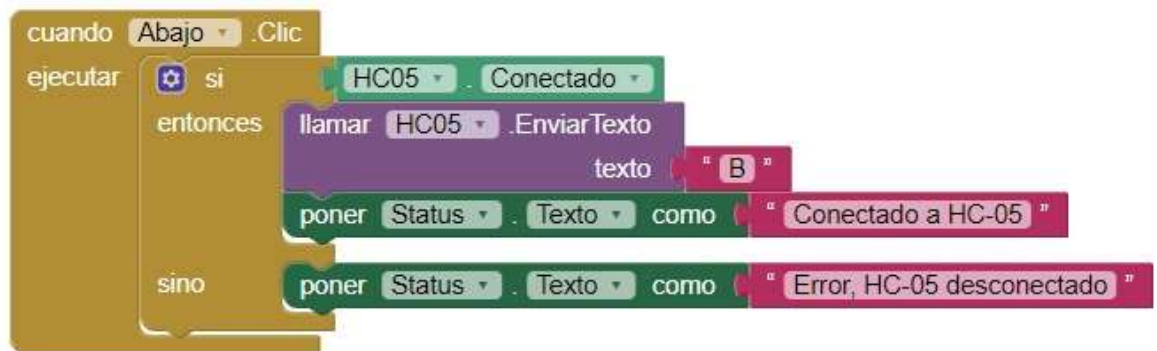


Figura AD - 6

Configuración del botón Adelante

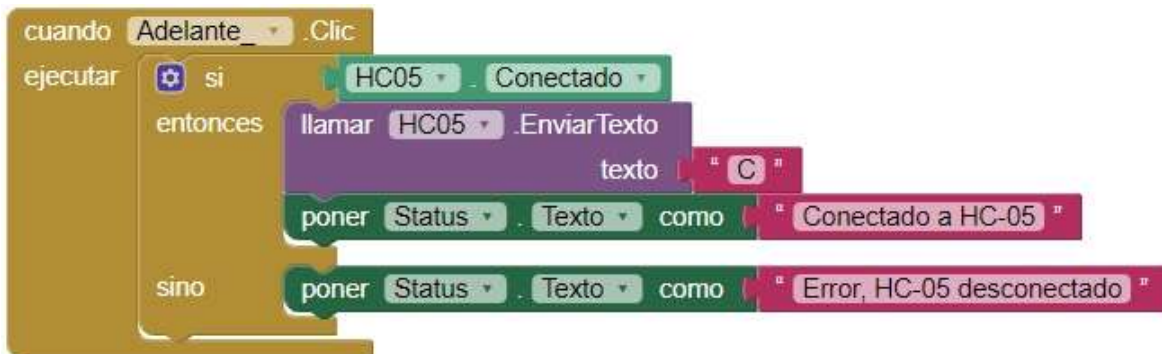


Figura AD - 7.

Configuración del botón Atrás

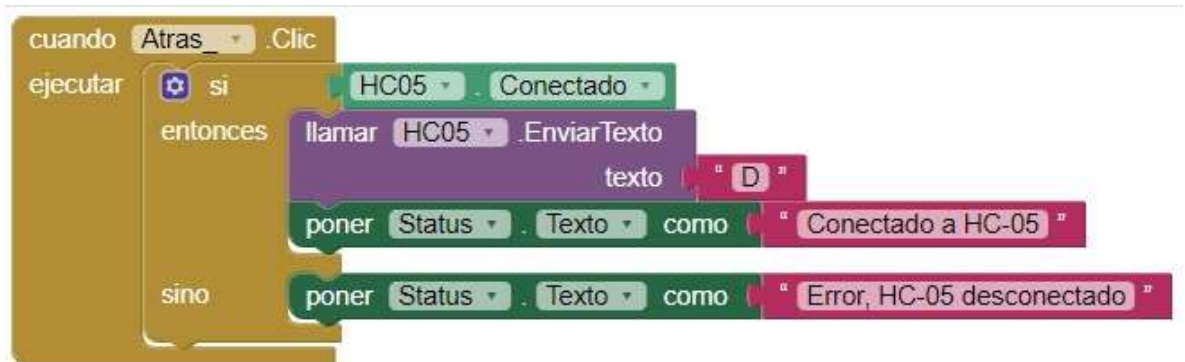


Figura AD - 8

Configuración del botón Izquierda

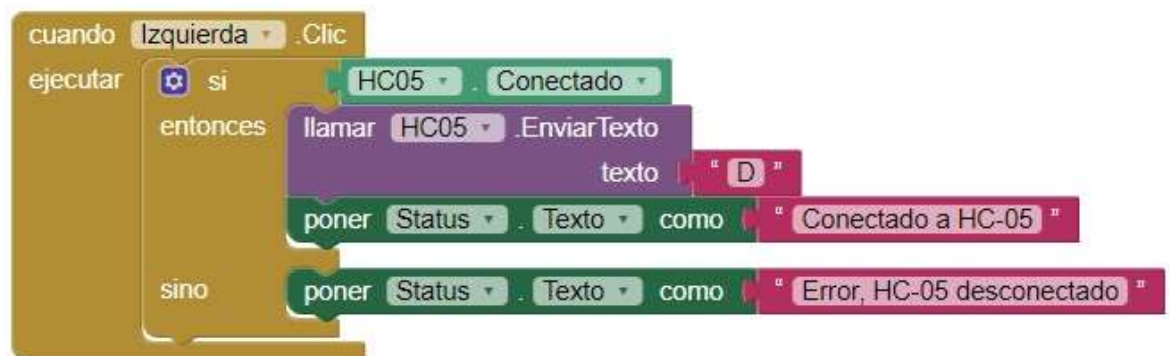
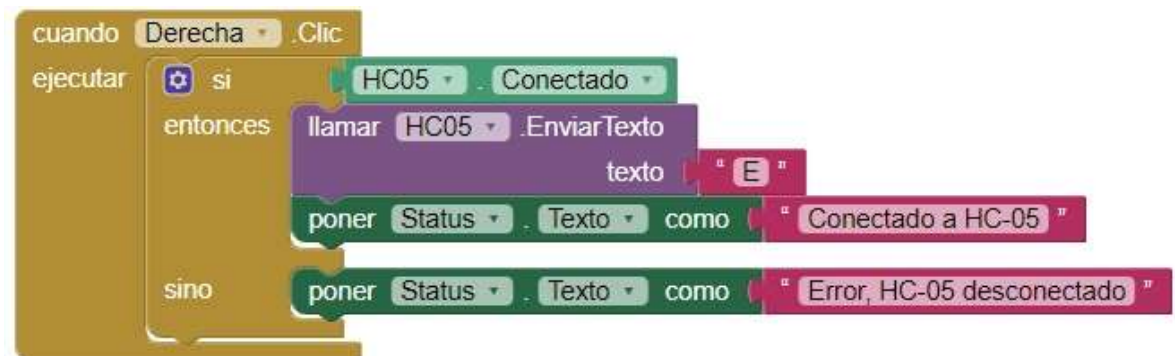


Figura AD - 9. *Configuración del botón Derecha*



Finalmente, la configuración del botón *Salir*, que termina el programa, se muestra en la Figura AD -10.

Figura AD- 10.

Configuración del botón Salir



APÉNDICE 1

Alternativa de reemplazo para la cámara Q7 HD Wi-Fi

El desarrollo del proyecto de tesis se llevó a cabo con la cámara Q7 HD Wi-Fi, sin embargo, desde octubre de 2019 la aplicación de visualización de la imagen de la cámara *SYSM Monitor* se encuentra obsoleta, de esta manera, se muestra una alternativa para el reemplazo de la cámara y el software sin cambios mayores en el sistema.

Se propone la migración al software de control de cámaras IP *Security Monitor Pro 6*, puesto que esta aplicación permite el control de más de 2 mil modelos de cámaras IP, entre las cuales se sugiere el uso de la cámara SAMSUNG SNH-E6411BN, mostrada en la Figura AP1-1, ya que es la que mejor se adapta al diseño mecánico del sistema.

Figura AP1- 1

Cámara Samsung SNH-E6411BN



Para la configuración de la transmisión en vivo del video captado por la cámara Samsung SNH-E6411BN en el software *Security Monitor Pro 6*, se requiere seguir los siguientes pasos:

1. Añadir la cámara IP. Para añadir la cámara IP, seleccionamos el ícono que se muestra en la Figura AP1 - 2.

Figura AP1 - 2

Añadir cámara



2. A continuación, seleccionamos la marca y el modelo de la cámara, como se observa en la Figura AP1 - 3. Efectuado este paso, puede observarse lo que la cámara capta en la ventana principal de la aplicación.

Figura AP1- 3

Selección de la cámara

Elija tipo de cámara y configure los ajustes

Elija el tipo de cámara

Cámara IP Cámara web

Ajustes de cámara

Cámaras encontradas: No se encontró ninguna cámara auto descubrible.

Si sabes los detalles de cámara entonces configura sus ajustes:

Dirección IP o URL:

Puerto: Puerto RTSP:

La cámara requiere autenticación:

Nombre de usuario:

Contraseña:

Marca:

Modelo:

Opciones de previsualización de cámara (opcional):

Resolución de video:

Nombre mostrado:

Rotar previsualización por: grados Ajuste inteligente de cámara en ventana

[Propiedades de Cámara](#)

[El IP de mi cámara no aparece en el listado](#)

3. Con la cámara configurada, seleccionamos el ícono de transmisión de video, Figura AP1 - 4.

Figura AP1- 4

Transmitir



4. En el cuadro de diálogo que se muestra, configuramos los parámetros de video como el perfil de transmisión, el puerto de transmisión y el tamaño del video de transmisión, tal como lo indica en la Figura AP1-5.

Figura AP1- 5

Transmisión de video en Security Monitor Pro



La interfaz de la aplicación Security Monitor Pro 6 permite la transmisión de imagen y video a través de internet sin tener que requerir de un servidor FTP externo. Por lo tanto, bastará con modificar la dirección IP en el programa Android para poder visualizar la transmisión del video en vivo.

El reemplazo de la cámara Q7 HD Wi-Fi por la cámara IP Samsung SNH-E6411BN no se efectuó dentro del proyecto debido al costo de la misma, pues excede los 4 mil pesos, sin embargo, se propone el reemplazo como trabajo a futuro para un mejor control de la imagen.

Referencias

- Alejandro Sánchez, D., & Cruz García, J. C. (2013). *Proyecto AVATOUR*. [Informe de servicio social, Universidad Tecnológica de la Mixteca, Instituto de Electrónica y Mecatrónica, Huajuapán de León, Oaxaca]. Recuperado el 26 de Noviembre de 2016
- Arduino Org. (08 de mayo de 2017). *Productos. Arduino Uno*. <http://www.arduino.org/products/boards/arduino-uno>
- Biendicho Lletí, F. (2015). *Comunicación Bluetooth entre Arduino UNO y Android aplicado a un detector de mentiras*. [Trabajo final de carrera, Universidad Politécnica de Valencia, I. T. Telecomunicación (Sonido e Imagen), Gandia]. <https://riunet.upv.es/handle/Memoria>
- Cádiz, F., Hevia, S. A., & Reyes, S. A. (2013). *Mecánica Clásica*. Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile. <http://info.sitios.ing.uc.cl/libros/Fisica.pdf>
- Castillo Ramírez, A. (2005). *Cinemática de las máquinas*. [Apuntes de materia, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, San Luis Potosí.]
- Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios. (23 de Octubre de 2012). Cascos de protección para la cabeza. 14. Coatzacoalcos, Veracruz, México. NRF-058-PEMEX-2012
- Creative Technologies Castilla. (2014). *Tipos de motores*. ctc-dev.verkstad.cc/es/course-literature/tipos-de-motores/d. (s.f.).
- Díaz Arias, A., & Quintero, H. F. (Abril de 2005). Sobre la determinación de la movilidad en los mecanismos. *Scientia Et Technica*, XI(27), 7. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84911698047>
- DIYMakers. (03 de Febrero de 2014). *Arduino+Bluetooth*. (A. García, & M. García, Editores) <https://diymakers.es/arduino-bluetooth>
- Fundación Empresa Seguridad y Sociedad. (Febrero de 2016). *La videovigilancia en la seguridad. Análisis y recomendaciones para su actualización legal*. www.fundacionesys.com/es/system/files/VIDEOVIGILANCIA%202016.pdf
- Herrera Escudero, A. (2014). *Sistemas de Coordenadas en 3D*. [Universidad Veracruzana, Veracruz]. <https://www.uv.mx/personal/aherrera/files/2014/05/03-Sistemas-de-Cordenadas-en-3D->

AHE.pdf&ved=2ahUKEwjZx_ynqKvbAhVEhq0KHsXtBHAQFjACegQIARAB&usg=AOvVaw2BFbDg8p4ERzADfTCw9EJg

Holgueras Castellanos, N., Rincón Pérez, M. J., & Riocerezo Ibizate, M. (16 de diciembre de 2013). *Introducción a la ciencia de las máquinas y mecanismos. Mecanismos espaciales*, [Universidad Carlos III de Madrid]. <https://prezi.com/gqmpugs8gvp2/mecanismos-espaciales/>

Hopkinson, N., R.J.M, H., & Dickens, P. (2006). *Rapid Manufacturin- An Industrial revolution for de digital age*. Publisher- John Wiley.

Impresoras 3D. (03 de Enero de 2018). *Filamento PLA: consejos, características y mucho más*. <https://www.impresoras3d.com/dilamento-pla-consejos-caracteristicas-y-mucho-mas/>

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (1997). *Manipulación Manual de Cargas*. [Guía técnica, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene, España]. www.insht.es/08-manipulacion-V

ITead Studio . (2010). *HC-05 Bluethooth to Serial Port Module*. [Hoja de especificaciones]. www.electronicaestudio.com>docs

J. Cañas, A., & D. Novak, J. (28 de Agosto de 2009). *¿Qué es un concepto?... desde la perspectiva de los mapas conceptuales*. (A. J. Cañas, & J. D. Novak, Edits.) cmap.ihmc.us/docs/concepto.html

Llamas, L. (6 de Agosto de 2016). *Tipos de motores rotativos para proyectos de arduino*. (L. Llamas, Editor, & L. Llamas, Productor). <https://www.luisllamas.es/tipos-motores-rotativos-proyectos-arduino/>

López Conde, J. E. (11 de Marzo de 2016). Impresoras 3D. *Nota de Futuro(2)*, 17. https://intranet.bibliotecasgc.bage.es/intranetmpl/prog/local_repository/documents/17854.pdf

López, G., & Margni, S. (2003). *Motores y sensores en robótica*. [Proyecto de Grado, Universidad de la República Oriental del Uruguay, Facultad de Ingeniería]. https://www.fing.edu.uy/inco/grupos/mina/pGrado/construccion2003/Documentos/Motores%2520y%2520Sensores.doc&ved=2ahUKEwjIkdXhv7DbAhURW60KHRtiCuMQFjADegQICRAB&usg=AOvVaw0FLranhIGExLV2uCy_1n46

Rubio Alonso, H. (2015). *Juntas Universales* . [Notas de Diseño Mecánico, Universidad Carlos III de Madrid, Diseño Mecánico- Ingeniería Industrial, Madrid]. http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/disenio-mecanico-1/material_clase/ocw_juntas/view

Salamaca Pachón, J. A., & Daza Figueredo, J. (2009). *Implementación de un sistema posicional con motores tipo paso a paso y servo controlados por computador* .

[Trabajo de grado, Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias Básicas, Bogotá].
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8373/tesis338.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sánchez Sánchez, R. (2008). *Conceptos y definiciones en cinemática*. (E. P. Superior, Ed.)
<http://www.uhu.es/rafael.sanchez/ingenieriamaquinas/carpetaapuntes.htm/Apuntes%20Tema%201.pdf>

Santiago Espinosa, F. (2012). *Los microcontroladores AVR de Atmel* (Primera ed.). (R. Ortiz Escamilla, Ed.) Huajuapán de León, Oaxaca, México: Universidad Tecnológica de la Mixteca.

Secretaría de la Función Pública. (14 de Marzo de 2017). *Elaboración de especificaciones técnicas*.
<https://www.gob.mx/sfp/acciones-y-programas/1-2-1-elaboracion-de-especificaciones-tecnicas>

SIEMENS. (2015). *Diseño Asistido por Computadora*.
https://www.plm.automation.siemens.com/es_mx/plm/cad.shtml

SolidWorks. (2015). *SolidWorks como herramienta CAD*.
<http://www.solidworks.com/sw/products/3d-cad/packages.htm>

Tadeo, A., Rico, J. M., Cervantes, J. J., González, M. A., Reyes, D., Duran, I., . . . Arzola, M. O. (2009). *Análisis cinemático de mecanismos esféricos*. Memorias del XV congreso internacional anual de la SOMIM. Cd. Obregón, Sonora, México: SOMIM.
http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2009/pdfs/A4/A4_115.pdf

Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2009). *Diseño y desarrollo de nuevos productos* (Cuarta ed.). (P. E. Roig Vázquez, Ed., & P. D. Development, Trad.) México: Mc Graw Hill.

Ultimaker. (16 de Mayo de 2017). *Ficha de datos técnicos PLA*.
<https://ultimaker.com/download/67583/TDS%2520PLA%2520v3>

Universidad de Málaga. (2006). *Manipulación Manual de Cargas*. [Manual de prevención, Universidad de Málaga, Vicerrectorado de Servicios a la Comunidad Universitaria, Málaga, España]. www.uma.es/prevencion

Universidad Politécnica de Madrid. (2006). *Sistemas de coordenadas y sistemas de referencias*. Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Física y Matemáticas.
[https://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/mecanica-y-mecanismos/Contenidos/Teoria/Anejo I sistemasreferencia.pdf&ved=2ahUKEwiOm0LapavbAhULRqwKHfGkABAQFjAMegQIBxAB&usg=AOvVaw248NSB18ju22_ZA7mcEoNm](https://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/mecanica-y-mecanismos/Contenidos/Teoria/Anejo%20I%20sistemasreferencia.pdf&ved=2ahUKEwiOm0LapavbAhULRqwKHfGkABAQFjAMegQIBxAB&usg=AOvVaw248NSB18ju22_ZA7mcEoNm)

Verdugo Rojas, W. M. (20 de Septiembre de 2015). *Motores, servomotores y motores paso a paso*. (W. M. Verdugo Rojas, Editor) SonRobots.com:
sonrobots.com/arduinos/motores-servomotores-y-motores-paso-a-paso/

- Vigil Sanabia, G. (2009). *Configuración matemática de un brazo robot con uniones de Cardan de trayectoria específica*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F]. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3329/vigilsanabria.pdf?sequence=1>
- Wohlers. (2012). *Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry*. Wohlers Associates. <https://blogs.sw.siemens.com/news/additive-manufacturing-platform-digital-industry/>
- Zahera , M. (2012). *La fabricación aditiva, tecnología avanzada para el diseño y desarrollo de productos*. [Memorias de congreso] Valencia. http://www.aepro.com/files/congresos/2012valencia/CIIP12_2088_2098.3870.pdf

