DEPARTAMENTO ADSCRIPCIÓN

Ingenierías

Opción o modalidad.

A2. Proyectos de Investigación Tecnológica

Título:

Diseño y Construcción de un brazo de robot de 4GDL basado en el modelo de McKibben

Nombre del Docente:

Dr. Sergio Díaz Zagal

No dictamen.

AS-1-144/2023

Nombre de los Revisores

M. en D. Mariano Trujillo Mendieta
M. en C. E. Víctor Rivera Cortés
Ing. Jesús Paredes Pedraza.

Vo.Bo

Firma y nombre de

Persona(s) Revisora(s)

Fecha
22 de Enero de 2024

ÍNDICE

I. Identificación del Proyecto…… 1

II. Resultados…….. 2

1. Resumen del Proyecto……. 2

a) Introducción ……..…… 2

b) Objetivos ……..…… 3

c) Metas ……..…….. 4

d) Desarrollo y resultados del proyecto ……..…… 5

2. Metas Cuantificables ……..…….. 7

3. Metodología ……..……... 9

4. Bibliografía ……..…… 9

5. Anexos ……..……... 12

REPORTE INTERMEDIO CORRESPONDIENTE AL PROYECTO DE AÑO SABÁTICO FEB 2023 - ENE 2024

I. Identificación del Proyecto

FECHA DE ELABORACIÓN: 01 (DÍA) 08 (MES) 2023 (AÑO)

Nombre de la Institución:
Instituto Tecnológico de Toluca

Título del Proyecto	**Responsable del Proyecto:**
Diseño y Construcción de un brazo de robot de 4GDL basado en el modelo de McKibben	Dr. Sergio Díaz Zagal **Correos electrónicos:** diazz.sergio@gmail.com / sdiazz@toluca.tecnm.mx
Modalidad A.1, A.2 Y A.3 Proyecto De Investigación Científica, Tecnológica O Educativa	**Tipo de investigación:** Científica ( ) Tecnológica (X) Educativa ( )
Periodo que se reporta Del 01/febrero/2023 al 31/Julio/2023	
Duración del Proyecto: 1 año	
Fecha de Inicio: 01 de Febrero de 2023	**Fecha de Término:** 31 de Enero de 2024

II. Resultados

1. Resumen del Proyecto

a) Introducción

Actualmente el concepto de internet ha tomado fuerza en diferentes ámbitos: por ejemplo, en el ocio, el mundo de las empresas, ámbito académico, redes sociales, en todos lados, de alguna u otra manera está dejando huella.

Hoy en día la conectividad a internet es un servicio casi universal, la mayoría de las personas en los países desarrollados se encuentran conectadas y la gran novedad es que empiezan a conectarse también los objetos electrónicos [Telefónica, 2016]. El uso de esta tecnología a nivel educación ha tenido un crecimiento importante, estas nuevas tendencias han permitido modificar la forma en que los alumnos acceden a los contenidos de cada una de las asignaturas que reciben, aumentando la calidad del aprendizaje con esquemas más flexibles como cursos en línea, videoconferencias y páginas web dedicadas a la transmisión de conocimiento.

La implementación de este modelo de educación no resulta ser un problema cuando el objetivo de aplicación es en la enseñanza de ciencias sociales y humanistas, donde los recursos existentes como multimedia y textos presentes en internet son suficientes para satisfacer con los objetivos de enseñanza. Caso contrario, en la aplicación de estudios de ciencias físicas y de ingeniería presenta un desafío, ya que además de los recursos de texto y multimedia que solo proporcionan los aspectos teóricos, es indispensable considerar los laboratorios de práctica [Williams, 2007]. Esto es fundamental en la enseñanza de la física, ingeniería y la investigación ya que permiten entender mejor los conceptos y también permiten construir nuevo conocimiento.

Sin embargo, contar con laboratorios presenta diversas desventajas, como puede ser el riesgo cuando se hace la experimentación en entornos nocivos para el ser humano, la infraestructura, la poca disponibilidad de los equipos, etc. En este sentido, se ha realizado un esfuerzo considerable en la utilización de las nuevas posibilidades que se ofrecen para el desarrollo de prácticas a distancia a través de internet por medio de los laboratorios virtuales y los laboratorios remotos.

Los inconvenientes que presentan los laboratorios tradicionales son solventados con la implementación de laboratorios remotos, la cual no implica reemplazar las prácticas presenciales, sino que pretenden completar la educación a través de experiencias remotas con equipos reales, es decir tele-presencia, con la flexibilidad de poder elegir tiempo y lugar para realizar la práctica.

El desarrollo de este prototipo de brazo de robot, permitirá a los alumnos de las materias de Microcontroladores e Internet de las cosas, puedan desarrollar prácticas aplicando sus habilidades teóricas aprendidas en las aulas y explotar su creatividad, manipulando y aplicando nuevas formas de controlar este prototipo a través de aplicaciones móviles.

Así mismo los alumnos de control podrán poner en práctica los diferentes métodos de control en este sistema dinámico, y tener más visión de sus aplicaciones, más allá de controlar la velocidad de un motor.

Para el desarrollo del proyecto se cuenta con recursos propios, para el diseño del prototipo se utiliza el software solidworks. Por otra parte, este proyecto se limitará al desarrollo del prototipo virtual y, el desarrollo de un brazo de robot de manera física, así como la puesta en marcha de manera básica (control de lazo cerrado), para que en un futuro se realicen diferentes tipos de control, para la manipulación a distancia aplicando internet de las cosas, así como de algún control de lazo cerrado, de la misma manera se desarrolle investigación del control del brazo de robot que pueda competir con lo que existe actualmente de manera internacional.

b) Objetivos:

El Objetivo General de este proyecto es:

Diseño y Construcción de un prototipo de un brazo robot de 4 GDL, basado en el modelo de McKibben, bajo estándares de calidad en el material, y empleando tecnología Arduino, para aplicarlo en prácticas en las asignaturas de Microcontroladores, Control, Internet de las cosas e investigación científica.

Además del objetivo general, se derivan varios objetivos particulares que fundamentan la propuesta, los que, al tratarse de un plan estratégico, algunos de éstos serán logrados a corto, mediano y largo plazo:

1. Buscar de estado del arte.
2. Estudiar y determinar los requerimientos del diseño y desarrollo del prototipo físico del brazo de robot y de los músculos artificiales.
3. Modelado del diseño del prototipo virtual del brazo de robot de 4 grados de libertad.
4. Diseñar y simular el sistema electrónico de control básico del brazo de robot.
5. Desarrollar e Implementar el prototipo del brazo de robot de 4 grados de libertad con los músculos artificiales.
6. Desarrollar e Implementar el sistema de control electrónico del brazo de robot.
7. Ajustar el prototipo y el control del prototipo del brazo de robot.
8. Prueba final del prototipo del brazo de robot y el control básico.
9. Documentar todo el tiempo para el informe final.

c) Metas:

En el desarrollo de este proyecto, se contempla 2 metas importantes:

Metas Científicas:

Publicación de 2 artículos en congresos internacionales y/o nacionales, así como la posibilidad de publicación en una revista arbitrada.

Estudio, diseño y el desarrollo del prototipo de un brazo de robot de 4 grados de libertad, que impactará directamente al programa de Ingeniería mecatrónica, y al TecNM.

Este prototipo servirá como base para el desarrollo de un laboratorio virtual de robótica, así como el inicio del control de otras máquinas para reforzar las materias que contemplan prácticas.

Metas para la formación de Recursos:

Adicional a las metas científicas, se establece como meta la formación de recursos humanos. En este sentido, el objetivo es guiar y asesorar a estudiantes, proporcionándoles los elementos necesarios para que efectúen un buen trabajo en el desarrollo de la investigación. También se tiene estipulado la incorporación de alumnos a la investigación. Se proponen dos alumnos de Licenciatura, para colaborar en la investigación de este trabajo, realizando servicio social y Residencia Profesional.

Como se ha mencionado, el presente proyecto se centra en un nuevo diseño tomando como base trabajos anteriores, para el desarrollo y puesto en marcha del prototipo de un brazo de robot de 4 GDL, para ello se basa en el marco de trabajo antes mencionado, bajo la gestión de ingeniería de sistemas (IS) para darle la formalidad al trabajo, como el análisis de requerimientos, gestión y desarrollo del proyecto.

Para lograr los objetivos y metas trazados previamente, apoyados de metodologías de Ingeniería de Sistemas, es necesario cumplir seis etapas:

Etapa 1. Diseño y modelado del prototipo del brazo de robot de 4 GDL. En esta etapa se realizará el estudio de los requerimientos necesarios para desarrollar el diseño y modelado, es decir desde el estudio funcional del prototipo del brazo de robot, hasta la elección del material para el desarrollo del prototipo físico y la interfaz electrónica para el control básico. Esta etapa es muy importante porque de ella depende que el prototipo esté libre o que tenga el mínimo de errores, para la construcción física del prototipo.

Etapa 2. La funcionalidad del prototipo físico es fundamental. Etapa es relevante porque una vez obtenido los requerimientos de la etapa anterior, se realiza el diseño y el modelo del prototipo virtual, de la misma manera se podrá realizar la propuesta de las etapas de las interfaces para el control del brazo de robot de 4 GDL.

Etapa 3. Estudio y desarrollo de las interfaces y la elección de la electrónica embebida (tarjeta electrónica, sensores, componentes electrónicas etc) para la comunicación entre la interface y el brazo de robot de 4 GDL. En esta etapa se realizarán pruebas de los sensores y la electrónica embebida para el acoplamiento entre el brazo de robot con las interfaces, para observar el funcionamiento del brazo de robot.

Etapa 4. Desarrollo de la simulación de la cinemática del brazo de robot y de su control. En esta etapa se desarrollará la simulación de la cinemática directa e inversa del brazo de robot de 4 GDL, a partir de su base. Así mismo se desarrollará la interfaz empleando tecnología arduino.

Etapa 5. Pruebas y resultados. En esta etapa se llevarán a cabo las pruebas pertinentes de manera paralela con el desarrollo de cada etapa, así como las pruebas finales del sistema mecánico y la interfaz de control con arduino, con sus respectivas correcciones y adaptaciones según se vayan presentando.

Etapa 6. Difusión de logros alcanzados. A lo largo del desarrollo de la presente investigación, se tiene contemplado el desarrollo y presentación de trabajos para publicación en foros de alcance nacional y/o internacional y de reconocido prestigio con los que se pretende dar a conocer los resultados obtenidos. Así mismo se tiene contemplado la publicación de dos artículos en congreso un artículo en una revista científica con arbitraje.

d) Desarrollo y resultados del proyecto:

El cronograma de la Figura 1.1 muestra, de manera visual, los compromisos adquiridos en el Programa de actividades del Año Sabático - Convocatoria 1-2023 (Formato PS–02), en color azul se observan las actividades las programadas y en color verde las actividades concluidas durante el primer semestre.

ACTIVIDAD		MESES											
		REPORTE INTERMEDIO (01 FEB – 31 JUL 2023)											
		FEB´23	MAR´23	ABR´23	MAY´23	JUN´23	JUL´23	AGO´23	SEP´23	OCT´23	NOV´23	DIC´23	ENE´24
Buscar estado del Arte.	P												
	R												
Analizar el diseño del brazo de robot base	P												
	R												
Diseñar el Brazo de robot en solidworks	P												
	R												
Redactar un artículo para revista o congreso	P												
	R												
Redactar avance del documento	P												
	R												
ENTREGA DEL REPORTE INTERMEDIO 50%, seleccione el periodo		**( ) Semestre Sabático**: 1° febrero al 31 de Julio de 2023 **(X) Año Sabático**: 1° febrero al 31 de Enero de 2023											

Figura 1.1 Cronograma de actividades propuesto del primer semestre (reporte intermedio).

ACTIVIDAD								REPORTE FINAL (01 AGO 2023 – 31 ENE 2024)					
		FEB´23	MAR´23	ABR´23	MAY´23	JUN´23	JUL´23	AGO´23	SEP´23	OCT´23	NOV´23	DIC´23	ENE´24
Maquinar las piezas de brazo de robot	P												
	R												
Construir y armar el brazo de robot	P												
	R												
Desarrollar la interfaz electrónica para su control básico	P												
	R												
Probar y analizar resultados	P												
	R												
Redactar un segundo artículo	P												
	R												
Ajustar y corregir el sistema mecánico y el control en lazo abierto	P												
	R												
Redactar el Documento final	P												
	R												
ENTREGA DEL REPORTE FINAL 100%, seleccione el periodo		**( ) Semestre Sabático**: 1° febrero al 31 de Julio de 2023 **(X) Año Sabático**: 1° febrero de 2023 al 31 de Enero de 2024											

Figura 1.2 Cronograma de actividades propuesto del segundo semestre (reporte final).

Las actividades cumplidas en el cronograma corresponden al 100% de avance del trabajo de investigación. En la Tabla 1.1 se sintetizan los compromisos adquiridos durante el periodo del año sabático, posteriormente se especifica cada actividad realizada y los productos obtenidos.

Tabla 1.1 Proyecto Académico de Sabático Calendarizado.

Período:	Porcentaje de avance	Descripción sintética, precisa y exacta, que corresponde al porcentaje de avance programado.
Del 01 de febrero de 2023 al 31 de Enero de 2024	**100%**	• Búsqueda estado del arte, con bibliográfica de información de las temáticas que aborda el proyecto y que formalizan la propuesta. • Estudio del Estado del Arte y Estado de la Técnica, con el fin de seleccionar y analizar los temas directamente vinculados con diseños de brazos de robot, basados en el modelo de McKibben. • Análisis del diseño del brazo de robot base y de trabajos similares desarrollados en trabajos anteriores. • Estudio y desarrollo de los requerimientos para el diseño del brazo de robot. • Diseño del brazo y piezas del brazo de robot. • Modelado del brazo de robot. • Primera publicación. • Entrega del Reporte Intermedio. • Maquinar piezas de robot • Armar el brazo • Desarrollar la interfaz electrónica • Probar la interfaz electrónica y analizar resultado • Redactar el segundo artículo • Ajustar el sistema mecánico y control a lazo abierto • Redactar el documento del reporte final

Las actividades realizadas, en el periodo sabático del 1 de Febrero de 2023 al 31 de Enero de 2024 son:

1. Durante este primer semestre, se realizó una Investigación documental. La finalidad fue la búsqueda bibliográfica en diversas fuentes, contemplando dos propósitos.
   El primero consistió en buscar todos los documentos que hayan abordado temas de brazos de robot.

   El segundo se centró en buscar los documentos, sitios web. Esta búsqueda se realizó en artículos, libros, tesis, patentes y/o registros, documentos electrónicos, sitios Web, imágenes, videos y algunas redes sociales que trataran contenido atractivo e interesante relacionado a la temática.

El resultado de esta actividad se muestra en el Anexo A1, que integra una síntesis de los documentos consultados y que sirvieron de base para generar la propuesta de diseño del brazo de robot.

Al mismo tiempo, en este periodo se asesoró a 2 alumnos de licenciatura, con temas relacionados al proyecto:

a) 1 alumno de licenciatura, en Residencia Profesional y
b) 1 alumno de licenciatura, en Servicio Social.

Nota: los datos de los alumnos se detallan en la sección 2.

En este periodo de Febrero a Julio de 2023, se definió el diseño del brazo de robot de acuerdo a las especificaciones estudiadas. Como resultado, de este trabajo se realizaron dos publicaciones como Autor Principal y una como Co-Autor. Los detalles se observan en la sección 2 y las evidencias se muestran en los Anexos del A2 al A5.

2. Para el segundo semestre se desarrolló el maquinado de cada una de las piezas diseñadas en el primer semestre, así como el diseño y construcción del circuito de control electrónico, en lazo abierto, para probar los músculos y el mecanismo del brazo, se hicieron ajustes del sistema mecánico.

En el periodo de Agosto de 2023 a Enero de 2024, se armó y probó el brazo de robot, así como el circuito de control de lazo abierto. Se redactó el documento del reporte final, finalmente se asesoró a un alumno de residencia profesional.

2. Metas Cuantificables

Metas cuantificables	Cantidad programada	Cantidad lograda	Observaciones
Incorporación de estudiantes de licenciatura al proyecto, créditos complementarios			
Incorporación de estudiantes de licenciatura al proyecto, servicio social	1	1	A1. Su liberación será en el mes de Julio o Agosto
Estudiantes con residencia concluida	1	2	A2. Los trabajos Serán liberados en los primeros días de Agosto de 2023 y Enero de 2024
Tesis en desarrollo de Licenciatura	0	0	
Tesis concluida de Licenciatura			
Tesis en desarrollo de Maestría			
Tesis concluida de Maestría			
Tesis en desarrollo de Doctorado			
Tesis concluida de Doctorado			
Artículos científicos publicados en revistas indizadas enviados			
Artículos científicos en revistas arbitradas enviados	2	2	Las evidencias se encuentran en los Anexos: A5 - como Autor Principal y A6 - como Co-Autor.
Artículos de divulgación publicados			
Memorias en extenso en congresos	1	2	Las evidencias se encuentran en los Anexos: A3. como Autor Principal y A4 - como Co-Autor.
Capítulos de libros enviados para revisión	0	2	Los Capítulos de libro ya fueron enviados, aceptados y están en proceso de ser publicados. Las evidencias se encuentran en los Anexos: A7 - como Autor Principal y A8 - como Co-Autor.
Libros enviados para revisión			
Libros editados y publicados			
Registro de Patente (IMPI)			
Registro de Modelo de Utilidad (IMPI)			
Registro de Signos Distintivos (IMPI)			

Registro de Diseño Industrial (IMPI)			
Registro de Esquemas de Trazado de Circuitos Integrados (IMPI)			
Registro de Obra (INDAUTOR)			
Carta de Usuario (Empresa)			

Metas Cumplidas:

Estudiantes residentes participantes en el proyecto:	
Fecha	Nombre de los estudiantes residentes, nombre del proyecto de residencia y su Programa Educativo
Febrero – Julio 2023	Jesica Trujillo Tavira, No de Control 17280014, Título del proyecto de Residencia Profesional: Rediseño del Sistema y Diseño de un Músculo Artificial de Mckibben para Pruebas Isométricas e Isotónicas. Alumna de Ingeniería Mecatrónica.
Agosto-Diciembre 2023	Israel López Bárcenas, No de Control 17281102, Título del proyecto de residencia profesional: Interfaz Gráfica de Control de un Banco de Pruebas de un Músculo Artificial de McKibben. Alumno de Ingeniería Mecatrónica
Incorporación de estudiantes de licenciatura al proyecto, servicio social:	
Fecha	Nombre de los estudiantes incorporados y su Programa Educativo
Feb – Julio 2023	Paola Ximena Vígil Ávila con No de Control 19280539, estudiante de Ingeniería Mecatrónica
Artículos científicos publicados congreso:	
Fecha	Nombre del Trabajo:
03-05/Jun/2023	1er congreso Internacional Virtual en Educación para el Desarrollo Sostenible EDES 2023. Organizado por el Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente, CENID A.C. celebrado los días 3,4 y 5 de mayo del 2023. Guadalajara, Título del Artículo publicado: Sistema multiplataforma para el control de lazo abierto de un par de músculos artificiales de McKibben empleando IoT, en prácticas a distancia. ***Trabajo publicado como Autor Principal.***
03-05/Jun/2023	1er congreso Internacional Virtual en Educación para el Desarrollo Sostenible EDES 2023. Organizado por el Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente, CENID A.C. celebrado los días 3,4 y 5 de mayo del 2023. Guadalajara. Título del Artículo publicado: Modelo para la transferencia de conocimiento y de tecnología del Sistema Educativo del TecNM. ***Trabajo publicado como Co-Autor.***
Artículos científicos publicados o enviados en revistas arbitradas:	
Fecha	Nombre del Trabajo:
02/Jun/2023	Revista Electrónica sobre Cuerpos Académicos y Grupos de Investigación. Revista Arbitrada, con ISSN: 2448-6280. Título del Artículo publicado: Sistema multiplataforma para el control de lazo abierto de un par de músculos artificiales de McKibben empleando IoT, en prácticas a distancia. Link: http://www.cagi.org.mx/index.php/CAGI/article/ view/296 ***Trabajo publicado como Autor Principal.***
02/Jun/2023	Revista Electrónica sobre Cuerpos Académicos y Grupos de Investigación. Revista Arbitrada, con ISSN: 2448-6280. Título del Artículo publicado: Modelo para la transferencia de conocimiento y de tecnología del Sistema Educativo del TecNM. Link: http://www.cagi.org.mx/index.php/CAGI/article/ view/296. ***Trabajo publicado como Co-Autor.***
Capítulo(s) de libros enviados para revisión:	
Fecha	Nombre del Trabajo:
16/Jun/2023	Capítulo del libro electrónico “Sistema multiplataforma para la caracterización de músculos artificiales de McKibben empleando IoT, en prácticas a distancia”. El que actualmente se encuentra en proceso de publicación. ***Trabajo publicado como Autor Principal.***
16/Jun/2023	Capítulo del libro electrónico “Modelo de Transferencia de conocimiento y de tecnología para las IES”. El que actualmente se encuentra en proceso de publicación. ***Trabajo publicado como Co-Autor.***

A continuación, se describe el desarrollo del proyecto siguiendo la metodología indicada.

3. Metodología

El desarrollo de esta propuesta de proyecto se basará en el marco de trabajo de Gutiérrez [Gutiérrez, 2016], desarrollado en este Instituto tecnológico de Toluca, que consiste en una combinación de modelos de cascada con incremental-evolutivo, basado en Ingeniería de software. Después de un análisis de bibliografía y de experiencia personal en el laboratorio de robótica, del Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas de Toulouse Francia (INSAT), el trabajo se describe de la siguiente manera:

3.1 Etapa de Análisis

Para esta etapa del trabajo de investigación, además de tener los conocimientos del funcionamiento del brazo de robot del cual se parte, tomando en cuenta la estancia en el laboratorio de robótica y observando los problemas que se tenía al momento de controlarlo, se recopiló y analizó la información complementaria obtenida, logrando elegir y disminuir el número de artículos, patentes, y tesis desarrollados sobre el mismo brazo a considerar, aportando información integral y definida centralizada en los objetivos principales y apegándose a las limitaciones del proyecto.

El presente proyecto se origina de los problemas en la manipulación y control del brazo de robot, diseñado y construido en el laboratorio de robótica del Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas de Toulouse Francia, por el Investigador Bertrand Tondu [Tondu, 2005].



Figura 3.1 Brazo de robot de 7 grados de libertad (Desarrollado en INSA, Toulouse).

El brazo de la figura 3.1, se trata de un brazo de 7 GDL, con músculos artificiales de McKibben, donde cada grado es accionado por un par de músculos artificiales antes mencionados. El problema en este brazo radica en el diseño mecánico y en los músculos propios (en los músculo artificiales); debido al rozamiento interno entre el caucho y la trenza que lo cubre, y en la parte mecánica; por el tipo de sistema a base de poleas y por la corta distancia entre músculos, se produce un rozamiento entre ellos, todo el sistema en conjunto hace que al emplear cualquier tipo de control clásico en la manipulación del brazo se produzcan saltos en el movimiento, y dificulte llegar a la posición objetivo.

Derivado de lo anterior se pensó en el siguiente diseño, modificando el sistema a base de poleas tiradas por cordones y cadenas de bicicletas y sistema de engranes, del brazo del laboratorio del INSAT. Cabe hacer la mención que, en este trabajo de investigación, se pensó solamente en el diseño de un brazo de robot de 4 GDL, dejando pendiente los 3 grados de libertad restantes, correspondientes al movimiento de la muñeca.

3.1.1 Requerimientos.

Para el desarrollo del diseño del brazo de robot de 4GDL, las especificaciones de requerimientos son importantes, partiendo del cumplimiento de los objetivos. Esta fase dio inicio con la siguiente propuesta:

"el objetivo es el desarrollo del diseño de un brazo robot de 4 GDL con músculos de Mckibben como actuadores principales para el rango de movimiento idéntico al de un ser humano, el cual debe ser optimizado, para ser utilizado como herramienta, sin embargo los sistemas de control electrónicos quedaran pendientes para un trabajo futuro, por lo que el enfoque es el diseño y parte del mecanizado optimizado, eficiente y de chasis ligero, así como un rango de movimientos acorde a los movimientos de la biomecánica de un brazo humano, estandarizando la longitud nominal de los actuadores (músculos artificiales) y dirigir mediante sistemas mecánicos, la contracción y traducirla en el rango de movimiento por grado de libertad, lo que dará el área de trabajo total del brazo en donde se desempeñará según la tarea a la que sea dirigida, tendrá el soporte necesario para implementaciones futuras, de carácter estructural o de control".

A continuación, se realizó la clasificación de los requerimientos funcionales y no funcionales.

Requerimientos Funcionales:

- Estandarización de músculos de Mckibben.
- Construcción de músculos de Mckibben resistentes y eficientes.
- Sistema de guía lineal para músculos de Mckibben.
- Sistema de soporte resistente a carga axial en músculos de Mckibben.
- Transmisión adaptada para traducir el intervalo de contracción de los músculos artificiales en el rango de movimiento según la articulación designada.
- Uso de transmisión eficiente y rodamientos para minimizar los efectos de fricción en el sistema.
- Rango de movimiento óptimo o similar a la biometría humana según la articulación.
- Resistencia a esfuerzos combinados.
- Topes mecánicos (limitación de movimiento).

Requerimientos No Funcionales:

- Compactación de la longitud nominal del músculo.
- Proceso de maquinado convencional en 2 y 3 ejes.
- Peso y tamaño del chasis.
- Materiales comerciales para la fabricación de los músculos artificiales.
- Predicción no disponible sobre el comportamiento (posible curvatura en la estructura) al activar los músculos.
- Transmisión no directa.
- Articulaciones no excéntricas.

3.2 Etapa de Diseño

3.2.1 Definición de los actuadores (músculos)

El diseño de los actuadores es el sustento principal de todo el sistema, con un diseño adecuado eficiente, robusto y con la longitud nominal adecuada a una escala que sea similar a las dimensiones de un brazo humano promedio.

La implementación del músculo debe estar alineado a los sistemas de transmisión, que serán los encargados del movimiento del brazo.

El músculo de Mckibben está compuesto por una vejiga de hule o algún material visco-elástico, puede ser goma o látex e incluso algún tipo de silicona, este material es el primordial porque necesita contener y soportar presión neumática, cubierto de una malla trenzada, este principio lo que hará será principalmente convertir la expansión del material en desplazamiento lineal.

Enseguida está el diseño de la admisión de aire para la vejiga Figura 3.2, en este caso se utilizaron Puntas Pol de 3/8" con espiga, a la cual se le aplicaron operaciones de maquinado para favorecer al actuador compactando su tamaño, además de que se le aplico un machueleado de ¼" NPT para ingresar conectores neumáticos racor de conexión rápida de ¼" NPT (estándares comerciales), estos son para la entrada de aire, y para evitar la salida se ocupa un tapón NPT Allen de ¼", utilizando cinta de teflón se sella cualquier fuga de aire, a la vez se les aplica un maquinado posterior, con esto se pueden sujetar de ambos extremos utilizando anillas de seguridad con estándar DIN y conseguir que se pueda sujetar de ambos lados.



Figura 3.2 Materiales utilizados para la fabricación del músculo.

Al terminar las pruebas de longitud nominal y longitud de contracción utilizando un par de configuraciones para optimizar el diseño, se estandarizo la longitud del músculo en 220mm logrando que la longitud de contracción fuera mayor al 20% logrando un intervalo de 174mm a los 176mm según los cálculos, teniendo alrededor del 1% al 2% de excedente en la contracción.

En la Figura 3.3 se muestra una prueba con una presión estandarizada en 4.5 a 4.6 bares de presión para esas versiones.

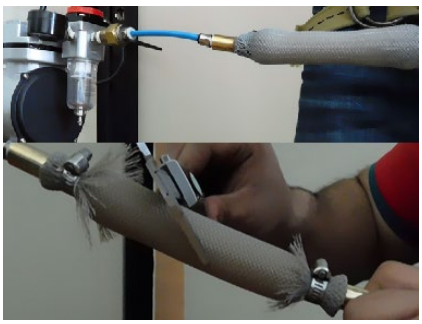


Figura 3.3 Metrología y métodos de fabricación para el Músculo de Mckibben.

En la Figura 3.3 se aprecia la serie de pruebas y las mejoras sistémicas aplicadas a los actuadores con las cuales se obtuvo el estándar deseado para los actuadores aplicados al sistema.

3.2.2 Definición del sistema mecánico

El modelo mecánico, presenta además del sistema mecánico, músculos, sistemas guía, sujeción, topes limitantes de movimiento, relación de transmisión, estandarización, e incluso modulación por GDL.

Una parte importante y problema que presentó el prototipo desarrollado en el laboratorio de robótica del INSAT, fue con los músculos, la definición del espacio que ocupan (esto se logra mediante pruebas de calibre de la goma o visco elástico utilizado en el interior de la malla trenzada cuya función es limitar el diámetro de expansión al ingresar presión neumática y convertir esa expansión diametral en contracción axial), por eso el tamaño y el espacio, se determinó la longitud nominal que a su vez está relacionada con los sistemas de transmisión (poleas) para que su longitud de contracción final al aplicarle presión neumática, sea la adecuada para el rango de movimiento por GDL. Cada articulación tiene un rango de movimiento determinado por las limitaciones naturales en el ser humano, la biometría nos proporciona el rango de movimiento normal para una persona promedio, estos datos son principales y necesario para este proyecto.

Para cada simulación existen planos (croquis) en ciertas piezas de cada articulación de la estructura que permiten visualizar el rango de movimiento total efectivo (es decir el desplazamiento en grados que tendrá por GDL), esto con el fin de crear la mecánica adecuada sin invadir o interceptar con alguna pieza propia del brazo (al realizar algún movimiento, que este no intercepte con el mismo soporte o se interponga al realizar el movimiento – fluidez de movimiento).

3.2.2.1 Modelado del brazo de robot de 4 grados de libertad

La estructura del brazo de robot de 4 grados de libertad (figura 3.4), representan la estructura de un brazo humano accionados por músculos esqueléticos, así que los 4 grados de libertad están distribuidos de la siguiente manera: 3 grados del hombro, y 1 grado del codo, los 3 grados restantes que componen la estructura del brazo humano, no son representados en este proyecto, ya que representan los 3 grado de la muñeca de la mano, que más adelante en un futuro proyecto será desarrollado.

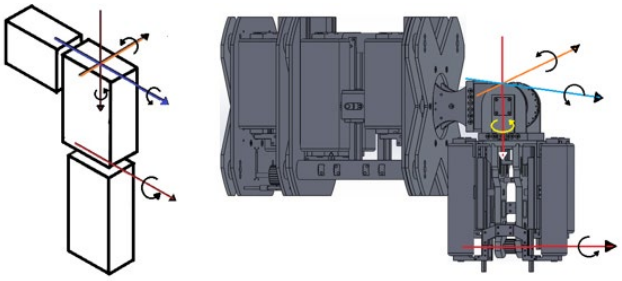
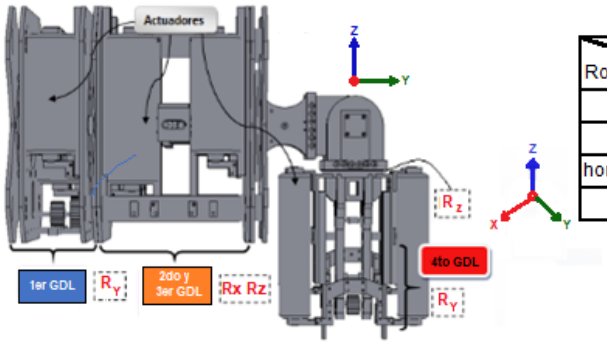


Figura 3.4. Deflexiones angulares del brazo de robot

Deflexiones angulares:

Las deflexiones angulares del brazo de robot mimetizan lo más cercanamente posible a las articulaciones del brazo humano, en la tabla siguiente presenta los valores máximos de deflexión angular:



Eje / Rotación	x	y	z
hombro	0°	190° ± 2°	0°
hombro	190° ± 2°	0°	0°
hombro (húmero)	0°	0°	190° ± 2°
códo	0°	145° ± 2°	0°

Figura 3.5 Rangos de movimientos de la biomecánica del brazo de robot

En la Figura 3.5 se puede apreciar el rango de movimientos de la biomecánica del brazo anexando una tabla que permite visualizar el movimiento máximo por articulación, ya que el modelo presentado añade una modificación en la articulación del húmero, esta articulación presenta un rango de movimiento diferente al del intervalo humano, la justificación ante ello es aprovechar la máxima área posible de trabajo, en un principio el húmero consideraría la posibilidad de ser colocado en 2 posiciones (frontal y reverso) para aprovechar la rotación del humero al máximo considerando un ángulo de 190 grados en vez de los 90 grados positivos según el área de trabajo estipulada, sin embargo, la relación de transmisión permite que el movimiento sea suficiente como para rotar más allá de los grados positivos permitidos por un humero humano, aumentando el área de trabajo positiva y eliminando la opción considerada de una colocación frontal o en reverso para su operatividad.

Eje / Rotación	Brazo humano	Brazo de Robot	Tipo de Movimiento
hombro	$50° \leq \theta1 \leq 180°$	$0° \leq \theta1 \leq 180°$	abducción/aducción del hombro
hombro	$30 \leq \theta2 \leq 180°$	$0° \leq \theta2 \leq 180°$	Flexión/extensión del hombro
húmero	$90° \leq \theta1 \leq 80°$	$95° \leq \theta1 \leq 95°$	Rotación Externa/Interna
códo	$0° \leq \theta1 \leq 145°$	$0° \leq \theta1 \leq 145°$	Flexión/extensión del codo

Tabla 3.1 Analogía humana de los movimientos del brazo de robot

Los movimientos del brazo de robot fueron analizados con respecto a la analogía humano, según los movimientos de las articulaciones del brazo humano. En la tabla 3.1 representa la comparación de los movimientos y valores angulares a manera de resumen, entre los del brazo humano y los del robot con músculos artificiales. Para el buen funcionamiento del brazo de robot de 4GDL, se desarrolló el modelado cinemático e inverso del mismo.

3.2.2.2 Modelo geométrico directo

La figura 3.6 muestra la ubicación esquemática de las referencias del brazo de 4 GDL, se puede observar que la referencia {0}, ha sido omitida porque coincide con la referencia {1}. A fin de simplificar el esquema, solo los ejes X y Z, de las referencias han sido marcadas. La longitud del brazo ha sido marcada con la letra A, y el antebrazo con la letra B.

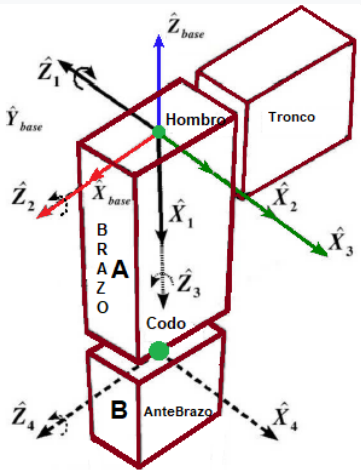


Figura 3.6. Esquema de referencias del brazo de robot de 4 GDL

En la tabla 3.2 Se observa el esquema de referencias, de los cambios de ejes para las rotaciones que ejercen los músculos, para los movimientos del brazo de robot en sus 4 GDL.

Empleando los parámetros de Denavit-Hartenberg, se dedujeron los valores de los parámetros α_{i-1}, a_{i-1}, d_i, θ_i del brazo de robot mostrado en la siguiente tabla 5, los valores α_{i-1}, a_{i-1}, d_i son parámetros constates, solo el parámetro θ_i es variable, todas las articulaciones como se puede observar son de tipo rotación.

	axe_i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
Brazo	1	0	0	0	θ1
	2	π/2	0	0	θ2 π/2
	3	π/2	0	A	θ3
Antebrazo	4	π/2	0	0	θ4

Tabla 3.2 Parámetros de Denavit-Hartenberg del brazo de robot de 4 GDL

Los parámetros de Denavit-Hartenberg permite determinar una forma general una matriz de paso homogénea, esta matriz define el paso entre la referencia {i-1} y la referencia {i}. Esta matriz es de forma:

$$^{i-1}_{i}\mathrm{T} = Rx\ (\alpha_{i-1})Dx(\alpha_{i-1})Rz(\theta_i)Dz(d_i)$$

Sea:

$$ {}^{i-1}_{i}\mathrm{T} = \begin{pmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & \alpha_{i-1} \\ s\theta_i c\alpha_{i-1} & c\theta_i c\alpha_{i-1} & -s\theta_{i-1} & -sc\alpha_{i-1}d_i \\ s\theta_i s\alpha_{i-1} & c\theta_i s\alpha_{i-1} & c\theta_{i-1} & c\alpha_{i-1}d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} $$

Nota: para evitar que el tamaño que se puede desarrollar la matriz, debido a la notación de las funciones trigonométricas, se simplificaron de la manera siguiente:

$c\theta_i$ representa el coseno del ángulo θ_i

$s\theta_i$ representa el seno del ángulo θ_i

De acuerdo con la matriz anterior y los parámetros de Denavit- Hartenberg deducidos en la tabla 3.2, las matrices de paso homogéneas del brazo de robot quedan de la siguiente manera:

$$ {}^{0}_{1}\mathrm{T} = \begin{pmatrix} c\theta_1 & -s\theta_1 & 0 & 0 \\ s\theta_1 & c\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \qquad {}^{1}_{2}\mathrm{T} = \begin{pmatrix} -s\theta_2 & -c\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -c\theta_2 & s\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} $$

$$ {}^{2}_{3}\mathrm{T} = \begin{pmatrix} c\theta_3 & -s\theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -A \\ s\theta_3 & c\theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \qquad {}^{3}_{4}\mathrm{T} = \begin{pmatrix} c\theta_4 & -s\theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -s\theta_4 & -c\theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} $$

La matriz de paso homogénea, entre la referencia {Base} y la referencia {0} del brazo de robot es una matriz constante que toma la forma:

$$ {}^{B}_{0}\mathrm{T} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} $$

3.2.2.3 Modelo geométrico inverso

El modelo geométrico inverso, permite calcular las coordenadas articulares de cada una de las articulaciones del brazo de robot. Dado la configuración del órgano terminal, en función de las coordenadas cartesianas, esta se representa por la inversa de la función $X = f(\theta_i)$:

$$\theta_i = f^{-1}(X)$$

Sea X la posición y orientación deseada {M} con respecto a la referencia base del brazo de robot, tal que:

$$X = [Mx, My, Mz, \Phi, \theta, \psi]^T$$

El problema de la cinemática inversa del brazo de robot, consiste en calcular los valores de las variables desconocidas: $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$.

Tomando a θ_3, como el grado de redundancia del brazo de robot, solo los valores de las 3 articulaciones son desconocidas, por la posición de la muñeca.

El modelo geométrico inverso ha sido resuelto por el método conocido por el nombre de Pipier. Este método permite resolver el problema de la cinemática inversa para brazos de robot de 7 grados de libertad y en esta ocasión para 4 GDL. El modelo geométrico inverso del brazo de robot está compuesto por:

Modelado del brazo redundante ($\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$)

La posición de la muñeca {M} con respecto a la referencia de la {BASE}, son únicamente las funciones $\theta 1$, $\theta 2$, $\theta 3$, $\theta 4$. Esto satisface:

$$^{BASE}_{M}W = {}^{BASE}_{5}W$$

Por consecuencia la posición de la muñeca {W} con respecto a la referencia {BASE} corresponde a la 4ta columna de la matriz de paso $^{BASE}_{M}W$, y es igual a la 4ta columna de la matriz de paso $^{BASE}_{5}W$, sea:

$$\begin{bmatrix} wx \\ wy \\ wz \end{bmatrix} = {}^{B}_{0}T \;\; {}^{0}_{1}T \;\; {}^{1}_{2}T \;\; {}^{2}_{3}T \;\; {}^{3}_{4}T \;\; {}^{4}_{5}T \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Se pueden aislar las variables articulares $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$, multiplicándolas sucesivamente, obteniendo:

$$Wxs_1 - Wzc_1 = c_2\,(Bc_4 + A) - Bs_4s_2c_3$$

$$Wxc_1 + Wzs_1 = Bs_3s_4$$

$$Wy = s_2\,(Bc_4 + A) + Bc_2sc_3s_4$$

El sistema de ecuaciones anterior permite identificar las variables articulares θ_1, θ_2 y θ_4, cuando $\theta_3 = 0$. Obteniendo:

$$\theta_1 = atan2(Bs_3s_4,\ \sqrt{W_x^2 + W_z^2 - B^2s_3^2s_4^2}) - atan2(Wx, Wz)$$

$$\theta_2 = atan2(Bc_3s_4(-s_1W_x + c_1W_z) + (A + Bc_4)W_y, -(A + Bc_4)(-s_1W_x + c_1W_z) + Bc_3s_4W_y)$$

$$\theta_4 = atan2(\sqrt{1 - c_4}\,,\ c_4)$$

Con:

$$c_4 = (W_x^2 + W_y^2 + W_z^2 - A^2 - B^2)/2AB$$

3.3 Etapa de Desarrollo

En el desarrollo el diseño y la simulación en el entorno virtual SolidWorks, permitió la creación de los sólidos requeridos por el sistema, pieza por pieza, logrando un ensamble final de cada modelo.

El ensamble final fue sometido a errores posibles de construcción y estructura la obtención de datos característicos del sistema teniendo esto como medio referente y de mejoramiento.

A continuación, se desplegarán datos cuantificables del sistema.

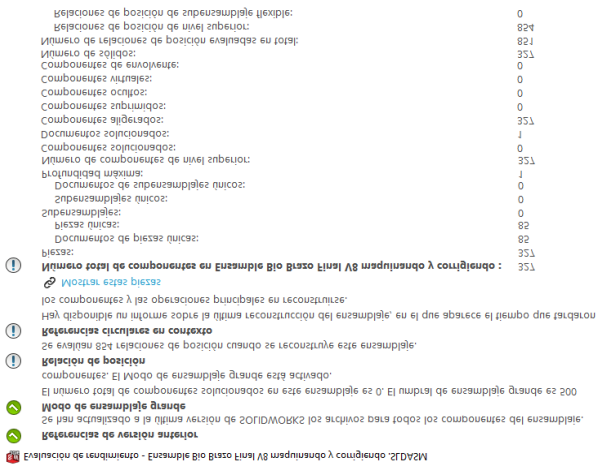


Figura 3.7 Evaluación de Rendimiento con datos de componentes.

La evaluación de rendimiento (Figura 3.7) muestra las piezas totales del ensamblaje final, sin considerar la tornillería y rodamientos radiales, esto presentó un gran avance en el sistema, la mayoría de las piezas se encuentran optimizadas para el rendimiento del equipo utilizado, debido a que, si se ocuparan las piezas con los coquizados originales, representaría un gran problema de reconstrucción de sólidos para el Computador utilizado.

En la Figura 3.8 se muestran los datos del sistema, con la excepción de: los baleros lineales, la tornillería, cabe resaltar que el software toma en cuenta la masa de los músculos como si fuesen solidos completamente por lo que la eliminación de ellos en la simulación es necesaria para que muestre los datos fidedignos del sistema, pudiendo apreciar un chasis resistente y ligero, contempla un límite de 3” en el tamaño de los actuadores del 1er al 3er GDL, mientras que los que son colocados en el humero son de un máximo admitido de 2”.

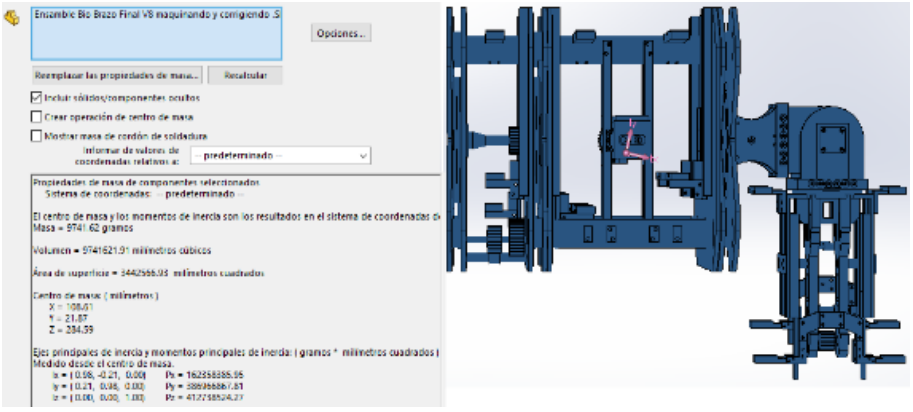


Figura 3.8 Masa, Volumen, Centro de masa, Ejes de Inercia.

En el diseño particular de este sistema es necesario distribuir la masa del sistema de tal manera que el centro de masa se encuentre lo más equilibrado posible, debido a que si el centro de inercia se mueve fuera del chasis o si se encuentra demasiado separado del centro geométrico del chasis, puede tener un impacto negativo sobre los sistemas de control futuros, creando una posible discrepancia al momento de realizar algún movimiento, es decir, que la masa del objeto no afecte los movimientos ejecutados del brazo o bien de no ser posible contener ese impacto negativo.

La siguiente imagen de la figura 3.9, proporciona visualización de los movimientos a los que el brazo está completamente capacitado de ejecutar, la caja central realiza la rotación en conjunto con el brazo, la complejidad de la estructura dota al sistema de estabilidad estructural al momento de ejecutar cualquier movimiento.

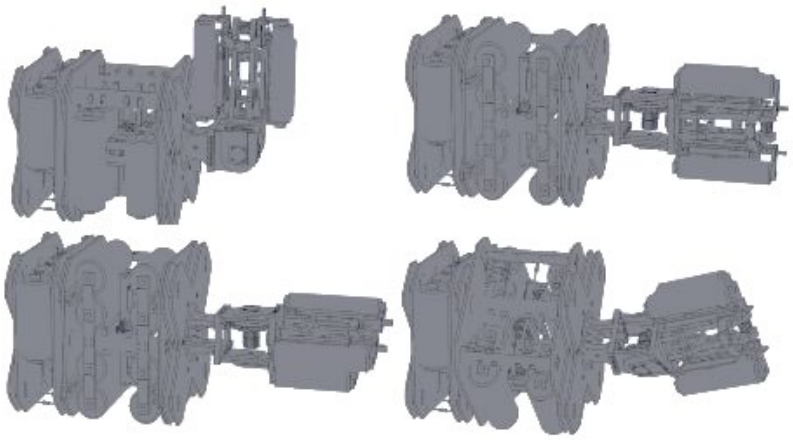


Figura 3.9 Serie de Movimientos del brazo de robot

En la figura 3.9 se puede apreciar la ejecución de movimientos sin ningún tipo de impedimento estructural, además enseguida se proporciona una tabla que proporciona los datos de rotación por cada articulación, debido a que este modelo amplifica el área de trabajo del sistema aprovechando al máximo cada GDL. Así mismo se puede apreciar el rango de movimientos de la biomecánica del brazo, permite visualizar el movimiento máximo por articulación. La rotación del humero es especial debido a que muchos robots no la consideran dentro del hardware, esta implementación da frente a los modelos actuales.

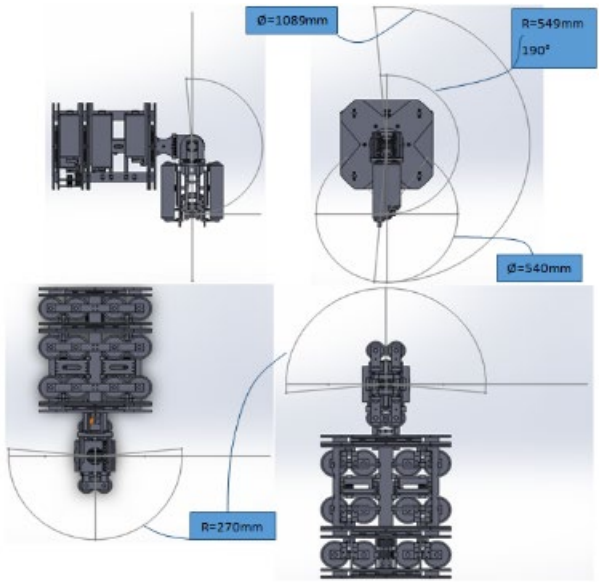
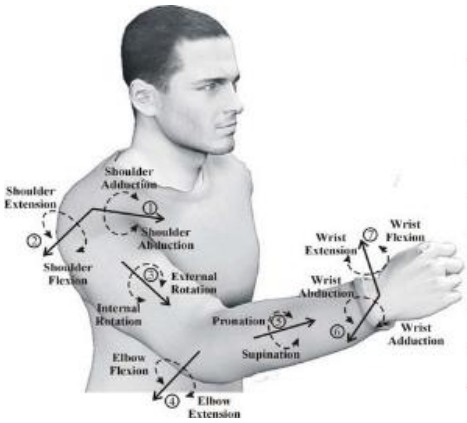


Figura 3.10 Movimiento máximo Área efectiva visualizada delimitada por croquis.

En la Figura 3.10 se puede apreciar el radio operativo designado para el área de trabajo, por lo que dicta para el actuador final, tendrá un alcance bastante aproximado a el del brazo humano, la relación de transmisión del eje rotativo “z” del humero hace posible designar un radio de movimiento adicional no estipulado en la figura, por lo que el control futuro podrá gestionar ese rango de movimiento adicional para evitar la colisión con la misma estructura del modelo.

En la siguiente figura 3.11 se muestran los 7 movimientos básicos del brazo humano, el modelo presentado en este trabajo de investigación se basa en esos movimientos.



Joint	Anatomic Angles
1	-50/180 °
2	-45/180°
3	-80/90°
4	0/145°
5	-90/85°
6	-15/30°
7	-70/80°

Figura 3.11 Movimientos Básicos del brazo humano LETIER (2012).

El desarrollo del humero presentó un problema para encontrar un modo eficiente de transmitir el movimiento, sin embargo, al implementar el nuevo sistema de Corona-Piñón de rodamientos, se conserva una eficiencia mayor por los rodamientos presentes, al efectuar el movimiento tendrá una transición suave con pérdidas por fricción mínimas.

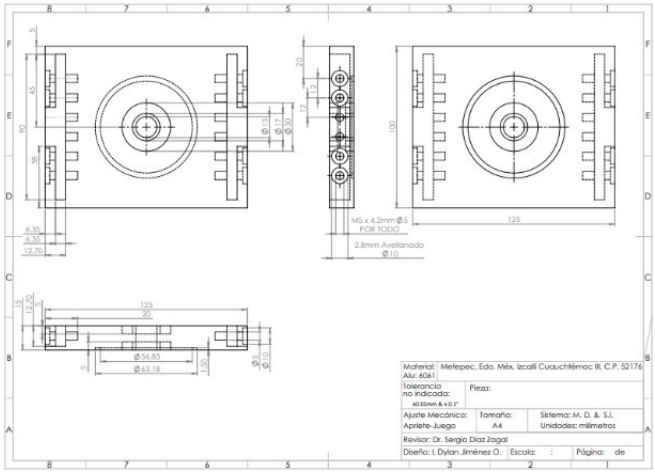


Figura 3.12 Dibujo Técnico de: “Base estructural 3er y 4to GDL”.

En la Figura 3.12 se puede visualizar el dibujo técnico simple de la pieza base que sujeta al humero, se añade la vista isométrica de la pieza para tener un mejor ejemplo de lo que se necesita para la operación y no se genere un error al momento del mecanizado utilizando las máquinas herramientas convencionales.

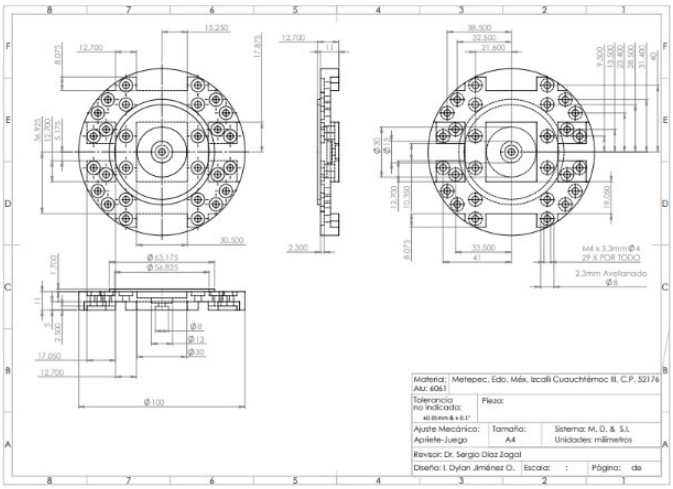


Figura 3.13 Base 3er y 4to GDL “Rotación sobre su propio eje”.

En la Figura 3.13 se puede visualizar la simetría de operaciones estandarizada si esta es dividida en los 4 cuadrantes, está estandarizada debido a la evolución del modelo (siguiendo los requerimientos y estándares como en todos los diseños, el análisis permite observar esa perspectiva y añadirla a los requerimientos dentro de los parámetros de diseño.

Otra pieza con un maquinado especial que es la encargada del acoplamiento y sujeción de los demás componentes ensamblados en el humero es la siguiente.

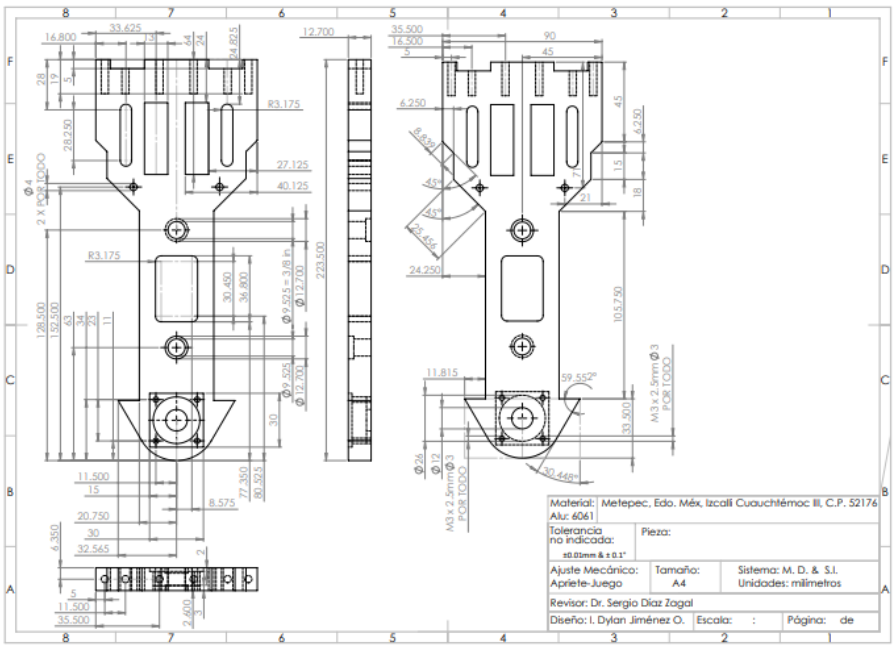


Figura 3.14 Pieza Vertical (humero) 4to GDL “Soporte estructural para el actuador final”.

En la Figura 3.14 puede visualizarse que contiene perforaciones torales en el diseño, la locación de estas no comprometen la resistencia estructural de la pieza y al quitar ese material excedente, la pieza se hace más liviana, a la vez se puede observar que la mayoría de los barrenos están pensados de tal manera que estos no sobresalgan de la superficie y a la vez aseguren la estructura, sin necesidad de adquirir una anilla de seguridad que mantenga a el eje o pieza en su lugar, estas consideraciones de diseño no contemplan peso adicional importante y sin embargo aportan a la sencillez de mecanizado y reducción al coste si estos se consideraran para una elaboración por un particular externo.

Las piezas mostradas en la Figura 3.15 son las pertenecientes al sistema de transmisión experimental creado especialmente para la rotación del humero. Especialmente con estas piezas se tendrá que aplicar un sistema que amortigüe la transición de movimiento en la etapa de control futura.

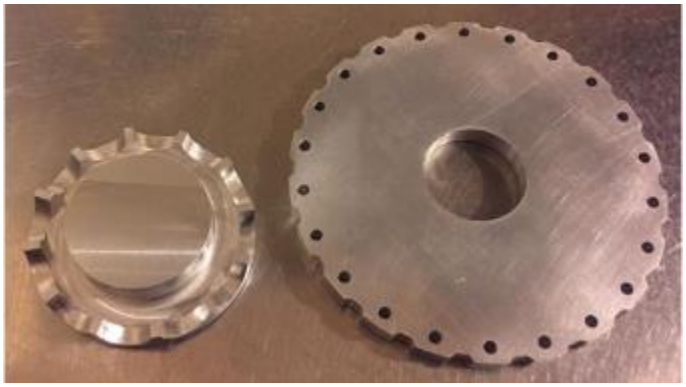


Figura 3.15 Pieza Vertical (humero) 4to GDL “Soporte estructural para el actuador final”.

3.4 Etapa de Pruebas y resultados

El sistema fue sometido a pruebas de funcionamiento, desde impedimentos al movimiento, como seguridad para el mismo movimiento, es decir, al momento de su ejecución, no exista impedimento o falla al ejecutar sus movimientos, e incluso si llegase a fallar, no existan daños al hardware, la siguiente lista se mencionan algunos de los aspectos considerados:

- Inspección del sistema de transmisión Piñón – Cadena ó Polea – Correa.
- Normalización de materiales.
- Eventos de fallo.
- Desbalance y des-alineamiento de ejes.
- Peso final del conjunto del sistema.
- Rango de movimiento final por GDL.
- Fuerzas externas aplicadas o esfuerzos.
- Colisión de sólidos al generarse algún movimiento.
- Topes mecánicos o limitadores de movimiento de contracción y elongación.
- Costo y tamaño.
- Estandarización de piezas.
- Equilibrio estático y soporte dinámico, bajo punto de inercia.
- Pruebas de fricción.
- Errores en la geometría estructural.
- Tolerancia de ajustes mecánicos para “ajustes con apriete” y “ajustes con juego”.



Figura 3.16 Collage de los elementos del Modelo.

La figura 3.16 muestra el modelado final, conglomera todos los aspectos considerados para un funcionamiento óptimo, por supuesto que, de acuerdo con las pruebas realizadas, se observó que existen áreas de oportunidad y mejoramiento.

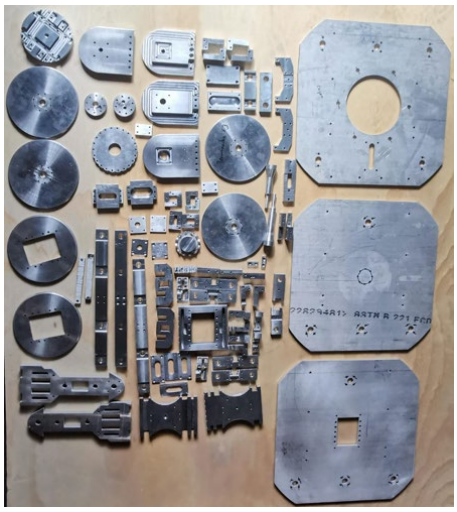


Figura 3.17 Piezas maquinadas del brazo de robot de 4 GDL.

En la figura 3.17, se observan algunas de las piezas maquinadas para el brazo de robot de 4GDL, como se mencionó anteriormente, no se presentan todas por confidencialidad así mismo se omitieron algunas pruebas.

Las siguientes figuras muestran el análisis estructural de piezas claves para el ensamblaje, para determinar la fluencia del elemento, debido a la carga considerada para el sistema de 40kg máximo (debido a que cada músculo artificial fue probado con una carga máxima de 20kg y como el sistema maneja 4 músculos en

configuración agonista-antagonista, son 2 músculos para el par agonista y 2 músculos para el par antagonista).

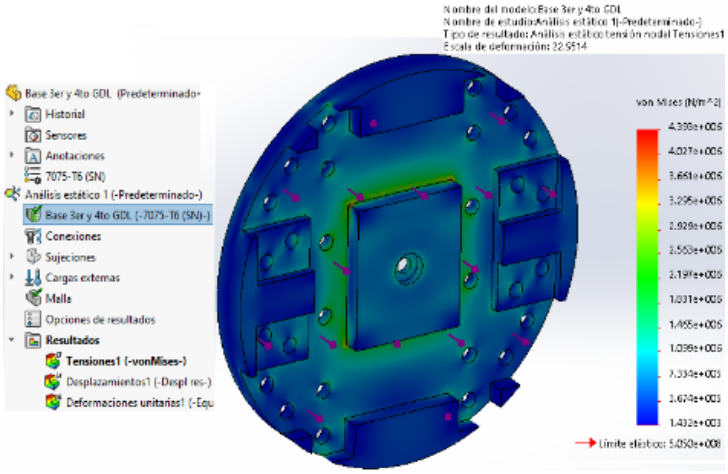


Figura 3.18 Base 3er y 4to GDL, Von Mises.

Para el análisis, se consideró una fuerza de 200 Newton en la simulación estructural de cada elemento, para probar la teoría de von mises aplicada a la estructura y analizar hasta que fuerza es capaz de ser tenaz antes de ceder de forma plástica el material. El límite elástico para el aluminio 7075 – T6 es de 505 N/mm, por lo que la carga soportada de 20kg o 40kg para el sistema no son mayor problema, confiando en el límite elástico del aluminio, se implementó geometría estructural en el diseño de cada pieza, por lo que cada pieza del modelo, tiene un factor de seguridad equivalente o superior a la unidad.

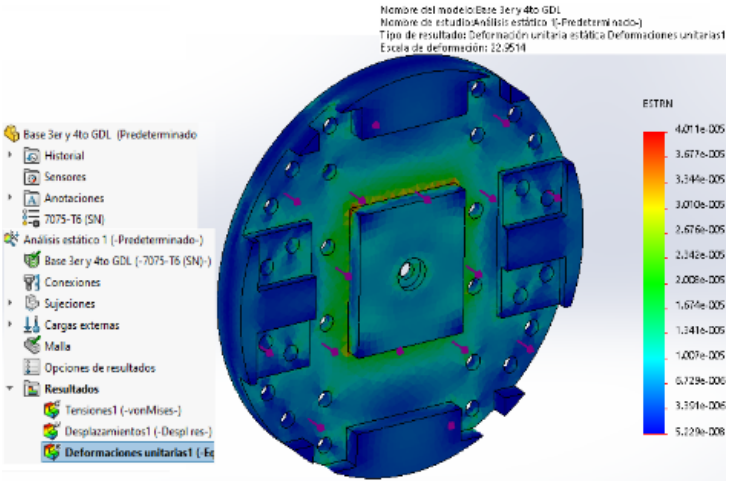


Figura 3.19 Base 3er y 4to GD., Deformación.

En las Figuras anteriores (3.18 y 3.19) de la Base del 3er y 4to GDL, se puede visualizar que la estructura es estable en su estructura no arrojando índices de fluencia (color rojo) para una fuerza que supera los 200N.

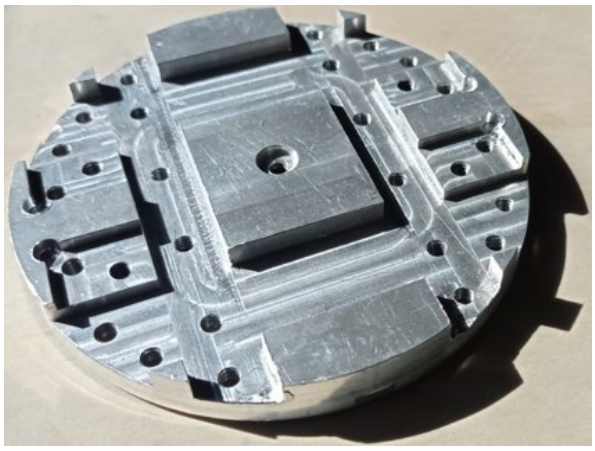


Figura 3.20. Pieza Base 3er y 4to GDL, maquinada

La figura 3.20 es la pieza base para el 3er y 4to GDL analizada, y maquinada, donde puede ver a detalle la figura y forma.

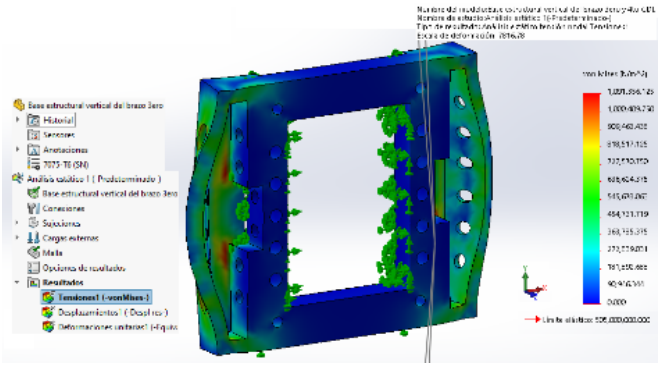


Figura 3.21 Base estructural 3er y 4to GDL, Von Mises.

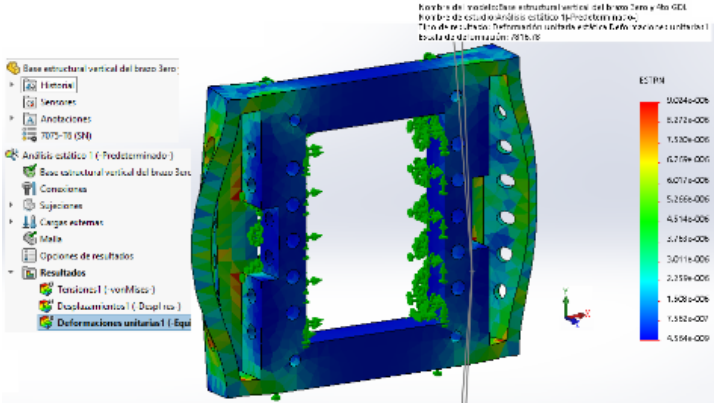


Figura 3.22 Base estructural 3er y 4to GDL, Deformación.

Para las Figuras anteriores (3.21 y 3.22) se visualiza una deformación evidente en los costados, sin embargo esto solo sucedería si se excediese el límite elástico (color azul claro marcado en la barra que se encuentra del lado derecho), aun así la estructura se mantiene estable aun con la deformación para cargas muy elevadas, ya que presenta índices tenues del color rojo en las esquinas dentro de la operación de mecanizado dentro del elemento, en orden de 272839.031 N/m^2, comparando esta fuerza con los 200 N estipulados, la pieza cumple su función sin ningún problema.

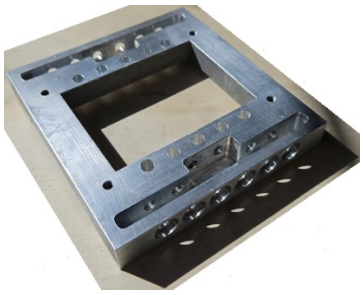


Figura 3.23 Base estructural 3er y 4to GDL, maquinada.

En la figura 3.23 se puede observar otra de las piezas importantes del brazo de robot, pieza base para el 3er y 4to GDL analizada, y maquinada, donde puede apreciar los detalles la figura y forma.

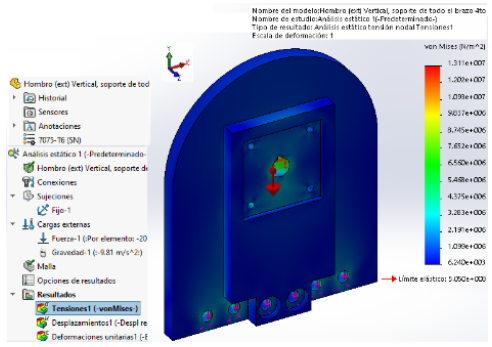


Figura 3.24 Hombro ext, Von Mises.

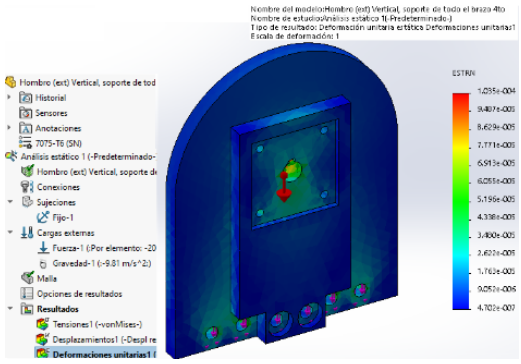


Figura 3.25 Hombro ext, Deformación.

Para las Figuras anteriores (3.24 y 3.25) se puede visualizar que para este elemento que realiza la tarea de soportar el peso de forma vertical de toda la estructura del brazo, no presenta ni el color amarillo en su integridad del material, por lo que al ser parte de las piezas más importantes debido a que se encuentra

sometida también a esfuerzos combinados y de torsión, esta estructura fue pensada especialmente para ser altamente eficiente, aunque sea sometida a ese tipo de esfuerzos.

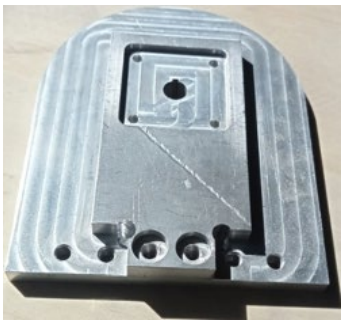


Figura 3.26 pieza del Hombro exterior, Maquinada.

En la figura 3.26 se puede observar otra de las piezas importantes del brazo de robot, pieza del hombro exterior analizada, y maquinada, donde puede apreciar los detalles la figura y forma.

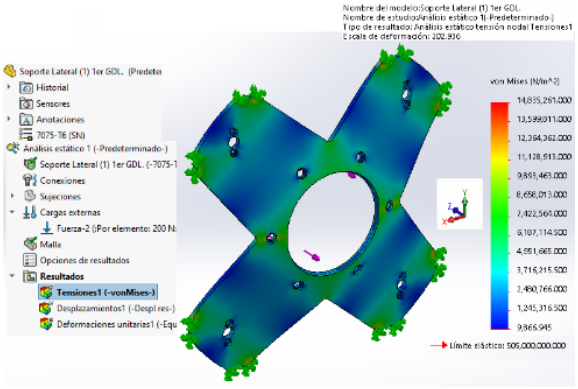


Figura 3.27 Soporte lateral, Von Mises.

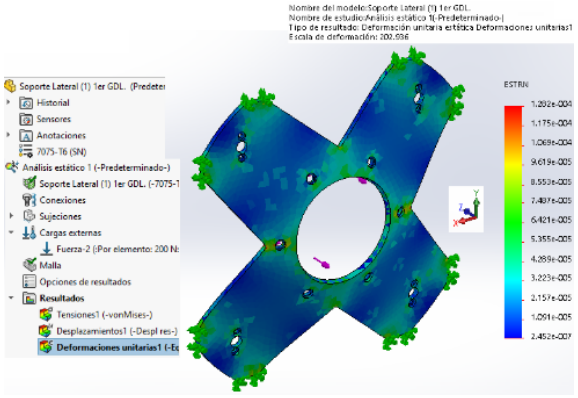


Figura 3.28 Soporte lateral, Deformación.

Las Figuras anteriores (3.27 y 3.28) con forma de “X” proporcionan datos suficientes ante la fluencia de las mismas si son sometidas a cargas que excedan el valor elástico del lado derecho en orden de los 3716215.00

N/m^2 por lo que se determina confiable el sistema para su colocación en donde sea que se determine, siempre y cuando su colocación no afecte el desempeño.

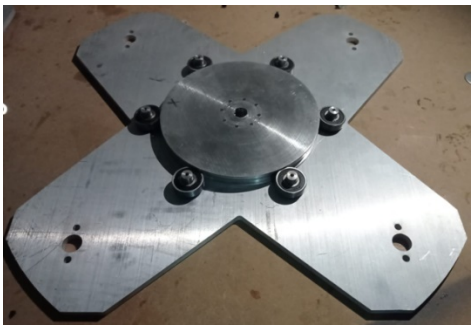


Figura 3.29 Soporte lateral, parte del tronco.

La figura 3.29 forma parte del tronco del brazo de robot, otra de las piezas importantes, pieza analizada, y maquinada, donde se aprecian los detalles la figura y forma.

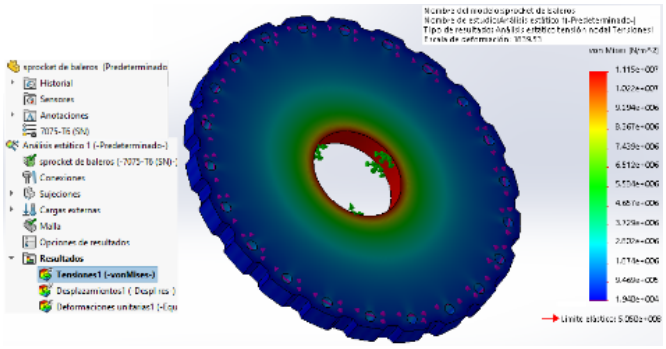


Figura 3.30 Sprocket de baleros, Von Mises.

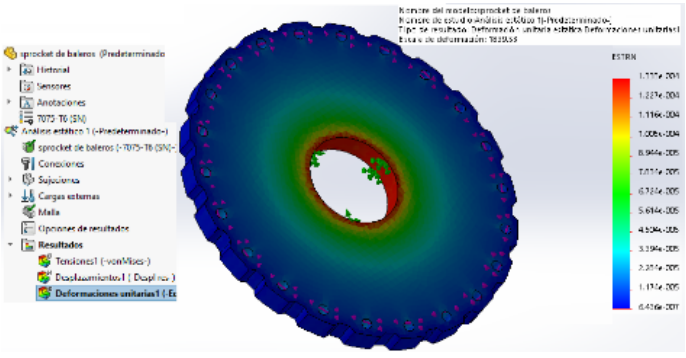


Figura 3.31 Sprocket de baleros, Deformación.

Para la transmisión experimental (Figura 3.30 y 3.31), su estructura es suficientemente resistente para hacer eficientemente su trabajo. La transmisión de movimiento al 3er GDL, al someterse a una fuerza de torque sobre los barrenos que alojaran los pernos en los que ajustan los baleros para así poder mover el sprocket debidamente y con un mínimo de fricción, como se puede apreciar, no presenta ningún tipo de inconveniente

o problema que comprometa la estructura en cuanto a el torque necesario que proporcionaran los actuadores artificiales, como se observa, el sprocket sometido a una fuerza de 200N por diente no presenta deformación hasta que esta alcanza el límite azul claro colocado del lado derecho de la figura (rango elástico).



Figura 3.32 Sprocket de baleros, Pieza maquinada.

La figura 3.32 es el sprocket de baleros, para la transmisión del movimiento del 3er GDL del brazo de robot, pieza analizada, y maquinada, donde se aprecian los detalles la figura y forma.

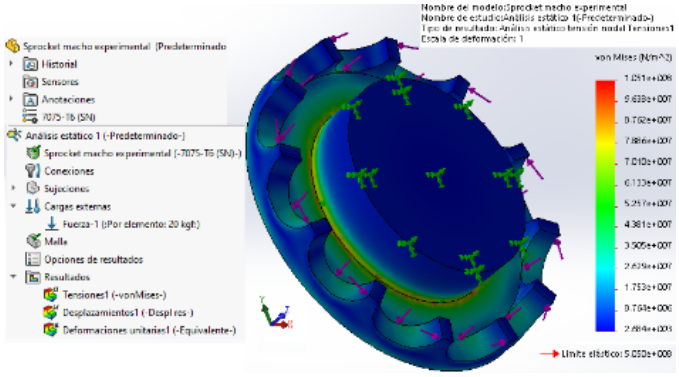


Figura 3.33 Sprocket macho experimenta, Von Mises.

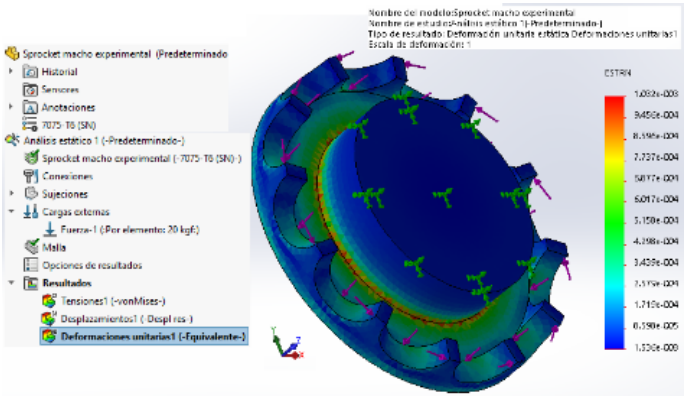


Figura 3.34 Sprocket macho experimental, Deformación.

En el sprocket macho de las Figuras 3.33 y 3.34 que, en la arista perimetral del centro, es visible una pequeña franja roja que indica en el valor de la barra, que al superarse esa fuerza entonces existirá una deformación o pandeo en la coronilla al someterse a un torque muchas veces superior al ocupado en este modelo.



Figura 3.35 Maquinado de la pieza Sprocket macho.

La figura 3.35 es el sprocket de baleros, para la transmisión del movimiento del 3er GDL del brazo de robot, pieza analizada, y maquinada, donde se aprecian los detalles la figura y forma.

Para el sistema de transmisión se realizó un análisis con base al porcentaje de contracción presente en los actuadores al aplicarle presión neumática, en un principio se utilizó el sistema de Piñón-Cadena, por la resistencia de la misma y la comercialización por lo que se tomaron los valores angulares que se ocuparon para traducirlos a desplazamiento perimetral, lo cual sirvió de guía para la selección de los piñones correctos, en la relación de transmisión, se toma el perímetro con base al paso, según el número de dientes y la cantidad estándar del paso de un piñón de bicicleta, donde el número de dientes se multiplica por el paso obteniendo un aproximado del perímetro, sin embargo, al existir la necesidad de tener el dato exacto, se simuló en el entorno de Solid Works recreando el piñón con base a las características de un piñón seleccionado comercial, al simularlo se obtuvieron los datos necesarios.

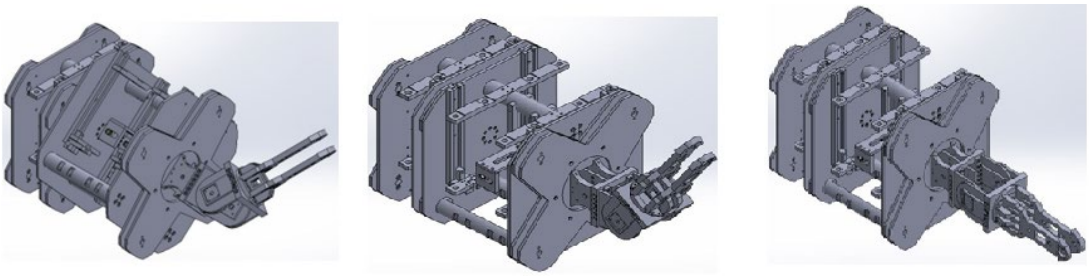


Figura 3.36, movimientos de los diferentes GDL del brazo de robot

En la figura 3.36, se observa la simulación de los movimientos de la transmisión en los diferentes GDL, sin utilizar los músculos artificiales.

El conjunto de sistemas anteriores, aportaron la información necesaria para lograr que el brazo pesara 9.7kg, se determinó el tamaño, mecanismo y función del mismo, eliminando, posibles limitantes e incluso impedimentos implícitos en el diseño que interfirieran con los movimientos del sistema.

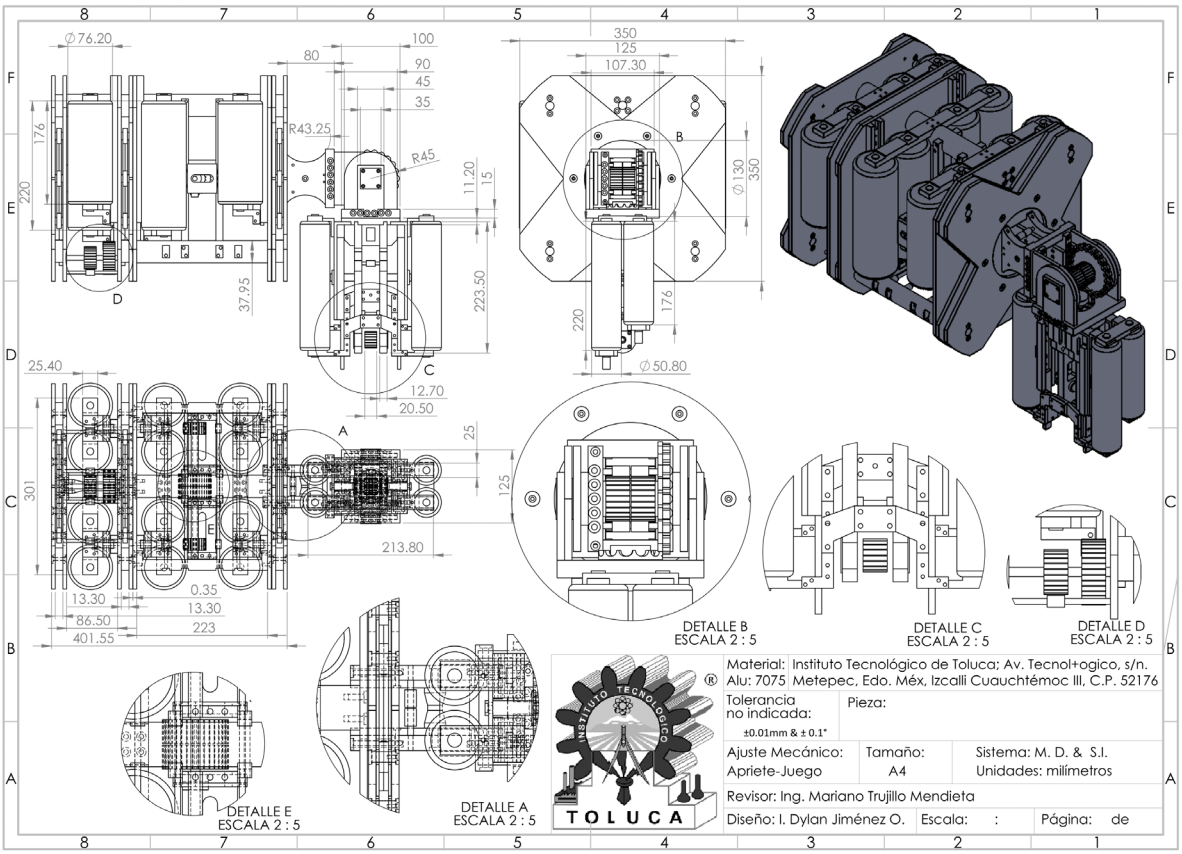


Figura 3.37 Dibujo Técnico con generalidades del diseño del brazo de robot de 4GDL.

A su vez se analizó la estructura, pensando en las posibles fallas que pudiese presentar, mecánicas, de posición, e incluso posibles concentraciones de esfuerzos. En la figura 3.37, se presenta una vista general del diseño del brazo, se presenta un dibujo técnico que maneja generalidades del Diseño, así como las vistas del mismo.

Circuito electrónico de control de lazo abierto

Para realizar las pruebas del brazo de robot, se utilizó el circuito de pruebas para el análisis y caracterización de músculos artificiales, como se mencionó anteriormente, para cada articulación o GDL, se utiliza un par de músculos artificiales (agonista y antagonista), para este circuito de control se utilizaron 2 placas de Arduino el más sencillo es utilizando la placa UNO-arduino, utiliza dos pines de salida habilitados para entregar señal de PWM, uno para cada electroválvula neumática proporcional I/P (corriente-presión) o V/P (voltaje-presión) nombradas ITV 2051-1 y ITV 2051-2 que controlan a cada músculo neumático cada una; la conexión física se muestra en el diagrama de la figura 3.38, indicando tanto la conexión de la señal de control Arduino/Reguladora, además se ejemplifica la conexión de alimentación de las reguladoras a un voltaje de 12v, que es el voltaje de funcionamiento de las reguladoras.

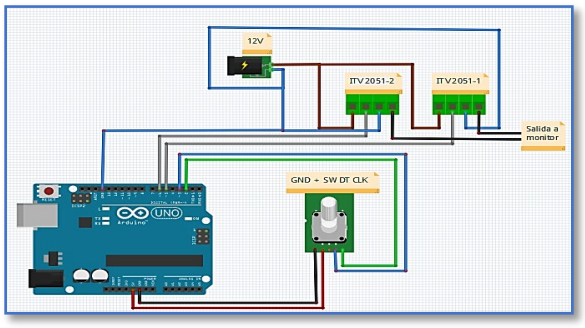


Figura 3. 38 Diagrama de conexión Arduino-Electroválvulas proporcionales I/P o V/P.

Previendo un mejor funcionamiento y la automatización de un control, se realizó una programación en LabVIEW. El valor de la señal de analogica, para el control de las servovalculas proporsionales, tiene un rango de 0 a 255, por lo que el comportamiento de las señales de control se representa como se muestra en la figura 3.39 donde se observa que mientras una señal tiene el valor máximo de 255, la otra toma un valor inversamente proporcional dentro del rango de trabajo.

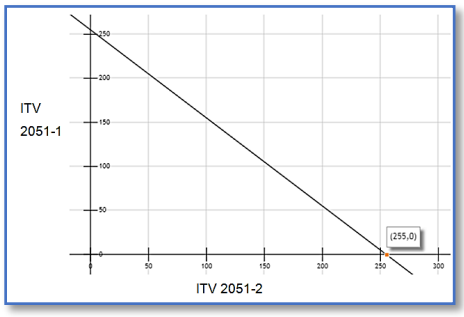


Figura 3.39 Comportamiento de la señal de control.

Previendo las prácticas con microcontroladores, o empleando IoT, se utilizó también un circuito de control de lazo abierto con ESP32, es una placa de la familia de arduino, para ser empleada utilizando bluetooh o WiFi, para controlar el brazo a distancia. En la figura 3.40 se puede observar las conexiones hacia las servoválvulas, y laptop.

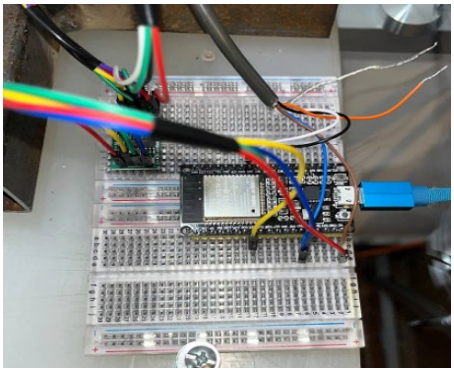


Figura 3.40 Circuito de control parala manipulación del brazo de robot de 4GDL.

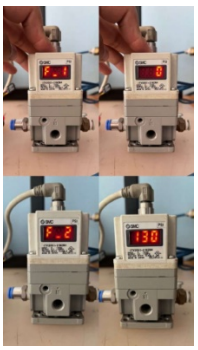


Figura 3.41 Calibración de las servoválvulas proporcionales

En la figura 4.41 se puede observar la configuración que tendrán ambas válvulas, siendo “F_1” la presión más baja a la que está configurada la servo-válvula reguladora, y “F_2” la presión máxima a la que permite la servo-válvula usar el músculo artificial, la unidad de medida de la presión está en PSI debido a que así lo indica la válvula, sin embrago, hay configuraciones de válvulas que lo permitirán hacer a bares o cualquier otra unidad de medida que sea requerida.



Figura 3.42 Prueba isotónica del músculo artificial neumático de McKibben.

En la figura 3.42, se muestra la imagen de la caracterización del músculo con una prueba isométrica, aplicándole 1.5 bar de presión, y una contracción de 1.6 cm.

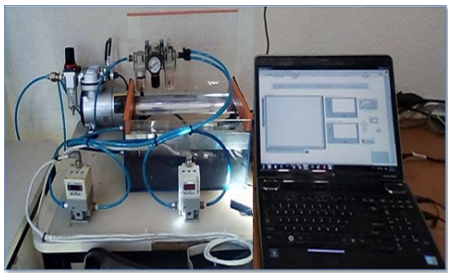
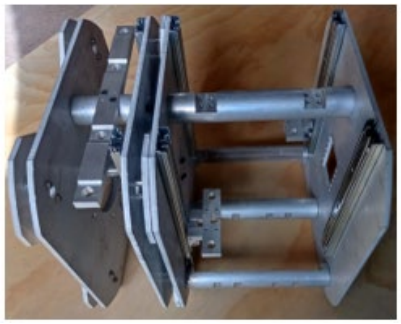
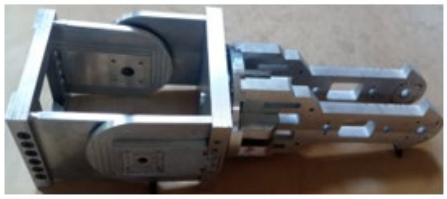


Figura 3.43 Sistema de control del brazo de robot de 4GDL.

Para el control y manipulación del brazo de robot se utiliza el sistema de control como el que se observa en la figura 3.43, que consta de una placa de Arduino, electroválvulas proporcionales una por músculo, una compresora fuente y una laptop o pc con el programa para la adquisición de datos; esto con el fin de poder ver la posición del movimiento angular realizado y así comparar los valores indicados con los valores de la posición.



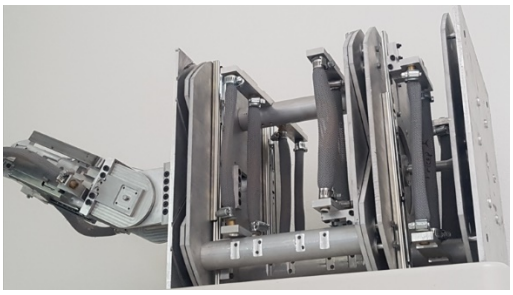
a) Tronco



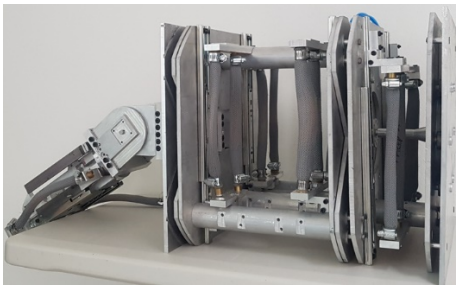
b) Antebrazo

Figura 3.44 Partes del brazo de robot de 4 GDL.

La figura 3.44, muestra unas partes del brazo de robot, el tronco, que además se utilizará para fijarlo, tiene función de 2 GDL, y el del antebrazo que tiene un solo GDL, el otro GDL restante, lo realiza la corona que no aparece en las figuras.



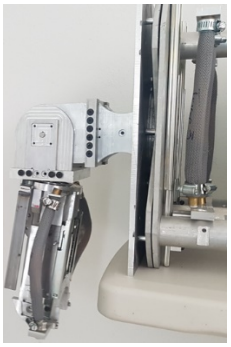
a) Movimiento del antebrazo 2do GDL



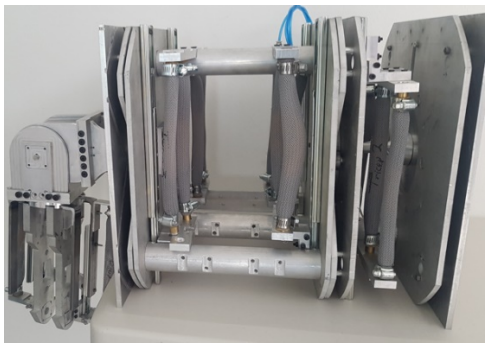
b) Movimiento del antebrazo 1er GDL

Figura 3.45 Brazo de robot de 4GDL con músculos artificiales neumáticos de McKibben de armado.

En la figura 3.45 se puede observar el brazo de robot de 4GDL armado, solo le hace falta 2 sistemas mecánicos de movimientos de los GDL, que, por confidencialidad, no se presenta en el reporte, debido a la posibilidad de registrar o patentar el brazo de robot.



a) Antebrazo



b) Antebrazo y tronco

Figura 3.46 Antebrazo (a) y brazo completo (b)

En la figura 3.46 se aprecia el movimiento del antebrazo, dónde solo se muestra un solo músculo de frente (a) y en el inciso (b), se observa los 2 músculos del antebrazo.

Conclusiones

De acuerdo con lo anterior se puede concluir que se cumplió con el que fue el diseño del brazo de robot de 4GDL, y a pesar de que no se prometió el desarrollo del prototipo físico como producto entregable, según la tabla de cumplimiento, se construyó el brazo de robot de 4GDL, solo que por confidencialidad se omitió la presentación del mecanismo que acciona los 4 GDL, hasta que se tenga un estudio completo con sus ajustes y sus planos, para ver la posibilidad de un registro o patente de este prototipo, según convenga, las pruebas preliminares en la caracterización de os músculos y del mismo prototipo de momento fueron satisfactorios, con algunas mejoras a realizar .

Así mismo se pudo notar que el sistema aún tiene áreas de oportunidad para hacer el sistema aún más liviano, con el estudio de este primer prototipo, existe la posibilidad de reducir el peso, ya sea modificando algunas piezas o cambiando de material ligero pero resistente (para efectos del control del sistema), además de analizar ciertas piezas y remover material sobrante, conservando la resistencia de la estructura sin comprometer los elementos que lo componen.

De la misma manera se deja para un futuro a largo plazo, el desarrollo el diseño de la muñeca y de la mano del robot, que presentan una complejidad mayor, ya que la muñeca presenta 3 GDL, y la mano 27GDL (para este prototipo, se sugiere se utilice micro-servomotores).

Bajo este mismo tenor, se puede concluir que se cumplió con lo prometido a los entregables, de acuerdo con la tabla de las metas, en el punto 2. Se prometió un alumno de servicio social y se cumplió, se prometió un alumno de residencia y participaron 2, se prometieron 2 artículos en revista arbitrada y se cumplió, se prometió un artículo en memoria en extenso y fueron 2, no se prometió capítulos de libro, sin embargo, se hicieron 2, no se prometió prototipo y se hizo un virtual y uno físico, con posibilidad de ser registrado o patentado.

4. Bibliografía

Este apartado integra todas las referencias y trabajos que hasta el momento han sido considerados.

Arduino, 2018	www.arduino.cc (en inglés). Archivado desde el original el 29 de agosto de 2017. Consultado el 22 de enero de 2018.
Beltrán, 2017	Laura Andrea Beltrán. "Diseño y construcción de prototipo de un miembro superior humano accionado por músculos neumáticos". Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Febrero 2017.
Díaz, 2007	Sergio Díaz Zagal, Theses Doctoral "Conception et Développement d'un Mini-Actionneur à Muscle Artificiel. Application à la Robotique Médicale". Institut National de Science Appliquée, Toulouse Francia. Abril, 2007.
Díaz, 2017	Sergio Díaz Zagal, proyecto año sabático "Módulo de gestión y control de prácticas para una plataforma de un laboratorio virtual utilizando tecnología web, caso de estudio control de un brazo de robot", TecNM- Instituto Tecnológico de Toluca, AS-1-207/2016, Toluca, México, 2017.
D.I.T Blogspot, 2010	"Espacio especializado dedicado a la investigación y desarrollo tecnológico", Robótica, http://desarrolloinnovaciontecnologica.blogspot.com/2010/01/robotica-brazos-neumaticos.html Innovación Desarrollo Tecnológico, Enero 2010.
Doutel, 2016	Fernando Doutel. "Guía del Arduinomaniaco: todo lo que necesitas saber sobre Arduino". Agosto 2016.
FESTO, 2015	FESTO, "Fluidic Muscle DMSP/MAS", Catalogue, https://www.festo.com/rep/en_corp/assets/pdf/info_501_en.pdf, (2015).
Gutiérrez, 2016	Gutiérrez, C., Diaz, S., De la Rosa, J., Gómez, K., Baron C. (2005), Reyes, I., Villanueva, M. "Development of a System for monitoring and controlling research projects based on a framework integrating traditional and agile methodologies", Publisher: IEEE. Las Vegas, USA, IEEE publishe.
Jiménez. 2021	Ilya Dylan Jiménez Osnaya, "Desarrollo de un brazo robótico de 4GDL con músculos de McKibben", Tesis, TecNM-Instituto Tecnológico de Toluca, Toluca, México, 2021. Repositorio del Instituto Tecnológico de Toluca.
King 2017	King, E. Valle, Nishant Pol, Park, (2017). Design, Modeling, and Control of Pneumatic Artificial Muscles with Integrated Soft Sensing, Singapur, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). https://www.cs.cmu.edu/~ylpark/publications/King_ICRA17.pdf. (2021).
Meza. 2021	José Antonio Meza García, "Control de un antebrazo de robot mediante un par de músculos artificiales de mckibben vía web", Tesis, TecNM-Instituto Tecnológico de Toluca, Toluca, México, 2021. Repositorio del Instituto Tecnológico de Toluca.
Telefónica, 2016	Fundación Telefónica," Internet Industrial, Máquinas inteligentes en un mundo de sensores", ISBN: 978-84-08-15960-5, Mayo 2016. Disponible en: http://www.fundacion telefonica.com/publicaciones.
Tondu, 2005	Tondu, (2005). A seven degrees of freedom robot arm driven by pneumatic artifical muscles for humanoid robots. The international Journal of Robotics Research. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/274545129_A_Seven-degrees-of-freedom_Robot-

arm_Driven_by_Pneumatic_Artificial_Muscles_for_Humanoid_Robots . (2021)

Solidworks, 2019 — Solidworks, software de diseño, Dassault Systemes (Suresnes, Francia), consultada en Junio de 2019, disponible en: https://solidservicios.com/productos/soluciones-cad-3d/?gclid=EAIaIQobChMIo9-erayQ-wIV0g-tBh0xWg5OEAAYASAAEgK9TPD_BwE, consultada el 13 de Diciembre de 2022.

Williams, 2007 — R. Williams. “Innovations 2007: World Innovations in Engineering Education and Research, “International Network for Engineering Education and Research (iNEER), 2007.

5. Anexos

Anexo (A). Tabla Resumen de la información tomada de base para la formalidad del proyecto, solo es una muestra de información tomada para el desarrollo de este proyecto.

TÍTULO	TIPO	CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES					Referencias
		País	Actores	Enfoque	Acceso	Sistema de control	
Diseño de un laboratorio remoto de robots y procesos de manufactura industriales	Artículo	México (sonora)	Alumnos de Posgrado	Educación a distancia	Servidor LAMP	Team Viewer	[Rafael, 2013]
Diseño e implementación de un sistema de control para el brazo robótico de cinco grados de libertad, utilizando LabVIEW e Internet	Artículo	Ecuador (Riobamba)	Alumnos de Ingeniería	Educación	Red Local (solo Internet Explorer)	LabVIEW	[Edison, 2013]
Diseño y construcción de prototipo de un miembro superior humano accionado por músculos neumáticos	Artículo	Colombia (Bogotá)	Investigadores	Análisis de construcción	Software Local	MATLAB	[Beltrán, 2017]
Control remoto de planta piloto compact Workstation FESTO, una propuesta de laboratorios remotos	Artículo	Perú (Piura)	Alumnos-Investigadores	Educación a distancia	Red Local (solo Internet Explorer)	LabVIEW	[Junior, 2016]
Monitorización y control remoto virtual de la planta Gunt HAMBURG RT 450 de nivel del laboratorio de instrumentación industrial, vía Internet a través del web server de LabVIEW	Artículo	Ecuador (Guayaquil)	Alumnos de Ingeniería	Educación a distancia	Red Local (solo Internet Explorer)	LabVIEW	[Gallardo, 2013]

Propuesta pedagógica para el uso de laboratorios virtuales como actividad complementaria en las asignaturas teórico práctica	Artículo	México (México)	Investigadores	Análisis pedagógico de educación a distancia	No aplica	No aplica	[Infante, 2014]
Aprendizaje de y con robótica, algunas experiencias	Artículo	Colombia (Bucaramanga)	Alumno-Profesor	Propuesta pedagógica de enseñanza con robótica educativa	No aplica	No aplica	[Pedro, 2013]
Desarrollo de un brazo mecánico articulado electro-neumático	Artículo	España (Madrid)	Investigadores	Análisis de construcción	Sistema presencial	Beagle Bond	[Del Sol, 2015]

Anexo (B). Modelado y diseño de algunas piezas en solidworks (estas figuras presentadas representan una muestra, en el reporte final se anexarán más), la falta de valores se debe a que es una investigación y es confidencial, con posibilidades a patentar.

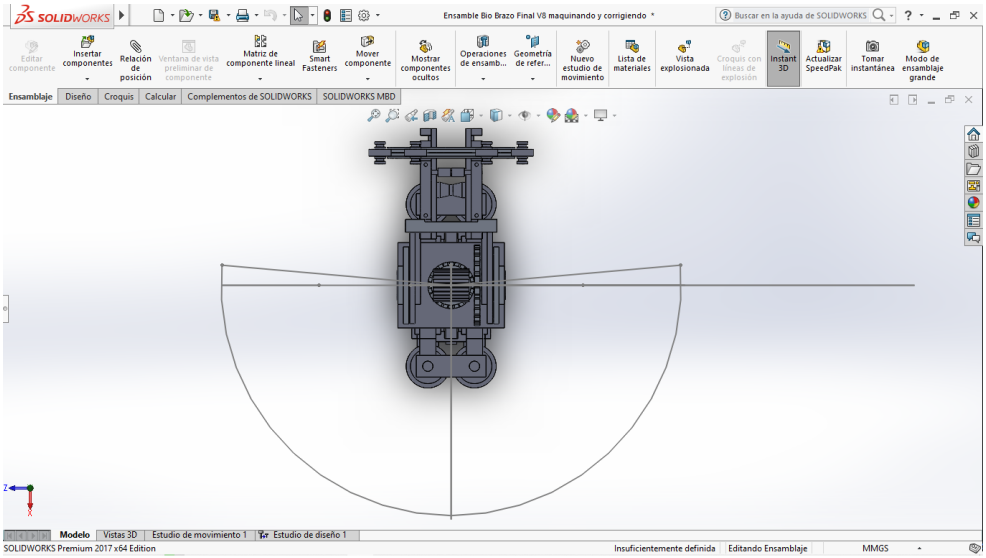


Figura A2.1 Ensamble en progreso, rango de movimiento por Grado de libertad

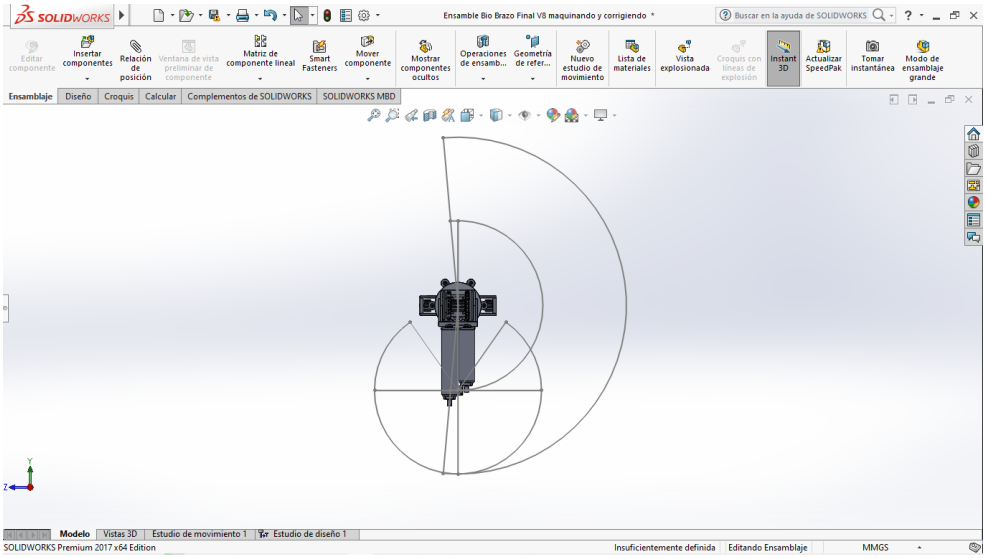


Figura A2.2 Ensamble en progreso, rango de movimiento por Grado de libertad

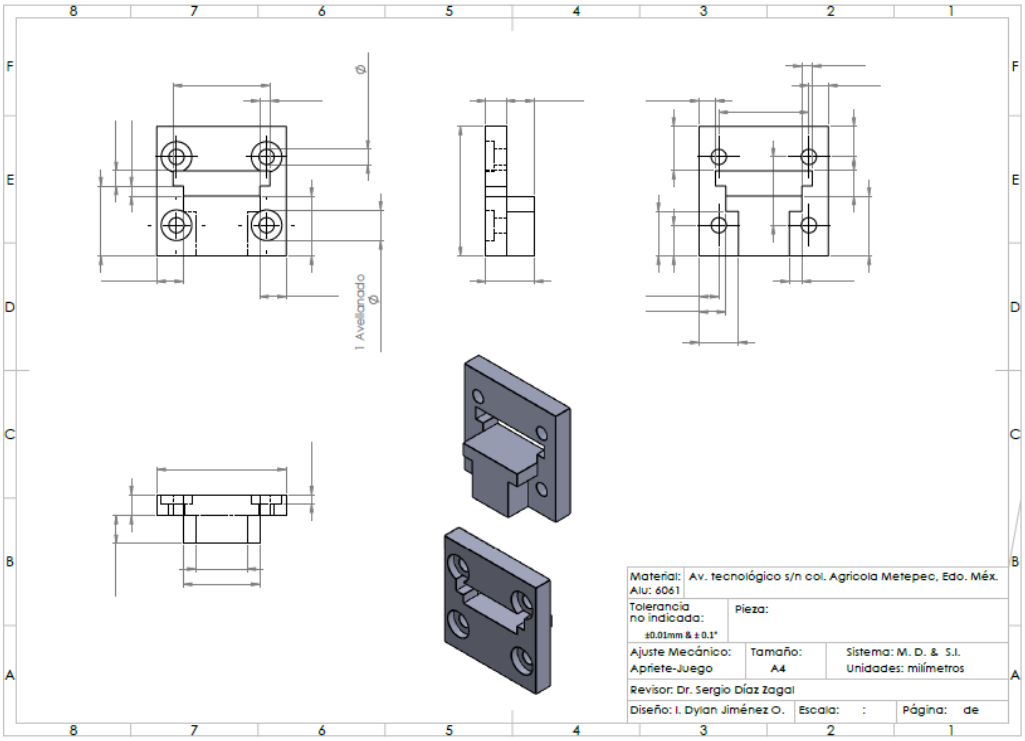


Figura A2.3 Ensamble del Soporte fijo músculos con agarre a la polea 2do y 3er GDL

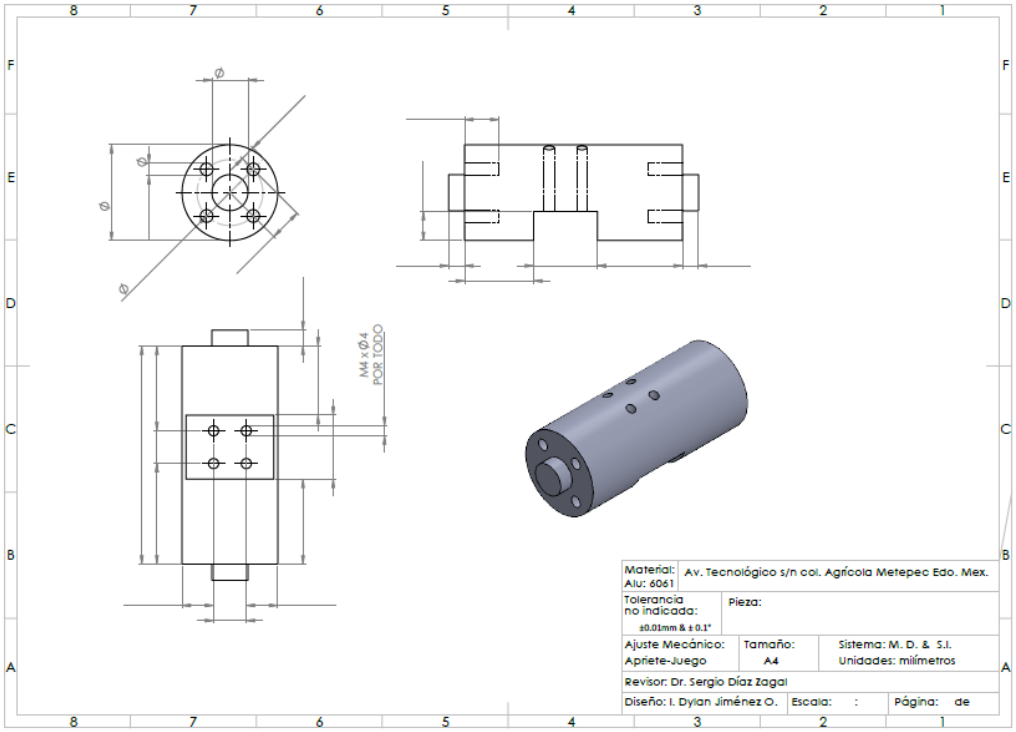


Figura A2.4 Eje central soporte principal músculos 1er GDL

Anexo A1. Alumnos de servicio social, a continuación, se presenta las evidencias del alumno de servicio social.



SEP SES TecNM

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Toluca

"REPORTE FINAL DE SERVICIO SOCIAL"

INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

PRESENTA

ALUMNA: VIGIL AVILA PAOLA XIMENA

Número de Control:

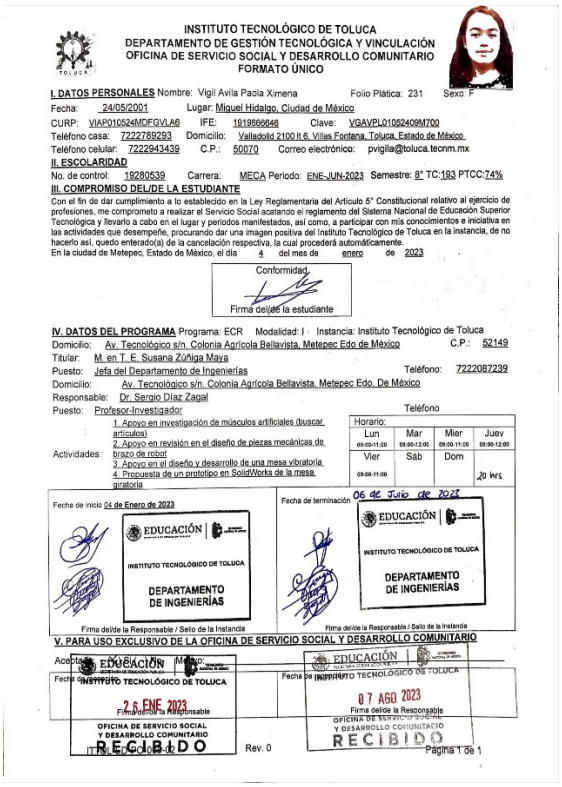
19280539

PERIODO DE ACTIVIDADES:

04 DE ENERO DE 2023 AL 06 DE JULIO DE 2023

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA
07 AGO 2023
OFICINA DE SERVICIO SOCIAL Y DESARROLLO COMUNITARIO

METEPEC, ESTADO DE MÉXICO, ENERO DE 2023

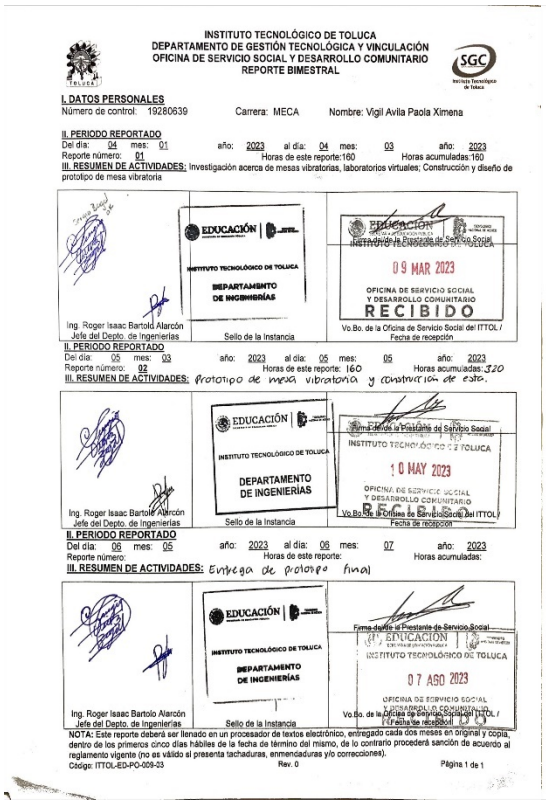


INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA
DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN
OFICINA DE SERVICIO SOCIAL Y DESARROLLO COMUNITARIO
FORMATO ÚNICO

I. DATOS PERSONALES Nombre: Vigil Avila Paola Ximena Folio Plática: 231 Sexo: F
Fecha: 24/05/2001 Lugar: Miguel Hidalgo, Ciudad de México
CURP: VIAP010524MDFGVLA6 IFE: 1919666646 Clave: VGAVPL01052409M700
Teléfono casa: 7222789293 Domicilio: Valladolid 2100 lt 6, Villas Fontana, Toluca, Estado de México
Teléfono celular: 7222943439 C.P.: 50070 Correo electrónico: pvigilla@toluca.tecnm.mx
II. ESCOLARIDAD
No. de control: 19280539 Carrera: MECA Periodo: ENE-JUN-2023 Semestre: 8° TC:193 PTCC:74%
III. COMPROMISO DEL/DE LA ESTUDIANTE
Con el fin de dar cumplimiento a lo establecido en la Ley Reglamentaria del Artículo 5° Constitucional relativo al ejercicio de profesiones, me comprometo a realizar el Servicio Social acatando el reglamento del Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica y llevarlo a cabo en el lugar y periodos manifestados, así como, a participar con mis conocimientos e iniciativa en las actividades que desempeñe, procurando dar una imagen positiva del Instituto Tecnológico de Toluca en la instancia, de no hacerlo así, quedo enterado(a) de la cancelación respectiva, la cual procederá automáticamente.
En la ciudad de Metepec, Estado de México, el día 4 del mes de enero de 2023
Conformidad
Firma del/de la estudiante
IV. DATOS DEL PROGRAMA Programa: ECR Modalidad: I Instancia: Instituto Tecnológico de Toluca
Domicilio: Av. Tecnológico s/n. Colonia Agrícola Bellavista, Metepec Edo de México C.P.: 52149
Titular: M. en T. E. Susana Zúñiga Maya
Puesto: Jefa del Departamento de Ingenierías Teléfono: 7222087239
Domicilio: Av. Tecnológico s/n. Colonia Agrícola Bellavista, Metepec Edo. De México
Responsable: Dr. Sergio Díaz Zagal
Puesto: Profesor-Investigador Teléfono
Actividades:
1. Apoyo en investigación de músculos artificiales (buscar artículos)
2. Apoyo en revisión en el diseño de piezas mecánicas de brazo de robot
3. Apoyo en el diseño y desarrollo de una mesa vibratoria
4. Propuesta de un prototipo en SolidWorks de la mesa giratoria

Horario:			
Lun 09:00-11:00	Mar 09:00-12:00	Mier 09:00-11:00	Juev 09:00-12:00
Vier 09:00-11:00	Sáb	Dom	20 hrs

Fecha de inicio 04 de Enero de 2023 — Firma del/de la Responsable / Sello de la Instancia
Fecha de terminación 06 de Julio de 2023 — Firma del/de la Responsable / Sello de la Instancia
V. PARA USO EXCLUSIVO DE LA OFICINA DE SERVICIO SOCIAL Y DESARROLLO COMUNITARIO
Aceptado Motivo:
Fecha de inicio: 26 ENE 2023 — Firma del/de la Responsable — RECIBIDO
Fecha de terminación: 07 AGO 2023 — Firma del/de la Responsable — RECIBIDO
Rev. 0
Página 1 de 1



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA
DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN
OFICINA DE SERVICIO SOCIAL Y DESARROLLO COMUNITARIO
REPORTE BIMESTRAL

I. DATOS PERSONALES
Número de control: 19280639 Carrera: MECA Nombre: Vigil Avila Paola Ximena

II. PERIODO REPORTADO
Del día: 04 mes: 01 año: 2023 al día: 04 mes: 03 año: 2023
Reporte número: 01 Horas de este reporte:160 Horas acumuladas:160
III. RESUMEN DE ACTIVIDADES: Investigación acerca de mesas vibratorias, laboratorios virtuales; Construcción y diseño de prototipo de mesa vibratoria
Ing. Roger Isaac Bartolo Alarcón Jefe del Depto. de Ingenierías — Sello de la Instancia — Firma del/de la Presente de Servicio Social — 09 MAR 2023 RECIBIDO — Vo.Bo. de la Oficina de Servicio Social del ITTOL / Fecha de recepción

II. PERIODO REPORTADO
Del día: 05 mes: 03 año: 2023 al día: 05 mes: 05 año: 2023
Reporte número: 02 Horas de este reporte: 160 Horas acumuladas: 320
III. RESUMEN DE ACTIVIDADES: Prototipo de mesa vibratoria y construcción de esta.
Ing. Roger Isaac Bartolo Alarcón Jefe del Depto. de Ingenierías — Sello de la Instancia — Firma del/de la Presente de Servicio Social — 10 MAY 2023 RECIBIDO — Vo.Bo. de la Oficina de Servicio Social del ITTOL / Fecha de recepción

II. PERIODO REPORTADO
Del día: 06 mes: 05 año: 2023 al día: 06 mes: 07 año: 2023
Reporte número: Horas de este reporte: Horas acumuladas:
III. RESUMEN DE ACTIVIDADES: Entrega de prototipo final
Ing. Roger Isaac Bartolo Alarcón Jefe del Depto. de Ingenierías — Sello de la Instancia — Firma del/de la Presente de Servicio Social — 07 AGO 2023 RECIBIDO — Vo.Bo. de la Oficina de Servicio Social del ITTOL / Fecha de recepción

NOTA: Este reporte deberá ser llenado en un procesador de textos electrónico, entregado cada dos meses en original y copia, dentro de los primeros cinco días hábiles de la fecha de término del mismo, de lo contrario procederá sanción de acuerdo al reglamento vigente (no es válido si presenta tachaduras, enmendaduras y/o correcciones).
Código: ITTOL-ED-PO-009-23 Rev. 0 Página 1 de 1



EDUCACIÓN | TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico de Toluca
Departamento de Ingenierías

Metepec, Edo. de México, 7/Julio/2023

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS
DI-3700-369/2023

ASUNTO: Terminación de Servicio Social.

ALEJANDRO MEDINA PALACIOS
JEFE DEL DPTO. DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN
P R E S E N T E.

ATN: ADRIANA PEÑA VILLANUEVA
OFICINA DE SERVICIO SOCIAL Y DESARROLLO COMUNITARIO

Por medio del presente, me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que el (la) **C. PAOLA XIMENA VIGIL AVILA,** con número de control **19280539**, de la carrera de **INGENIERÍA MECATRÓNICA,** terminó satisfactoriamente su **SERVICIO SOCIAL** en el(la) **DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS**, desempeñando actividades afines a su perfil, cubriendo un total de 480 hrs, durante el periodo comprendido del 4 de enero al 6 de julio del 2023.

Sin otro particular de momento, quedo de usted.

A T E N T A M E N T E
Excelencia en educación tecnológica
Educación integridad y ciencia

ROGER ISAAC BARTOLO ALARCÓN
ENCARGADO DEL DEPTO. DE INGENIERÍAS

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS

c.c.p. Archivo.

RIBA/mdb

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA
07 AGO 2023
OFICINA DE SERVICIO SOCIAL Y DESARROLLO COMUNITARIO
RECIBIDO

Av. Tecnológico S/N, Col. Agrícola Bellavista, Metepec, Edo. de México. C.P.52149. Tels. Dirección: 722 208 72 05, Subd. Académica: 722 208 7207, Subd. de Planeación: 208 7206, Subd. Administrativa: 722 208 7208, Conmut.: 722 208 72 00, e-mail: info@toluca.tecnm.mx | toluca.tecnm.mx

2023 Francisco Villa

A.2 Alumnos de residencia, a continuación de presentan evidencias de los alumnos de residecnia profesional.

Alumna 1. Jessica Tavira Trujillo. Periodo Enero-Junio de 2023



S.E.P S.E.S. Tec.N.M.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA

INFORME TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

REDISEÑO DEL SISTEMA Y DISEÑO DE UN MÚSCULO ARTIFICIAL DE MCKIBBEN PARA PRUEBAS ISOMÉTRICAS E ISOTÓNICAS

INGENIERÍA MECATRÓNICA

PRESENTA:

JESICA TRUJILLO TAVIRA

NO. DE CONTROL:

17280014

ASESOR INTERNO:

GABRIEL TORRES SÁNCHEZ

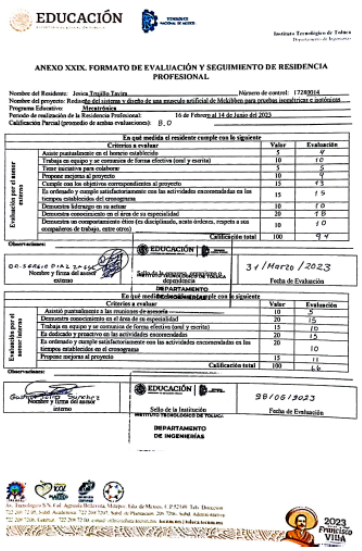
Vo. Bo.
Ing. Gabriel Torres Sánchez
Calificación: 90
28/06/2023

ASESOR EXTERNO:

DR. SERGIO DÍAZ ZAGAL

METEPEC, ESTADO DE MÉXICO, JUNIO DEL 2023

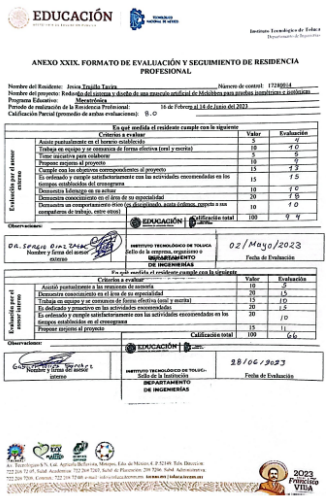
a) Portada firmada con Calificación



EDUCACIÓN

ANEXO XXIX. FORMATO DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

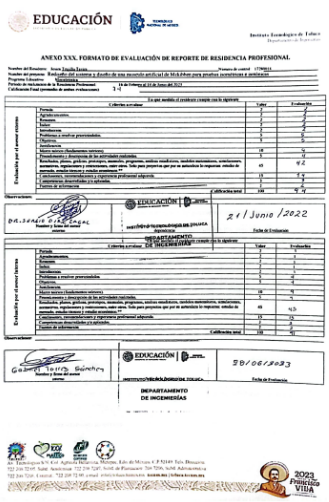
b) Primera evaluación



EDUCACIÓN

ANEXO XXIX. FORMATO DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

c) Segunda evaluación



EDUCACIÓN

ANEXO XXX. FORMATO DE EVALUACIÓN DE REPORTE DE RESIDENCIA PROFESIONAL

d) Evaluación final



EDUCACIÓN

Metepec, Edo. de México, 21 / Junio / 2023

C. FIS. NELSON GARCÍA GARCÍA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES.
P R E S E N T E.

AT´N: MAT. VANESSA CRUZ MOLINA
Coordinadora de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica

ATENTAMENTE

Ing. Gabriel Torres Sánchez
Asesor Interno

Vo. Bo.

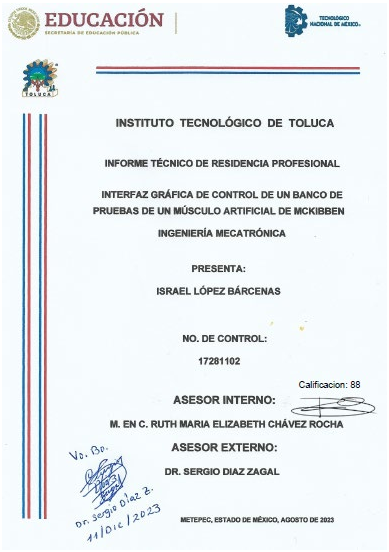
Ing. Rogel Isaac Bartolo Alarcón
Encargado del Departamento de Ingenierías

e) Carta de Liberación

Figura A.2.1 Evidencias de Residencia Profesional de la alumna Jesica Trujillo Tavira Periodo Enero-Junio de 2023

En las 5 imágenes de la figura A.2.1, se muestra las evidencias de la alumna Jesica Trujillo Tavira, durante el periodo Enero-Junio de 2023, se observan: La portada con calificación del asesor interno, Las 3 evaluaciones correspondientes del avance del proyecto, y por último la carta de liberación de la residencia.

Alumno 2. Israel López Bárcenas. Periodo Agosto-Diciembre de 2023



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA

INFORME TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

INTERFAZ GRÁFICA DE CONTROL DE UN BANCO DE PRUEBAS DE UN MÚSCULO ARTIFICIAL DE MCKIBBEN

INGENIERÍA MECATRÓNICA

PRESENTA:

ISRAEL LÓPEZ BÁRCENAS

NO. DE CONTROL:

17281102

Calificacion: 88

ASESOR INTERNO:

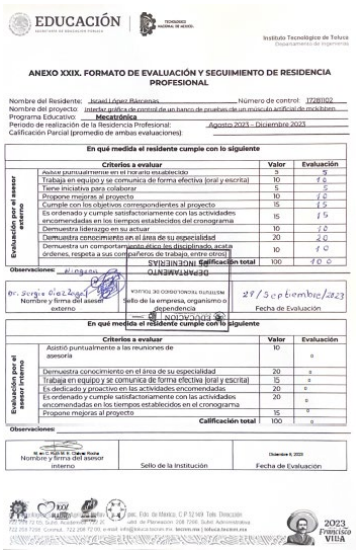
M. EN C. RUTH MARIA ELIZABETH CHÁVEZ ROCHA

ASESOR EXTERNO:

DR. SERGIO DIAZ ZAGAL

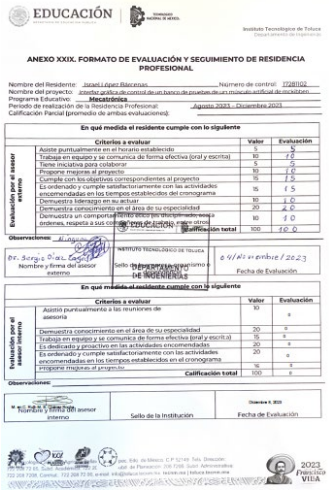
METEPEC, ESTADO DE MÉXICO, AGOSTO DE 2023

a) Portada con calificación



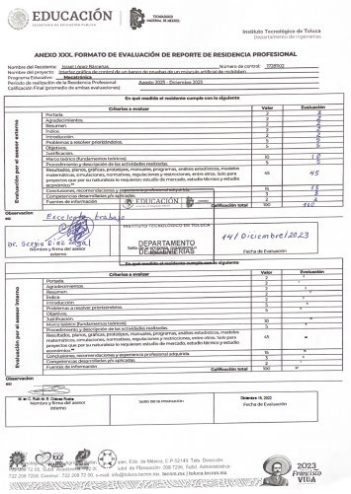
ANEXO XXIX. FORMATO DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

b) Primera Evaluación



ANEXO XXIX. FORMATO DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

a) Segunda evaluación



ANEXO XXX. FORMATO DE EVALUACIÓN DE REPORTE DE RESIDENCIA PROFESIONAL

b) Evaluación final

Figura A.2.2 Evidencias del alumno de Residencia profesional Israel López Bárcenas Periodo Agosto-Diciembre de 2023.

En la figura A.2.2.6, Se observa la portada firmada por los asesores y la calificación final de la asesora interna, cabe hacer mención que la carta de liberación se tendrá a partir de la segunda semana de Febrero.

Anexo A3. Constancia de Participación en el Congreso Internacional Virtual en educación para el desarrollo sostenible, con el artículo "Sistema multiplataforma para el control de lazo abierto de un par de músculos artificiales de McKibben empleando IoT, en prácticas a distancia". Trabajo correspondiente a Memorias en extenso en congresos.

Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente A.C.
Registro definitivo RENIECYT No 1700205 a cargo del CONACYT

CONGRESO INTERNACIONAL VIRTUAL EN EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

EDES 2023

Punto de encuentro de Hispanoamérica

CERTIFICADO

Otorgado a; **Sergio Díaz Zagal**

Por su participación en calidad de **PONENTE** con el trabajo titulado; "**Sistema multiplataforma para el control de lazo abierto de un par de músculos artificiales de McKibben empleando IoT, en prácticas a distancia.".**

Presentado en el Congreso Internacional Virtual en Educación para el Desarrollo Sostenible EDES 2023. Organizado por el Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente, CENID A.C. celebrado los días 3,4 y 5 de mayo del 2023.

Guadalajara, Jalisco, México a 5 de mayo del 2023.

Dr. Francisco Santillán Campos
Presidente Comité Organizador CDES 2023

Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente A.C.

Anexo A4. Reconocimiento como Co-Autor del Artículo en congreso Internacional virtual en educación para el desarrollo sustentable EDES 2023

Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente A.C.
Registro definitivo RENIECYT No 1700205 a cargo del CONACYT

CONGRESO INTERNACIONAL VIRTUAL EN EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

EDES 2023

Punto de encuentro de Hispanoamérica

CERTIFICADO

Otorgado a; **Sergio Díaz Zagal**

Por su participación en calidad de **PONENTE** con el trabajo titulado; "**Modelo de Transferencia de conocimiento y de tecnología para las IES".**

Presentado en el Congreso Internacional Virtual en Educación para el Desarrollo Sostenible EDES 2023. Organizado por el Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente, CENID A.C. celebrado los días 3,4 y 5 de mayo del 2023.

Guadalajara, Jalisco, México a 5 de mayo del 2023.

Dr. Francisco Santillán Campos
Presidente Comité Organizador CDES 2023

Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente A.C.

Anexo A5. Carta de Aceptación como Autor principal del Artículo que ya fue publicado en Revista Electrónica Arbitrada, indexada.

CAGI

Revista Electrónica sobre Cuerpos Académicos y Grupos de Investigación en Iberoamérica

ISSN: 2448 - 6280

A quien corresponda:

La Revista Electrónica sobre Cuerpos Académicos y Grupos de Investigación en Iberoamérica CAGI, hace **CONSTAR** que; **Sergio Díaz Zagal y Citlalih Y. A. Gutiérrez Estrada Vázquez** son autores del artículo titulado; **"Sistema multiplataforma para el control de lazo abierto de un par de músculos artificiales de McKibben empleando IoT, en prácticas a distancia."** Mismo que nos fue enviado en el mes de febrero 2023 y turnado al comité evaluador en marzo 2023 y posteriormente publicado en nuestro volumen 10 número 19 del año 2023 semestre enero - junio.

Se extiende la presente a petición del interesado para los efectos legales y formales que convengan.

ATENTAMENTE

Guadalajara, Jalisco a 8 mayo del 2023

Dr. Francisco Santillán Campos
Director Editor

Cenid
Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente A.C.

Av. Acantilado 2880 Interior Mirador a la Barranca 43, Colonia Bosques el Centinela. C.P. 45120
Tel: 33 10 61 81 87 www.cenid.org.mx **Zapopan; Jalisco, México**

Link: https://www.cagi.org.mx/index.php/CAGI/article/view/290



REVISTA ELECTRÓNICA SOBRE CUERPOS ACADÉMICOS Y GRUPOS DE INVESTIGACIÓN EN IBEROAMÉRICA
ISSN: 2448 – 6280
CAGI

Sistema multiplataforma para el control de lazo abierto de un par de músculos artificiales de McKibben empleando IoT, en prácticas a distancia

Sergio Díaz Zagal
Instituto Tecnológico de Toluca

Citlalih Y. A. Gutiérrez Estrada
Instituto Tecnológico de Toluca

Blanca Noemí Flores Ramírez
Instituto Tecnológico de Toluca

WORD
PDF

PUBLICADO
2023-05-08

CÓMO CITAR

Díaz Zagal, S. ., Gutiérrez Estrada, C. Y. A. ., & Flores Ramírez, B. N. . (2023). Sistema multiplataforma para el control de lazo abierto de un par de músculos artificiales de McKibben empleando IoT, en prácticas a distancia. *Revista Electrónica Sobre Cuerpos Académicos Y Grupos De Investigación, 10*(19). Recuperado a partir de https://www.cagi.org.mx/index.php/CAGI/article/view/290

Más formatos de cita

NÚMERO
Vol. 10 Núm. 19 (2023): Enero - Junio 2023

SECCIÓN
Artículos científicos

LICENCIA

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue desarrollar una herramienta de apoyo para las asignaturas de control, robótica e IoT mediante un sistema multiplataforma que se adapta a cualquier dispositivo móvil, ya sea computadora, laptop, tableta o teléfono celular. Esta herramienta permite reforzar la teoría vista en las aulas mediante prácticas programadas por el profesor de acuerdo al tema visto. Se analizó, diseñó, desarrolló y se validó teórica y experimentalmente la arquitectura del control de un par de músculos artificiales de McKibben vía web. Se planteó la estrategia de integrar el sistema sobre LabVIEW y tecnología web a través del marco de trabajo basado en la Metodología cascada e incremental. Estas herramientas se emplearon iniciando con un modelo abstracto para obtener resultados satisfactorios en cuanto a la especificación de requerimientos y el modelado final del sistema.

Entre los aportes más significativos que se lograron, se encuentra la interacción del usuario con el sistema en tiempo de ejecución sobre LabVIEW a través de diferentes navegadores y dispositivos, sin necesidad de una aplicación por parte del usuario. Esto presenta un ahorro económico al trabajar con una licencia de LabVIEW para una mayor cantidad de usuarios.

Anexo A6. Carta de Aceptación como Co-Autor del Artículo que ya fue publicado en Revista Electrónica Arbitrada, indexada.

CAGI

Revista Electrónica sobre Cuerpos Académicos y Grupos de Investigación en Iberoamérica

ISSN: 2448 - 6280

A quien corresponda:

La Revista Electrónica sobre Cuerpos Académicos y Grupos de Investigación en Iberoamérica CAGI, hace **CONSTAR** que; **Sergio Díaz Zagal, Citlalih Y. A. Gutiérrez Estrada y Paulina Porcayo Vázquez** son autores del artículo titulado; **"Modelo de Transferencia de conocimiento y de tecnología para las IES."** Mismo que nos fue enviado en el mes de febrero 2023 y turnado al comité evaluador en marzo 2023 y posteriormente publicado en nuestro volumen 10 número 19 del año 2023 semestre enero - junio.

Se extiende la presente a petición del interesado para los efectos legales y formales que convengan.

ATENTAMENTE

Guadalajara, Jalisco a 8 mayo del 2023

Dr. Francisco Santillán Campos
Director Editor

Cenid
Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente A.C.

Av. Acantilado 2880 Interior Mirador a la Barranca 43, Colonia Bosques el Centinela. C.P. 45120
Tel: 33 10 61 81 87 www.cenid.org.mx **Zapopan; Jalisco, México**

Link: http://www.cagi.org.mx/index.php/CAGI/article/view/296



REVISTA ELECTRÓNICA SOBRE CUERPOS ACADÉMICOS Y GRUPOS DE INVESTIGACIÓN EN IBEROAMÉRICA
ISSN: 2448 – 6280
CAGI

Modelo para la transferencia de conocimiento y de tecnología del Sistema Educativo del TecNM

Citlalih Yollohtli Alejandra Gutiérrez Estrada
Instituto Tecnológico de Toluca

Sergio Díaz Zagal
Instituto Tecnológico de Toluca

Paulina Porcayo Vázquez
Instituto Tecnológico de Toluca

PDF
WORD

PUBLICADO
2023-06-02

CÓMO CITAR

Gutiérrez Estrada, C. Y. A. , Díaz Zagal, S. ., & Porcayo Vázquez, P. . (2023). Modelo para la transferencia de conocimiento y de tecnología del Sistema Educativo del TecNM. *Revista Electrónica Sobre Cuerpos Académicos Y Grupos De Investigación*, *10*(19). Recuperado a partir de http://www.cagi.org.mx/index.php/CAGI/article/view/296

Más formatos de cita

NÚMERO
Vol. 10 Núm. 19 (2023): Enero - Junio 2023

SECCIÓN
Artículos científicos

LICENCIA
Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons

RESUMEN

En la actualidad existe gran interés en estudiar problemas relacionados al contexto económico, social y tecnológico, ocasionando la competencia entre los diferentes mercados tanto a nivel nacional como internacional. Esto obliga a que las Instituciones Educativas de Nivel Superior (IES), se vinculen con el sector productivo, respondan a las necesidades de la sociedad y en paralelo a las exigencias del mercado, que cada vez es más competitivo.

En este contexto, la Transferencia de Conocimiento y de Tecnología, repercute de manera directa en el desarrollo de proyectos de relevancia trascendental. De aquí, surge la iniciativa de combinar distintos factores de gestión, ante la exigencia de elaborar un mecanismo eficaz, que garantice el buen desempeño y la fiabilidad de una IES. Sin embargo, para iniciar una investigación de este nivel, es necesario que de manera prioritaria se analicen las capacidades tecnológicas y los resultados de impacto para las IES.

El proceso para obtener resultados satisfactorios reside en considerar en su totalidad el contexto del sistema educativo, su disponibilidad y su capacidad en relación a sus recursos humanos (quienes poseen el know-how y la expertise, al desempeñarse en actividades de investigación y desarrollo), en recursos tecnológicos; así como la disposición de los recursos financieros, de sus relaciones funcionales y de la forma en que se efectúa la vinculación, hasta integrar todo en conjunto y lograr la

Anexo A7. Carta de Aceptación como Autor Principal del Artículo que será publicado en capítulo de libro electrónico.

Editorial Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente, CENID A.C.

A quien corresponda:

Guadalajara, Jalisco, 15 de mayo 2023

La editorial del Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente CENID A.C, informa que el artículo **"Sistema multiplataforma para la caracterización de músculos artificiales de McKibben empleando IoT, en prácticas a distancia"** ha sido aceptado y el mismo será publicado como capítulo del libro electrónico **"LA INVESTIGACIÓN COMO VÍNCULO ENTRE EDUCACIÓN Y SOCIEDAD".** Con la autoría de: **Sergio Díaz Zagal, Citlalih Y. A. Gutiérrez Estrada y Blanca Noemí Flores Ramírez.**

El documento se nos hizo llegar en el mes de marzo y a la fecha se encuentra en la etapa de revisión por pares. La entrega del libro en formato electrónico se encuentra programada para el 15 de junio del 2023.

Se extiende la presente a petición de los interesados, para los efectos legales y formales que convengan.

ATENTAMENTE

Dr. Francisco Santillán Campos
Director Editorial CENID

Pompeya # 2961 Col. Providencia C.P. 44670
Tel: (0133) 1061 8187 www.cenid.org.mx Guadalajara, Jalisco, México

Anexo A8. Carta de Aceptación como Co-Autor del Artículo que será publicado en capítulo de libro electrónico.

Editorial Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente, CENID A.C.

A quien corresponda:

Guadalajara, Jalisco, 15 de mayo 2023

La editorial del Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente CENID A.C, informa que el artículo **"Modelo de Transferencia de conocimiento y de tecnología para las IES"** ha sido aceptado y el mismo será publicado como capítulo del libro electrónico **"EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN EN INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN EN MÉXICO".** Con la autoría de: **Citlalih Yollohtli Alejandra Gutiérrez Estrada, Sergio Díaz Zagal y Paulina Porcayo Vázquez.**
El documento se nos hizo llegar en el mes de marzo y a la fecha se encuentra en la etapa de revisión por pares. La entrega del libro en formato electrónico se encuentra programada para el 15 de junio del 2023.

Se extiende la presente a petición de los interesados, para los efectos legales y formales que convengan.

ATENTAMENTE

Dr. Francisco Santillán Campos
Director Editorial CENID

Pompeya # 2961 Col. Providencia C.P. 44670
Tel: (0133) 1061 8187 www.cenid.org.mx Guadalajara, Jalisco, México