

SEP

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO
Instituto Tecnológico de la Laguna

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**“Sistema de posicionamiento para mapeo de
temperaturas en Phantom”**

POR

Ing. Jesús Aguilar Salas

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA**

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Mario Francisco Jesús Cepeda Rubio

ISSN: 0188-9060

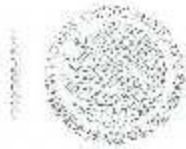


RIITEC: (14)-TMCIE-2015

Torreón, Coahuila, México
Diciembre 2015

SEP

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico de La Laguna

"2015 Año del Generalísimo José María Morelos y Pavón"

Torreón, Coah., **08/Diciembre/2015**
Dependencia: DEPI/CPCIE
Oficio: DEPI/CPCIE/225/2015
Asunto: Autorización de impresión
de tesis

C. Jesús Aguilar Salas
CANDIDATO AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA.
PRESENTE

Después de haber sometido a revisión su trabajo de tesis titulado:

"Sistema de posicionamiento para mapeo de temperaturas en Phantom"

Habiendo cumplido con todas las indicaciones que el jurado revisor de tesis hizo, se le comunica que se le concede la autorización con número de registro **RIITEC: (14)-TMCIE-2015**, para que proceca a la impresión del mismo.

ATENTAMENTE
EDUCACIÓN TECNOLÓGICA FUENTE DE INNOVACIÓN

DR. JOSÉ LUIS MEZA MEDINA
Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación
del Instituto Tecnológico de La Laguna



SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO
de la Laguna
División de Estudios de Posgrado
e Investigación

JLMM/AHSR



5vo. Revolución y Cdad. Cuauhtémoc s/n Col. Centro C.P. 27000
Torreón, Coah. Tel. 7051315, e-mail: wmaster@italaguna.edu.mx
www.italaguna.edu.mx



SEP

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico de La Laguna

"2015. Año del Generalísimo José María Morelos y Pavón"

Torreón, Coah., 07/Diciembre/2015

DR. JOSE LUIS MEZA MEDINA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

Por medio de la presente, hacemos de su conocimiento que después de haber sometido a revisión el trabajo de tesis titulado:

"Sistema de posicionamiento para mapeo de temperaturas en Phantom"

Desarrollado por el **C. Jesús Aguilar Salas**, con número de control **M1413007** y habiendo cumplido con todas las correcciones que se le indicaron, estamos de acuerdo que se le conceda la autorización de la fecha de examen de grado para que proceda a la impresión de la misma.

ATENTAMENTE

EDUCACIÓN TECNOLÓGICA FUENTE DE INNOVACIÓN



Dr. Mario F. Cepeda Rubio
Asesor/Director de Tesis



Dr. Francisco Flores García
Comité Tutorial



Dr. Francisco Valdés Perezgásca
Comité Tutorial



M.C. Martín Vázquez Rueda
Comité Tutorial



Dedicatoria

A mis padres la Sra. María Salas Moreno y el Sr. Manuel Aguilar Orozco, que siempre han sido mi apoyo incondicional en todos los proyectos que emprendo.

Primero que nada expreso mi agradecimiento al director de este proyecto al Dr. Mario Francisco Jesus Cepeda Rubio por confiar en mí y por darme la oportunidad de desarrollar este proyecto.

Expreso también un agradecimiento muy especial a mi novia Diana Zarate Sada que siempre estuvo al pie del cañón en el desarrollo de este trabajo. Extiendo él mismo al Ing. Enrique Zarate y a la Lic. Diana Sada por ser un apoyo muy importante en esta etapa.

A mi alma mater el Instituto Tecnológico de la Laguna.

A mis compañeros y amigos de la maestría.

Al posgrado del Instituto Tecnológico de la Laguna – CONACYT por haberme otorgado la beca correspondiente, que sin ella no hubiera sido posible dedicarme por completo al desarrollo de este trabajo.

A todos aquellos que fueron mis maestros, haciendo una mención especial al Dr. Francisco Valdés Peresgazga, Dr. Francisco Flores y al MC. Martin Vázquez Rueda, que se dieron el tiempo de leer este trabajo y enriquecerlo con sus opiniones.

Abstract

Currently the radiofrequency waves from cell phones are listed by the International Agency for Research on Cancer as potentially hazardous to humans in the appearance of some sort of cancerous tumor. To manage the irradiation parameters it is necessary to know the temperature at which the irradiated tissue by the mobile device rises. One of the techniques needed to know the parameters of irradiation is temperature mapping with optical fiber sensors. In this work it was designed, built and simulated a positioning system used to position the temperature sensors. Simulations and the design used to build the prototype are shown, obtaining a system of highly accurate and efficient positioning.

Resumen

Actualmente, las ondas de radiofrecuencia de los teléfonos celulares son catalogadas por la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer, como potencialmente peligrosas para el ser humano, en la aparición de algún tipo de tumor cancerígeno. Para gestionar los parámetros de radiación es necesario conocer la temperatura a la que se eleva el tejido radiado por el dispositivo móvil. Una de las técnicas más precisas para conocer los parámetros de radiación, es el mapeo de temperatura con sensores de fibra óptica. En este trabajo se diseñó, simuló y construyó el sistema de posicionamiento utilizado para posicionar los sensores de temperatura.

Se muestran las simulaciones, así como el diseño utilizado para hacer la construcción del prototipo, obteniendo un sistema de posicionamiento altamente preciso y eficiente.

Índice

CAPÍTULO I.	INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II.	ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.....	4
2.1	Tasa de Absorción Específica	4
2.2	Telefonía celular.....	4
2.2.1	Datos y cifras de la telefonía celular de acuerdo la O. M. de la S.....	5
2.3	Niveles de exposición	5
2.4	Efectos en la salud	6
2.4.1	Efectos a corto plazo.....	6
2.4.2	Efectos a largo plazo.....	7
2.5	Respuesta de la OMS.....	8
2.6	Cáncer.....	8
2.6.1	Factores externos que causan el cáncer.....	8
2.6.2	Factores internos causantes de cáncer.....	9
2.7	Tumor cerebral	9
2.7.1	Incidencia y mortalidad.....	9
2.8	Robótica.....	10
2.8.1	Orígenes y breve historia de los robots.....	11
2.8.2	Tipos generales de robots.....	14
2.8.3	Definición de robot industrial.....	17
2.8.3.1	Articulaciones y grados de libertad de un robot.....	17
2.8.3.2	Tipos de robots según la configuración de sus ejes	19
2.8.3.3	Características y especificaciones de los robots	23
2.8.3.4	Partes integrales de un brazo robótico	25
2.9	Propiedades dinámicas de importancia	27
2.9.1	Momentos de inercia.....	27
2.9.2	Torque o esfuerzo de torsión	28
2.9.3	Velocidad angular.....	29
2.10	Estado del arte.....	30

2.10.1 Estado del arte en México.....	30
2.10.2 Estado del arte internacional.....	31
CAPÍTULO III. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN.....	34
3.1 Objetivo general.....	34
3.2 Objetivos específicos.....	34
3.2.1 Recapitulación y reevaluación del estado del arte de los sistemas de termometría.....	34
3.2.2 Diseñar un sistema de posicionamiento automático.....	35
3.2.3 Modelado y simulación del sistema de posicionamiento.....	35
3.2.4 Construcción física del prototipo.....	36
3.2.5 Pruebas del sistema de posicionamiento.....	36
3.3 Justificación del desarrollo del prototipo.....	37
3.4 Justificación social.....	37
3.5 Justificación económica.....	38
3.6 Justificación científica.....	38
CAPÍTULO IV. DISEÑO PROPUESTO.....	40
4.1 Descripción general del diseño propuesto.....	40
4.2 Mesa contenedora de sustituto de tejido biológico.....	40
4.2.1 Simulación de carga estática en la mesa contenedora.....	43
4.2.1.1 Condiciones de la simulación.....	43
4.2.1.2 Simulación de esfuerzos en mesa contenedora de sustituto de tejido biológico.....	45
4.2.1.2.1 Propiedades del material utilizado.....	45
4.2.1.2.2 Propiedades de los elementos del ensamblaje.....	46
4.2.1.2.3 Características del mallado asignadas por el simulador.....	50
4.2.1.2.4 Resultados obtenidos de la simulación.....	51
4.3 Diseño propuesto para el sistema de posicionamiento.....	53
4.3.1 Consideraciones del diseño propuesto para el sistema de posicionamiento.....	56

4.3.2	Grados de libertad.....	58
4.3.3	Propiedades físicas de los elementos diseñados.....	59
4.3.3.1	Base principal del brazo.....	59
4.3.3.2	Modelo de eslabón primario.....	61
4.3.3.3	Modelo de eslabón secundario.....	63
4.3.3.4	Modelo de eslabón terciario.....	65
4.3.4	Simulación de esfuerzo de torsión o torque.....	67
4.3.4.1	Simulación de fuerza de torsión Motor N° 2.....	67
4.3.4.1.1	Ubicación del eje motor.....	67
4.3.4.1.2	Condiciones de Simulación.....	68
4.3.4.1.3	Trazado de la trayectoria de trabajo.....	69
4.3.4.2	Simulación de fuerza de torsión Motor N° 3.....	73
4.3.4.2.1	Ubicación del eje motor.....	73
4.3.4.2.2	Condiciones para la simulación.....	73
4.3.4.2.3	Traza de trayectoria par de eslabones 2.....	74
4.3.4.3	Simulación de fuerza de torsión Motor N° 4.....	77
4.3.4.3.1	Ubicación del motor.....	77
4.4	Conclusión de las simulaciones.....	79
CAPÍTULO V. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.....		83
5.1	Adquisición de servomotores.....	83
5.1.1	Características principales de servomotores.....	84
5.2	Adquisición de motor para desplazamiento lineal.....	86
5.3	Tomillo sin fin.....	87
5.4	Maquinado de piezas.....	89
5.4.1	Base principal.....	89
5.4.2	Fabricación de eslabones.....	91
5.4.3	Base de tomillo sin fin.....	92
5.5	Ensamblaje final.....	93
5.6	Programación de motor a pasos.....	94

5.7 Programación de servomotores DYNAMIXEL	95
CAPÍTULO VI. RESULTADOS	97
6.1 Introducción	97
6.2 Sistema lineal	97
6.3 Articulaciones	98
CAPÍTULO VII. PRODUCTOS DE TESIS	103
7.1 Artículos en congresos	103
7.2 Prototipo	103
CAPÍTULO VIII. CONCLUSIONES.....	104
CAPÍTULO IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106

Índice de figuras

Figura 2. 1 Telar programado mediante tarjetas perforadas.	12
Figura 2. 2 A la izquierda robot androide (ASIMO de Honda) y a la derecha un robot zoomórfico.....	14
Figura 2. 3 Robot tipo oruga.....	15
Figura 2. 4 Robot de rehabilitación.....	16
Figura 2. 5 Brazo robótico industrial.....	17
Figura 2. 6 Configuración de robot polar o esférico.....	19
Figura 2. 7 Configuración de robot cilíndrico.....	20
Figura 2. 8 Configuración de robot cartesiano.....	21
Figura 2. 9 Configuración de robot SCARA.....	21
Figura 2. 10 Configuración de robot antropomórfico.....	22
Figura 2. 11 Partes integrales de un robot.....	25
Figura 2. 12 Sistema de posicionamiento CINVESTAV.....	31
Figura 2. 13 Sistema de posicionamiento DASY 5 PRO.....	33
Figura 4. 1 Diseño propuesto de mesa contenedora de sustituto de tejido biológico.....	41
Figura 4. 2 Plano de mesa contenedora de sustituto de tejido biológico.....	42
Figura 4. 3 Diseño del contenedor de sustituto de tejido biológico de cerebro.....	44
Figura 4. 4 Diseño propuesto del sistema de posicionamiento.....	57
Figura 4. 5 Grados de libertad.....	58
Figura 4. 6 Base principal, sistema coordinado.....	59
Figura 4. 7 Propiedades físicas de eslabón primario.....	61
Figura 4. 8 Propiedades físicas de eslabón secundario.....	63
Figura 4. 9 Modelo del eslabón terciario.....	65
Figura 4. 10 Ubicación del eje motor.....	67
Figura 4. 11 Configuración para motor 2.....	68
Figura 4. 12 Fuerza de gravedad.....	69
Figura 4. 13 Trayectoria deseada para eje motor 2.....	70

Figura 4. 14 Gráfica de Torsión generada en el eje motor 2	72
Figura 4. 15 Ubicación del eje motor 2.....	73
Figura 4. 16 Condición de cuerpo rígido motor 2.....	73
Figura 4. 17 Trazo de trayectoria segundo par de eslabones.....	74
Figura 4. 18 Gráfica de torsión motor 3.....	76
Figura 4. 19 Ubicación del motor 4.....	77
Figura 4. 20 Trazo de trayectoria par de eslabón 3.....	78
Figura 5. 1 Servomotores DYNAMIXEL	83
Figura 5. 2 Motor a pasos bipolar.....	86
Figura 5. 3 Tornillo sin fin con tuerca embalada.....	88
Figura 5. 4 Varillas cromadas.....	88
Figura 5. 5 Rodamiento lineal cerrado	88
Figura 5. 6 Arreglo para tornillo sin fin y varillas cromadas.....	89
Figura 5. 7 Maquinado de base principal, a la izquierda se observa corte de material, en la parte central ranurado con fresa, a la derecha torneada cilíndrico.....	90
Figura 5. 8 Ranurado de caja (Izquierda), Caja de servomotor (centro), Base terminada (Derecha).....	90
Figura 5. 9 Material en bruto (Izquierda), Corte rectangular (Izquierda).....	91
Figura 5. 10 Rectificado (Izquierda), Perforado (Derecha).....	91
Figura 5. 11 Vista Explosionada.....	93
Figura 5. 12 Ensamblaje final.....	93
Figura 5. 13 Código de programación Motor a Pasos.....	94
Figura 5. 14 Configuración de dispositivos.....	95
Figura 5. 15 Dynamixel Wizard	95
Figura 5. 16 Código MX-64T Arduino.....	96
Figura 6. 1 Longitud efectiva de 90 cm.....	97
Figura 6. 2 Rodamiento con juego axial para absorber deflexión de tornillo sin fin... ..	98
Figura 6. 3 Ángulo de descanso de eslabón.....	99

Figura 6. 4 Eslabón a media carrera.	99
Figura 6. 5 Eslabón en máximo desplazamiento.....	100
Figura 6. 6 Ángulo de descanso.....	100
Figura 6. 7 Brazo en máxima extensión vertical.....	101
Figura 6. 8 Eslabón secundario en máxima carrera.....	101
Figura 6. 9 Sistema de posicionamiento para sensores de temperatura de fibra óptica.	102

Índice de Tablas

Tabla 2. 1 Tasa de mortalidad observada por tumores malignos según grandes grupos de edad en el 2009 [17].....	10
Tabla 2. 2 Evolución de la robótica a través del tiempo.	12
Tabla 4. 1 Propiedades del modelo.....	46
Tabla 4. 2 Propiedades de los elementos del ensamblaje.	48
Tabla 4. 3 Propiedades del mallado.....	50
Tabla 4. 4 Resultado de las tensiones generadas.....	51
Tabla 4. 5 Resultado del estudio de desplazamiento.	52
Tabla 4. 6 Configuración de robots.	55
Tabla 4. 7 Propiedades físicas de base principal.....	59
Tabla 4. 8 Propiedades físicas de eslabón primario.....	61
Tabla 4. 9 Propiedades físicas de eslabón secundario.....	63
Tabla 4. 10 Propiedades físicas del elemento.....	65
Tabla 4. 11 Torsión generada en eje motor 2.....	71
Tabla 4. 12 Resultados obtenidos de simulación de torsión de eje motor 3.....	75
Tabla 4. 13 Fuerza de torsión en motor 4.	79
Tabla 4. 14 Torque necesario para el modelo.....	82



CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Actualmente los teléfonos móviles, o celulares, son parte fundamental del moderno sistema de telecomunicaciones. En muchos países los utilizan más del 50% de la población, y el mercado está creciendo rápidamente. A finales de 2009, había en todo el mundo cerca de 7000 millones de contratos de telefonía móvil. Y dado el número de usuarios de teléfonos móviles, es importante investigar, comprender y seguir de cerca las repercusiones que podrían tener en la salud pública. Los celulares se comunican entre sí emitiendo ondas de radio a través de una red de antenas fijas denominadas "estaciones base". Las ondas de radiofrecuencia son campos electromagnéticos, pero a diferencia de las radiaciones ionizantes, como los rayos X o los rayos gamma, no pueden escindir los enlaces químicos ni causar ionización en el cuerpo humano [1].

Para conocer los parámetros de irradiación, es necesario conocer la temperatura a la que se eleva el tejido irradiado, por lo que es indispensable contar con un sistema de medición de temperatura altamente confiable. La medición de la temperatura se lleva a cabo con sistemas de termometría que pueden ser no invasivos o invasivos. El uso de sensores convencionales (termistores, termopares, etc.), no es confiable en algunas aplicaciones, debido a que los voltajes y corrientes producen interferencia electromagnética, al existir componentes metálicos, se produce un auto calentamiento por inducción. Estos factores provocan lecturas erróneas en la medición [2].

La comparación entre dos métodos de medición como lo son: sistema térmico (sensores de temperatura de fibra óptica), y de exploración de campo eléctrico muestran un mejor comportamiento del sistema térmico, ya que ante variaciones de frecuencias de (3 a 6) GHz, nos muestra que los sensores de fibra óptica pueden medir la temperatura sin ningún problema al no mostrar una dependencia a la frecuencia [3].



Es por esto que en la presente tesis se describe el diseño y simulación de un sistema de posicionamiento para sensores de temperatura de fibra óptica utilizados en el estudio de la tasa de absorción específica (SAR por sus siglas en inglés). Dicha tesis consta de 7 capítulos de los cuales se hará mención a continuación:

Capítulo 1 “Introducción” Descripción general de los temas incluidos en el trabajo de tesis.

Capítulo 2 “Antecedentes y estado del arte” En este capítulo se muestran los temas relacionados con la exposición de los tejidos biológicos a campos electromagnéticos. También se hará mención de conceptos básicos de robótica utilizados para el desarrollo del proyecto.

Capítulo 3 “Objetivos y Justificación” Se dan a conocer los principales objetivos del estudio en cuanto a realización, simulación y resultados esperados en el prototipo. Así como el impacto social, económico y científico; y cómo es que estos factores tienen gran relevancia en el desarrollo del estudio.

Capítulo 4 “Solución Propuesta” Se presenta la propuesta o estrategia para llevar a cabo el estudio.

Capítulo 5 “Desarrollo de la Solución Propuesta” Quizás esta sea una de las partes más críticas y por ende más importantes del trabajo de tesis, ya que aquí se diseñará el sistema y simulará el modelo del brazo robótico, e implícitamente se incluirá la memoria de construcción.

Capítulo 6 “Resultados” En este capítulo se plasmarán los resultados obtenidos de todo el estudio.



Capítulo 7 “Análisis de resultados” La interpretación que se le da a los resultados es una parte medular del trabajo, ya que de esta forma podemos evaluar si se cumplió con los resultados esperados.

Capítulo 8 “Productos finales del trabajo de tesis” El trabajo escrito por sí solo, no representa toda la labor que se realizó durante la realización del estudio, por este motivo, incluimos un capítulo en el que se dan a conocer todos aquellos valores derivados de la investigación.

Capítulo 9 “Conclusiones” El contenido del presente capítulo se muestra a manera de retroalimentación, para ubicar áreas de oportunidad y nuevas líneas de investigación.

En las secciones finales del trabajo, podemos encontrar un apartado de referencias bibliográficas.



CAPÍTULO II. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

2.1 Tasa de Absorción Específica

La tasa de absorción específica (SAR por sus siglas en inglés), se define como la derivada en el tiempo de la energía incremental dW absorbida o disipada en una masa incremental dm contenida en un elemento volumétrico dV de densidad conocida ρ . Lo anterior se define mediante la siguiente ecuación [4].

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{\rho} \quad (2.1)$$

2.2 Telefonía celular

Los teléfonos celulares (también llamados “teléfonos móviles”), comenzaron a ser comercializados ampliamente en los Estados Unidos de América en la década de 1990, pero su uso ha ido en aumento desde entonces. Además del gran número de usuarios de teléfonos celulares que continúa en aumento especialmente en adultos y niños, la cantidad de tiempo de exposición ante un teléfono celular también ha ido en aumento repentinamente en los últimos 10 años. Los teléfonos celulares incluyendo los llamados teléfonos inteligentes, emiten una forma de energía conocida como ondas de radiofrecuencia (RF). Por esta razón, ha surgido la preocupación sobre la seguridad en el uso de los teléfonos. Con relación al cáncer, la inquietud se concentra en si los teléfonos celulares podrían incrementar el riesgo de desarrollar tumores en el cerebro u otros tumores en la región de la cabeza y el cuello [1].



2.2.1 Datos y cifras de la telefonía celular de acuerdo la Organización Mundial de la Salud

- En el mundo existen más de 7000 millones de contratos de telefonía celular.
- El centro internacional de investigaciones sobre el cáncer, clasificó como posiblemente cancerígeno los campos electromagnéticos provocados por los celulares.
- En el año 2016, se evaluarán los resultados obtenidos de los estudios de salud relacionados con los campos electromagnéticos.

Los teléfonos celulares son parte medular de los sistemas de comunicación. En algunas naciones, son utilizados por más de la mitad de la población, y estos datos van aumentando muy rápidamente ya que en algunos lugares es la única forma de comunicación que existe. Dado el aumento en el uso de los teléfonos celulares, resulta importante investigar y conocer las consecuencias que los móviles pueden tener en la salud pública.

La forma que trabajan los teléfonos celulares es emitiendo ondas de radio que se transmiten a través de una red de antenas fijas llamadas estaciones base. Las ondas de radiofrecuencias son campos electromagnéticos. Estas radiaciones son no ionizantes, esto quiere decir que no pueden romper los enlaces químicos en el cuerpo humano.

2.3 Niveles de exposición

Los teléfonos celulares trabajan con radiofrecuencias en un intervalo de 450 a 2700 MHz y llegan a tener una potencia máxima de (0.1 a 2) W, el dispositivo sólo emite energía cuando está en funcionamiento. La radiación al usuario desciende en función de la distancia que éste tenga con respecto al aparato. Un usuario que utiliza



el teléfono celular a una distancia superior a los 10 centímetros, estará menos expuesto que uno que lo utiliza completamente pegado a la cabeza.

La utilización de dispositivos que ayudan a mantener alejado el teléfono celular, la disminución en la frecuencia y tiempo de las llamadas, reduce la exposición a las ondas de radiofrecuencia. La transmisión del teléfono celular a menor potencia, está en relación de la zona de recepción de señal en donde se encuentre, ya que entre mejor sea la recepción, el dispositivo se esforzará menos y de esta manera se reduce la potencia generada.

La posibilidad de interferencia que pudieran generar los celulares a bordo de un avión o al interior de un hospital, generó la necesidad de prohibir su uso dentro de los mismos.

2.4 Efectos en la salud

Se han realizado múltiples estudios a lo largo de los últimos 20 años para conocer si los teléfonos celulares representan un riesgo para los usuarios. Hasta el momento no se ha confirmado que produzca efectos adversos para la salud.

2.4.1 Efectos a corto plazo

Aunque ha habido cierta preocupación de que la energía de radiofrecuencia procedente de los teléfonos celulares que se colocan cerca de la cabeza pueda afectar al cerebro y a otros tejidos, a la fecha no hay evidencia de estudios en células de animales o de humanos, de que la energía de radiofrecuencia puede causar cáncer, aunque se tiene registrado que la interacción entre las ondas electromagnéticas y los tejidos biológicos producen calentamiento en éstos. Con respecto al uso de los teléfonos celulares, la mayor parte de la energía disipada al cuerpo humano es absorbida por la piel, que es ahí donde se produce un mayor calentamiento, ya que en



órganos como el cerebro el calentamiento es insignificante. Estudios realizados anteriormente, se encargaron de investigar el efecto de los campos de radiofrecuencia sobre la actividad cerebral, la función cognitiva y presión arterial. Dichas investigaciones no demostraron ningún efecto adverso en la salud de los usuarios [5].

Un estudio reciente mostró que cuando una persona usaba un teléfono celular durante 50 minutos, los tejidos del cerebro del mismo lado de la cabeza donde estaba la antena del teléfono transformaban, por metabolismo, más glucosa que los tejidos del lado opuesto del cerebro [6].

2.4.2 Efectos a largo plazo

Las investigaciones realizadas, han sido evaluar la posible relación entre el uso del teléfono celular y el potencial riesgo de aparición de tumores cerebrales en los usuarios en un largo periodo de tiempo. El uso de los dispositivos móviles, se generalizó hasta la década de los noventas, pero al día de hoy, no se ha podido demostrar si éstos son causantes de tumores cancerígenos en los humanos.

A lo largo de estos años se han realizado estudios de gran magnitud internacional, en los que se han examinado varios criterios de valoración en adultos. El más grande de estos estudios fue llamado INTERPHONE, coordinado por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC), se realizó para determinar si había vínculo entre el uso de estos aparatos y el cáncer de cabeza y de cuello en los adultos. Los datos arrojados por los resultados de los estudios realizados en 14 países no demostraron un aumento en el riesgo de aparición de tumores cancerígenos por el uso del teléfono celular durante más de 10 años. Sin embargo, hay indicios de que un aumento en el tiempo de exposición aumenta el riesgo de glioma en un 40%. Por lo cual, la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (International Agency for Research on Cancer), clasificó los campos electromagnéticos como "*Posiblemente cancerígenos para los humanos*" [7]:



2.5 Respuesta de la OMS

Tras la inquietud manifestada en la época de los noventa por los Gobiernos y el público en general, la OMS creó el Proyecto Internacional de Campos Electromagnéticos (CEM), para evaluar los datos existentes en relación con los efectos de esos campos en la salud. En el año 2016, se realizará una evaluación formal de los riesgos, tomando como base todos los estudios que se hayan hecho hasta la fecha, para así publicar una posible conclusión sobre el riesgo de los campos electromagnéticos en la salud de los usuarios [8].

2.6 Cáncer

Se le conoce como cáncer a un grupo de enfermedades que tienen como característica principal un aumento incontrolado y propagación de células mutadas. Cuando este crecimiento no se controla el desenlace puede ser fatal [9].

2.6.1 Factores externos que causan el cáncer

Los siguientes son algunos de los factores externos que pueden causar cáncer en el humano:

- Tabaco
- Organismos infecciosos
- Alimentación deficiente
- Sustancias químicas
- Radiación ionizante



2.6.2 Factores internos causantes de cáncer

Los factores externos que pueden causar cáncer en el humano son:

- Mutaciones
- Hormonas
- Problemas inmunitarios

Los factores enlistados pueden actuar en conjunto para promover o iniciar el cáncer. El tiempo de detección del cáncer puede ser mayor a los 10 años, éstos a partir de la exposición a los factores externos.

Entre los hispanos el cáncer representa el 20% de la mortalidad en general y el 13% de la mortalidad en niños [10].

2.7 Tumor cerebral

Se le conoce como un proceso expansivo neofornativo que tiene como origen la cavidad del cráneo. Dicho de otra forma, es la aparición anormal de una masa que puede generar daño al cerebro ya sea invadiéndolo o presionando áreas del mismo, debido a su crecimiento incontrolado [11].

2.7.1 Incidencia y mortalidad

En México el cáncer de cuello y cabeza representa el 17.6 % de la totalidad de las neoplasias malignas [12]. Los tumores cerebrales constituyen el 85 % y 90 % de todos los tumores principales de sistema nervioso central [13]. El número de nuevos casos de cáncer de cerebro y otros tipos de cáncer del sistema nervioso central fue de 6.4 por cada 100,000 hombres y mujeres por año. El número de muertes fue de 4.3 por cada 100,000 hombres y mujeres por año en los Estados Unidos [13]. Los tumores



malignos representa una de las principales causas de muerte en México, según el INEGI con un total de 73, 426 muertes tan solo en el año 2013 [14]. La tasa de mortalidad observada para el año 2009 por cada 100,000 habitantes, y según su grupo de edad se muestra en la tabla 2.1 [15].

Tabla 2. 1 Tasa de mortalidad observada por tumores malignos según grandes grupos de edad en el 2009 [16].

Tumores malignos	Grandes grupos de edad			
	0 - 14	15 - 29	30 - 59	60 años y más
Hueso y de los cartilagos articulares	0.29	0.51	0.57	3.96
Órganos respiratorios e intratorácicos	0.05	0.29	4.21	66.8
Labio, de la cavidad bucal y de la faringe	0.02	0.09	0.79	7.72
Células germinales (ovario y testículos)	0.06	0.94	2.72	10.17
Encéfalo y otras partes del sistema nervioso central	0.86	0.56	1.92	9.41
Órganos digestivos	0.20	0.89	15.01	173.26
Glándula tiroidea y otras glándulas endocrinas	0.17	0.11	0.54	5.28
Ojo y sus anexos	0.12	0.02	0.04	0.45
Melanoma y otros tumores malignos de la piel	0.01	0.09	0.94	11.86
Tumores malignos (primarios) de sitios múltiples independientes	0.08	0.13	0.77	7.09
Vías urinarias	0.14	0.10	1.98	21.74
Órganos hematopoyéticos	2.70	2.82	3.67	20.36
Tejido Linfático y afines (incluye Sarcoma de Kaposi y Linfoma de células T, periférico y cutáneo)	0.23	0.73	2.25	16.68
Mama	0.00	0.16	7.10	25.54
Órganos genitales femeninos	0.01	0.59	11.63	51.18
Órganos genitales masculinos	0.00	0.01	1.76	129.04
Otros tumores malignos	0.30	0.73	4.24	34.52

2.8 Robótica

Según la Real Academia de la lengua Española, la robótica es la rama de la ingeniería mecánica, ingeniería eléctrica, ingeniería electrónica y ciencias de la computación que se ocupa del diseño, construcción, operación, disposición estructural, manufactura y aplicación de los robots.



2.8.1 Orígenes y breve historia de los robots

En casi todas las épocas y culturas, los hombres han intentado construir máquinas automáticas que faciliten su trabajo, hagan más cómoda su existencia, satisfagan su curiosidad y su afán de aprender e investigar, o simplemente les sirvan de entretenimiento. Ya en la antigua Grecia, se construyeron ingenios de funcionamiento automático a los que llamaron autómatas; posteriormente en la Edad Media y en el Renacimiento se siguieron fabricando diversos autómatas, entre ellos el gallo de Estrasburgo (1230), y el león animado de Leonardo Da Vinci. Durante los siglos XVII y XVIII, se crearon ingenios mecánicos de mayor complejidad que tenían alguna de las características de los robots actuales; así por ejemplo Jacques de Vaucanson (1709-1782), construyó varios autómatas, uno de los más conocidos es un pato mecánico, que bebe, come, grazna, chapotea en el agua y digiere su comida "como un pato verdadero"; estos primeros autómatas estaban destinados fundamentalmente a ser exhibidos en las ferias y servir de entretenimiento en las Cortes y entre la nobleza. Por esta época de finales del siglo XVIII y a principios del siglo XIX, se desarrollaron algunas máquinas para empleo en la industria textil, entre las que ya había algún telar en el que mediante el uso de tarjetas perforadas se podía elegir el tipo de tela a tejer, este hito, constituyó uno de los primeros precedentes históricos de las máquinas programadas por control numérico, (Figura 2.2). Un poco más tarde que en la industria textil, se incorporan los automatismos en las industrias mineras y metalúrgicas, es la época de las máquinas de vapor; James Watt (1736-1819), contribuyó decisivamente al desarrollo de estas máquinas e inventó el llamado regulador de Watt, que es un regulador centrífugo de acción proporcional; con él nació el concepto de realimentación y la regulación automática, que es una de las bases de los robots industriales actuales, pues entre otros elementos incorporan diversos sensores y reguladores PID [17].

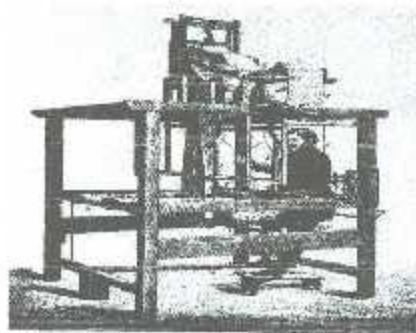


Figura 2. 1 Telar programado mediante tarjetas perforadas.

La palabra robot, se empleó por primera vez en 1920 en una obra de teatro llamada "Robots Universales Rossum", escrita por el dramaturgo checo Karel Capek, se deriva de la palabra checa "robotnik" y significa, siervo, servidor o trabajador forzado. Es en el siglo XX, cuando se empieza a hablar de robots y se produce el desarrollo de éstos, que va ligado con el desarrollo de los microprocesadores. En la tabla 2.2, se citan algunos de los hechos más destacados con sus fechas aproximadas [18].

Tabla 2. 2 Evolución de la robótica a través del tiempo.

1954	A partir de esta fecha, el estadounidense George Devol, comienza la construcción de un brazo articulado que realiza una secuencia de movimientos programables por medio de computador; se considera que este "brazo" es el primer robot industrial.
1956	Devol conoció a Joseph Engelberger y juntos fundaron en 1960 la empresa <i>Unimation</i> dedicada a la fabricación de robots.
1961	Se realizan pruebas de un robot Unimate accionado hidráulicamente, en un proceso de fundición en molde en <i>General Motors</i> .



1968	<i>Kawasaki</i> se une a <i>Unimation</i> y comienza la fabricación y el empleo de robots industriales en Japón. En este año General Motors, emplea baterías de robots en el proceso de fabricación de las carrocerías de los coches.
1973	La empresa sueca ASEA, fabrica el primer robot completamente eléctrico, es el tipo de accionamiento que ha acabado imponiéndose, debido a los avances registrados en el control de motores eléctricos.
1974	Se introduce el primer robot industrial en España. También es el año en el que se comienza a usar el lenguaje de programación AL, del que derivarán otros de uso posterior como el VAL (Victor's Assembly Language) de los robots PUMA, implementado en 1975 por Victor Scheinman, que junto a Devol y Engelberger, son pioneros en la robótica industrial.
1978	Comienza a emplearse el robot PUMA (Programmable Universal Machine for Assambly), de Unimati3n, que es uno de los modelos que más se ha usado, su diseño de "brazo" multiarticulado es la base de la mayoría de los robots actuales.
1981	Comienza la comercializaci3n del robot tipo SCARA (Selective Compliance Arm for Robotic Assambly) en Jap3n.
1987	Se constituye la Federaci3n Internacional de Rob3tica con sede en Estocolmo.

Durante estos a3os, se sientan las bases de la rob3tica industrial, posteriormente aumenta el empleo y la sofisticaci3n de los robots con el incremento de las prestaciones de los microprocesadores y las posibilidades de la inform3tica.



El auge de los robots, además del desarrollo de la electrónica, se debe a la necesidad industrial de fabricar productos con variaciones en función de los gustos y necesidades de los clientes, lo cual ha hecho que las máquinas y dispositivos automáticos de fabricación específicos para fabricar un producto único, solo sean rentables para grandes series; con la robótica y la automatización flexible, se consiguen fabricar distintos productos de una misma familia, con pocos o ningún cambio estructural en las líneas de producción, pues estos sistemas se adaptan por programa a las condiciones variables de fabricación.

2.8.2 Tipos generales de robots

Los robots se pueden clasificar de varias formas, una clasificación por tipos puede ser la siguiente:

Androides y zoomórficos.- La idea de crear robots análogos al hombre, existe en la mente humana desde hace algún tiempo, a estos robots, se les denomina androides; se han construido ya algunos, pero por ahora son dispositivos muy poco evolucionados y con poca utilidad práctica, se destinan fundamentalmente al estudio y experimentación. Uno de los campos en los que se está trabajando es en conseguir el equilibrio de estos robots al andar y subir escaleras. Los zoomórficos, tienen forma de animales y se intenta conseguir con ellos alguna de las facultades que tienen los animales.



Figura 2. 2 A la izquierda robot androide (ASIMO de Honda) y a la derecha un robot zoomórfico



Móviles.- Los robots móviles están provistos de patas, ruedas u orugas que los capacitan para desplazarse en función de su programación y de la información que reciben. Pueden llevar diversos sistemas de sensores para captar información, por ejemplo: a través de bandas electromagnéticas o fotoeléctricas, vía radio o por medio de sus propias cámaras de visión.

Se emplean en determinados tipos de instalaciones industriales, sobre todo para el transporte de mercancías en cadenas de producción y almacenes. También se utilizan robots de este tipo para la investigación en lugares de difícil acceso o muy distantes, como es el caso de la exploración espacial y las investigaciones o rescates submarinos.



Figura 2. 3 Robot tipo oruga.

De Servicio.- En esta clasificación podrían entrar todos los robots no industriales:

- De limpieza: para suelos, ventanales, conductos, etc.
- De uso en ambientes hostiles: con peligro de explosión, de difícil acceso o nocivos para el hombre, en mediciones de radiación y altas temperaturas, en control y accionamiento de válvulas, mantenimiento y reparación, etc.
- De servicios médicos: prótesis robotizadas, rehabilitación y ayuda a discapacitados, cirugía.
- Microrobots; están en fase de desarrollo y pueden tener aplicaciones en micro-medicina y sectores industriales muy específicos.



Figura 2. 4 Robot de rehabilitación.

Telemanipulados o Teleoperados.- Los telemanipuladores, no encajan exactamente en la definición de robot pues un telemanipulador precisa el mando continuo de un operario. La sustitución del operador por un programa de ordenador para controlar los movimientos del manipulador dio paso al concepto de robot. El primer telemanipulador fue construido en 1948 por R.C. Goertz del Argonne National Laboratory. Los teleoperadores son generalmente sofisticados y muy útiles en entornos peligrosos, como en el manejo de residuos químicos, atómicos y en la desactivación de bombas.

Industriales.- Los robots industriales son los más usados y en base a los que se ha producido el desarrollo de la robótica. Están destinados a realizar de forma automática determinados procesos de fabricación o manipulación. La incorporación del robot al mundo industrial, introduce el concepto de "sistema de fabricación flexible", cuya principal característica consiste en la facilidad de adaptación de las líneas o células de fabricación a las diferentes tareas de producción. A partir de este punto, nos referiremos casi exclusivamente a este tipo de robots.



Figura 2. 5 Brazo robótico industrial.

2.8.3 Definición de robot industrial

La federación internacional de robótica (IFR), define: *“Por robot industrial de manipulación se entiende a una máquina de manipulación automática, reprogramable y multifuncional con tres o más ejes que pueden posicionar y orientar materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales para la ejecución de trabajos diversos en las diferentes etapas de la producción industrial, ya sea en una posición fija o en movimientos”*.

2.8.3.1 Articulaciones y grados de libertad de un robot

Un robot consta de una serie de elementos rígidos, que están unidos entre sí por medio de articulaciones formando una cadena, dicha cadena comienza con una base de apoyo generalmente fija y termina por su otro extremo, móvil y libre, que es donde se acopla la herramienta o dispositivo de trabajo del robot.



Las articulaciones permiten que entre las partes que se unen (también llamados ejes), se pueda generar un movimiento, ya sea de desplazamiento, de giro, o una combinación de ambos. Hay diferentes tipos de articulaciones:

- Prismática (P)
- Rotación (R)

Estos dos tipos de articulación sólo permiten un grado de libertad (GDL), o movimiento independiente entre las partes que unen.

Prismática.- permite únicamente un movimiento relativo de desplazamiento o traslación en una sola dirección o eje.

Rotación.- permite únicamente un movimiento relativo de giro alrededor de un solo eje.

Se puede llegar a la conclusión que el número de GDL, es igual al número de articulaciones o al número de ejes.

Generalmente, los robots consiguen el posicionamiento por medio de sus tres primeras articulaciones, y la orientación de su elemento terminal con el resto de las mismas. No es necesario que el robot tenga 6 GDL para todas las aplicaciones, hay robots con sólo 3 GDL; por contrario también se habla de robots con más de 6 articulaciones y GDL, que permiten aumentar la accesibilidad a ciertas zonas de trabajo; en este caso para un brazo robótico, no se tienen más de 6 GDL, ya que alguna de las articulaciones o ejes proporcionan falsos GDL que son repetidos de los proporcionados por otras articulaciones.



2.8.3.2 Tipos de robots según la configuración de sus ejes

El tipo de robot está determinado por las primeras 3 articulaciones, estas le confieren una determinada configuración a los 3 ejes principales. Debido a esto se tienen los siguientes tipos básicos de robots:

- Polar y esférico
- Cilíndrico
- Cartesiano
- SCARA
- Angular o antropomórfico

Robot polar o esférico.- La primera y la segunda articulación son de ejes de rotación perpendiculares entre sí, la tercera es prismática; así se tienen giros y un desplazamiento que permite posicionar un punto en el espacio mediante coordenadas polares.

Los primeros robots fueron de este tipo y tenían accionamientos hidráulicos, hoy en día se usan poco, debido a que es complicado controlar sus movimientos de traslación y a la flexión que se produce en su brazo cuando extendido con cargas de cierta magnitud, aun así son apropiados para mover cargas elevadas que no precisen mucha exactitud o movimientos complejos.

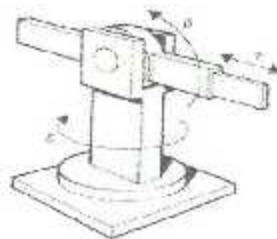


Figura 2. 6 Configuración de robot polar o esférico.



Robot cilíndrico.- Utiliza un giro en la base y dos desplazamientos perpendiculares entre sí, para determinar la posición de los puntos por medio de coordenadas cilíndricas. Se controla fácilmente y es rápido, pero se usa para casos que no haya obstáculos en su zona de trabajo y el acceso a ella se haga horizontalmente.

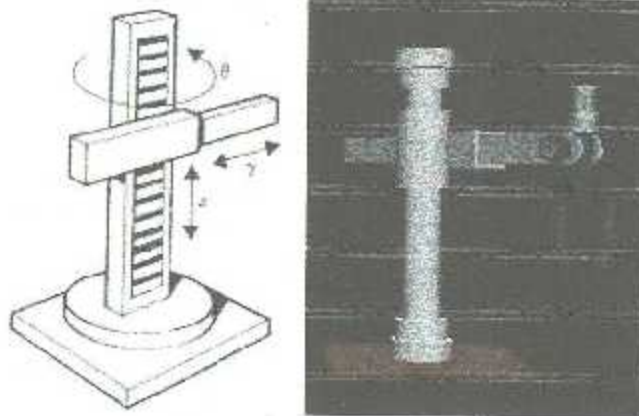


Figura 2. 7 Configuración de robot cilíndrico.

Robot cartesiano.- Sus tres articulaciones principales son prismáticas, los ejes son ortogonales entre sí y los desplazamientos sobre ellos dan las coordenadas X, Y, Z, de los puntos de trabajo. La estructura puede ser de tipo cantiléver o en pórtico. Son rápidos, muy precisos, de fácil control, amplia zona de trabajo y elevada capacidad de carga. Pero ocupan mucho espacio relativo y su elemento terminal-herramienta no es especialmente orientable. Se usan en aplicaciones que requieren movimientos lineales de alta precisión en zonas de trabajo que sean fundamentalmente un plano o planos paralelos. Si la precisión necesaria no es alta, los ejes controlados por medio de PLC y tarjetas electrónicas aventajan notablemente en precio a este tipo de robots.

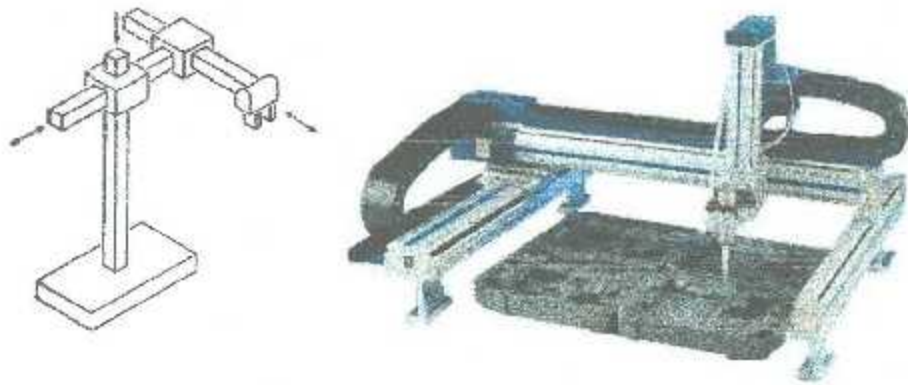


Figura 2. 8 Configuración de robot cartesiano.

Robot SCARA.- Es un robot con dos articulaciones R y una P, con las dos R se controla la posición respecto al plano X-Y y con la P la coordenada Z. Es rápido, económico y preciso, pero sólo tiene accesibilidad a zonas de trabajo que estén en planos perpendiculares a su eje vertical. Se emplea fundamentalmente en operaciones de ensamblado o inserción de componentes electrónicos y otros trabajos similares. Es originario de Japón y es allí donde más se emplea, su inconveniente inicial era la potencia de cálculo necesaria para determinar posiciones por combinación de giros, pero este problema se ha resuelto para este y otros robots, gracias al desarrollo de los microprocesadores.

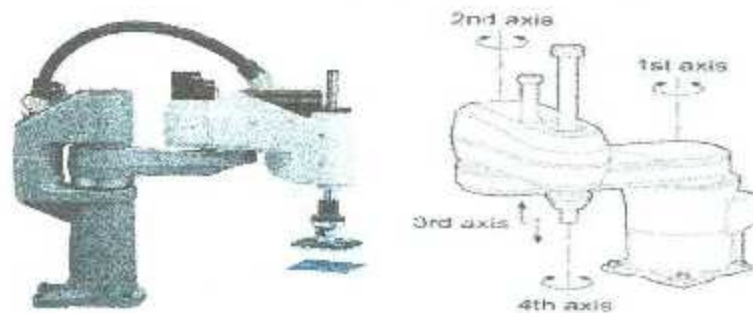


Figura 2. 9 Configuración de robot SCARA.



Robot angular o antropomórfico.- Tiene sus principales articulaciones de tipo R, (y también las restantes), con lo cual emplea las coordenadas angulares para determinar las posiciones de su elemento terminal. Se llama antropomórfico, porque simula los movimientos de un brazo humano, el primer eje corresponde con el cuerpo, el segundo con el brazo, el tercero con el antebrazo y el resto con la muñeca-mano; la primera articulación corresponde con el giro de la cintura, la segunda con el hombro, la tercera con el codo y el resto están en la muñeca.

Este robot posee gran accesibilidad y maniobrabilidad, es rápido y ocupa poco espacio en relación al campo de trabajo que abarca. Debido a sus características, es el modelo más versátil en aplicaciones y se ha superado a los demás, sobre todo en las células de fabricación flexible. Como inconvenientes se puede mencionar que tiene menos precisión que otros modelos, que si trabaja con carga y velocidades altas se producen inercias de giro difíciles de compensar y que sus articulaciones deben tener juego angular casi nulo, pues un pequeño juego angular se amplifica en posición en función de la longitud del eje correspondiente, con lo cual puede dar errores considerables.



Figura 2. 10 Configuración de robot antropomórfico.



2.8.3.3 Características y especificaciones de los robots

Las características técnicas o especificaciones industriales, dan una idea muy aproximada de la capacidad y adecuación de un determinado tipo de robot, para realizar una serie específica de tareas o trabajos. No todos los fabricantes dan las mismas características, a continuación se mencionan las más importantes.

Grados de libertad.- Los robots, suelen tener entre 3 y 6 GDL sin contar los movimientos propios de la herramienta que se le acopla, ni los GDL redundantes. A más GDL, mayor flexibilidad en el posicionamiento y orientación del elemento terminal.

Zona de trabajo.- Es un volumen espacial con forma semejante entre los robots con la misma configuración de los ejes, por lo tanto depende fundamentalmente del tipo de robot y del tamaño de sus semejantes.

Capacidad de carga.- Es la máxima carga que un determinado robot puede transportar a su velocidad nominal considerando su configuración más desfavorable y garantizado el posicionado. En esta carga se incluye el peso de la pinza o herramienta que se le acopla al robot en su muñeca-mano; puede variar entre 1 kg y 200 kg aproximadamente.

Resolución.- Podemos decir que es el mínimo incremento o variación de desplazamiento que puede realizar un robot en su elemento terminal; depende fundamentalmente de la unidad de control del robot.

Precisión.- Es la distancia que hay entre el punto programado y el punto realmente alcanzado por el robot. En una serie de movimientos repetidos, es el grado de ajuste del valor del punto medio de estos movimientos al valor programado.



Repetibilidad.- se entiende como el grado de exactitud en la repetición de movimientos, una buena repetibilidad, da baja desviación para el conjunto de estos movimientos, aunque su medida se aleje del valor programado. Si se acogen los puntos de destino por aprendizaje, la repetibilidad es mucho más importante que la resolución y la precisión, pues lo importante en este caso es que el robot repita el posicionado en los puntos que él ha grabado. La repetibilidad en los robots varía aproximadamente desde 0.01 mm hasta 2 mm.

Velocidad y aceleración.- La velocidad es importante sobre todo para movimientos largos y en aplicaciones de paletizado: inserción, manipulación y montaje. La velocidad nominal puede darse para cada eje independiente.

La aceleración es importante para movimientos cortos en los que se necesitan arranques y frenados rápidos. Hay controles que implementan perfiles de movimiento con rampas de aceleración y frenado para optimizar los movimientos en función de las distancias, velocidades e inercias.

Armario o unidad de control.- Reúne una serie de características que determinan las comunicaciones con el entorno, la capacidad y potencia de control del brazo robótico. Estas características están evolucionando constantemente, entre ellas están las siguientes:

- Memoria de almacenamiento y de programa
- Lenguaje de programación
- Tipos de comunicaciones con el entorno; número y tipo de E/S.
- Periféricos conectables.



2.8.3.4 Partes integrales de un brazo robótico

Los robots cuentan básicamente con dos partes principales, el gabinete de control y el brazo robótico.

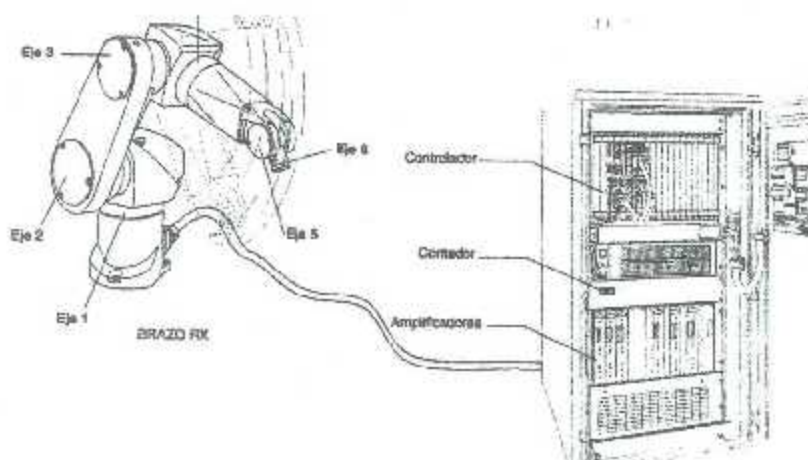


Figura 2. 11 Partes integrales de un robot.

Gabinete de control

El brazo está constituido por segmentos o miembros rígidos enlazados entre sí por medio de articulaciones; estos elementos realizan la función de, carcasa, soporte y guiado; de una serie de elementos o sistemas que generalmente se alojan en su interior; entre estos tenemos a los sistemas de accionamiento, transformación y transmisión de movimientos, detección de posición y velocidad, adicionalmente los cableados y sistemas auxiliares como: frenos, equilibradores, etc.

Sistemas de accionamiento.- En los primeros robots, el accionamiento era hidráulico, ahora este tipo de accionamiento se ha quedado reducido a casos de grandes esfuerzos o zonas con elevado riesgo de explosión; posteriormente se emplearon motores de corriente continua de escobillas debido a la facilidad para regular su par y su velocidad. Más tarde, se desarrollaron motores de corriente directa



(D.C.), con los imanes permanentes en el rotor y las bobinas del inducido en el estator; con este diseño, se produce tres ventajas importantes para la robótica:

- Se eliminan las escobillas y su mantenimiento.
- Al ser menor el momento de inercia en el rotor, se pueden aumentar las velocidades.
- Se produce menos calor y se disipa mejor.

Actualmente, se ha impuesto el motor de corriente alterna (A.C.) sin escobillas (brushless), pues ahora, también es posible regular fácilmente su par y su velocidad variando la frecuencia de la tensión de alimentación. Este motor es de construcción análoga al motor de D.C. sin escobillas y tiene las ventajas de él, pero además tiene mayor potencia a igualdad de peso.

El accionamiento neumático se emplea únicamente para accionar el eje lineal de algunos robots de tipo SCARA, así como las pinzas y algunas de las herramientas que se les acoplan a los robots.

Detectores de la posición y de la velocidad.- Para poder controlar el movimiento del robot, es necesario detectar la posición y la velocidad de cada uno de los ejes y realimentar estos datos en la cadena de regulación. De forma general, los tipos de sensores de posición, los más usados son los encoders ópticos seguidos por los resolvers, que son más baratos y robustos que los anteriores, pero tienen menos resolución y ofrecen datos más ambiguos al estar basados en la generación de señales analógicas de tipo electromagnético. Otros tipos de sensores que también se usan son las reglas ópticas y las inductosyn, que son los equivalentes en detector lineal a los encoders rotativos y resolvers respectivamente. Los tacodinamos se emplean muy poco y los potenciómetros lineales o circulares prácticamente nada por su falta de resolución para la robótica.



Sistemas de transmisión.- Aunque se emplean accionamientos directos, es normal emplear sistemas de transmisión y transformación del movimiento para accionar los ejes del robot, ya sean estos de traslación o de rotación. Las características que deben cumplir son las siguientes:

- Robustez y rigidez con poco peso.
- Larga duración con poco mantenimiento.
- Transmisión regular con juego mínimo.
- Elevada relación de transmisión con tamaño y momentos de inercia reducidos.

Los sistemas que pueden cumplir estas características son los siguientes: reductor armónico, reductor piñón-corona cónicos, correa dentada-polea, tornillo sin fin-corona, husillos con tuerca a bolas, correa dentada con guía lineal de bolas, piñón cremallera.

2.9 Propiedades dinámicas de importancia

Para el cálculo de sistemas mecánicos conocidos como cadenas cinemáticas, es necesario contemplar una serie de cálculos dinámicos y estáticos en el modelo. La aplicación de estas teorías garantiza el óptimo funcionamiento de los equipos, debido a la confiabilidad en su aplicación.

2.9.1 Momentos de inercia

El momento de inercia es una medida de la inercia rotacional de un cuerpo. Cuando un cuerpo gira en torno a uno de los ejes principales de inercia, la inercia rotacional puede ser representada como una magnitud escalar llamada momento de inercia.



El momento de inercia manifiesta la distribución de masa de un cuerpo o de un sistema de partículas en rotación, respecto a un eje de giro. El momento de inercia depende de la geometría del cuerpo y de la posición del eje de giro[19].

Los resultados de un análisis de momentos de inercia y productos de inercia se calculan de acuerdo con las siguientes definiciones:

$$I_{xx} = \int (y^2 + z^2) dm \quad (2.1)$$

$$I_{yy} = \int (z^2 + x^2) dm \quad (2.2)$$

$$I_{zz} = \int (x^2 + y^2) dm \quad (2.3)$$

$$I_{xy} = \int (xy) dm \quad (2.4)$$

$$I_{yz} = \int (yz) dm \quad (2.5)$$

$$I_{zx} = \int (zx) dm \quad (2.6)$$

La matriz del tensor de inercia se define en los momentos de inercia:

$$\begin{bmatrix} I_{xx} & -I_{xy} & -I_{xz} \\ -I_{xy} & I_{yy} & -I_{yz} \\ -I_{xz} & -I_{yz} & I_{zz} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

El análisis arroja un sistema de coordenadas de salida.

2.9.2 Torque o esfuerzo de torsión

El torque puede entenderse como el momento de fuerza o momento dinámico. Se trata de una magnitud vectorial que se obtiene a partir del punto de aplicación de la fuerza. Dicha fuerza está constituida por el producto vectorial, el vector ortogonal



que surge tras una operación binaria entre un par de vectores de un espacio euclídeo de tres dimensiones.

El torque hace que se produzca un giro sobre el cuerpo que lo recibe. La magnitud resulta propia de aquellos elementos donde se aplica torsión o flexión, como una viga o el eje de una máquina. El momento de fuerza puede expresarse a través de la unidad N-m.

El par motor o torque se le conoce al momento de fuerza que ejerce un motor sobre su eje de transmisión de potencia. La potencia desarrollada por el par es proporcional a la velocidad angular del eje de transmisión, teniendo la siguiente expresión [20].

$$P = M \omega \quad (2.8)$$

Donde:

P es la potencia en W

M es el par motor en Nm

ω es la velocidad angular en rad/s

2.9.3 Velocidad angular

La velocidad angular es una medida de la velocidad de rotación. Se define como el ángulo girado por una unidad de tiempo y se designa mediante la letra griega ω . Su unidad en el Sistema Internacional es el radián por segundo (rad/s).

Aunque se la define para el movimiento de rotación del sólido rígido, también se la emplea en la cinemática de la partícula o punto material, especialmente cuando esta se mueve sobre una trayectoria cerrada (circular, elíptica, etc.) [21]. Quedando definido por las siguientes expresiones.



Valor instantáneo queda definido por la derivada:

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt} \quad (2.9)$$

En un movimiento circular uniforme, dado que una revolución completa representa 2π radianes, tenemos:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (2.10)$$

Donde T es el período (tiempo en dar una vuelta completa) y f es la frecuencia (número de revoluciones o vueltas por unidad de tiempo).

2.10 Estado del arte

El desarrollo de tecnología que ayude al posicionamiento de herramientas o equipos necesarios en el estudio de la Tasa de Absorción Específica, abrió un nuevo camino para la investigación. El desarrollar sistemas automatizados de alta precisión y con características muy específicas, es por esto mencionamos como ha sido el avance de este tipo de tecnología en México y en el Mundo.

2.10.1 Estado del arte en México

Actualmente en México, el CINVESTAV-IPN realiza investigaciones para desarrollar un sistema de posicionamiento de alta precisión, con el cual se tiene la intención de efectuar estudios relacionados con técnicas de ablación por microondas.

El proyecto a cargo de A. Carrasco, L. A. Martínez, A. Vera y L. Leija, consistió en desarrollar un sistema de posicionamiento automatizado en 3 dimensiones. El



funcionamiento del equipo se da mediante una computadora que controla el movimiento en 3 ejes, los cuales están constituidos por materiales no metálicos. Los componentes fueron fabricados en Nylamid y madera y el movimiento lineal se genera por medio de un arreglo con tornillos sin fin y bandas de transporte acoplados a un motor a pasos que es controlado por un microcontrolador (PIC16F887) [22].



Figura 2. 12 Sistema de posicionamiento CINVESTAV.

2.10.2 Estado del arte internacional

En el ámbito internacional se ha desarrollado un brazo robótico de 5 GDL llamado DASY 5 PRO SAR, el cual mide la Tasa de Absorción Específica por medio de una sonda de campo eléctrico, con dicho robot se han hecho estudios relacionados a las consecuencias que puede tener el uso de dispositivos móviles en la salud y comparaciones entre distintos métodos que existen para gestionar los niveles de radiación. El Dr. Yoshinobu Okano en su artículo titulado "Comparison Measurement for Specific Absorption Rate With Physically Different Procedure" (Comparación de Mediciones para la Tasa de Absorción Específica con diferentes Procedimientos



Físicos), describe una comparación entre dos técnicas utilizadas para la medición de la Tasa de Absorción Específica. Los métodos utilizados fueron el escaneo de campo eléctrico y un sistema térmico implementado con sensores de fibra óptica.

El escaneo de campo eléctrico se realizó con el robot DASY 4, el cual consistió en insertar la sonda en una sustancia con características similares a la de los tejidos humanos, los cuales fueron irradiados con una antena de tipo dipolo a diferentes frecuencias, que iban desde los 2 hasta los 6 GHz con intervalos de 0.5 GHz aproximadamente. El método térmico fue diseñado para introducir una malla de 12 sensores de temperatura de fibra óptica. Los resultados más concluyentes del estudio, fueron en relación a la confiabilidad de los métodos, ya que se mostró una mejor respuesta de los sensores ópticos respecto a la sonda de campo eléctrico. La característica más resaltante fue la de la dependencia a la frecuencia ya que la sonda de campo eléctrico muestra una banda de subordinación desde los 3 a 5 GHz y esto como consecuencia crea una incertidumbre en cuanto a las mediciones, mientras que el método térmico realiza las mediciones sin ningún problema ya que presenta una desviación del 5 % con respecto al cálculo realizado por un programa, en comparación a la técnica de escaneo de campo eléctrico con un 30% de variación. En conclusión el sistema térmico resulto ser de más alta confiabilidad [3].

El estudio del estado del arte representa una oportunidad de crear un prototipo que iguale o mejore el posicionamiento del brazo robótico DASY, pero que a su vez trabaje con sensores de temperatura de fibra óptica. La combinación de estas dos técnicas daría como resultado un sistema altamente preciso en el posicionamiento y sumamente confiable en el mapeo de las temperaturas, así se garantizaría la plena satisfacción de los resultados.

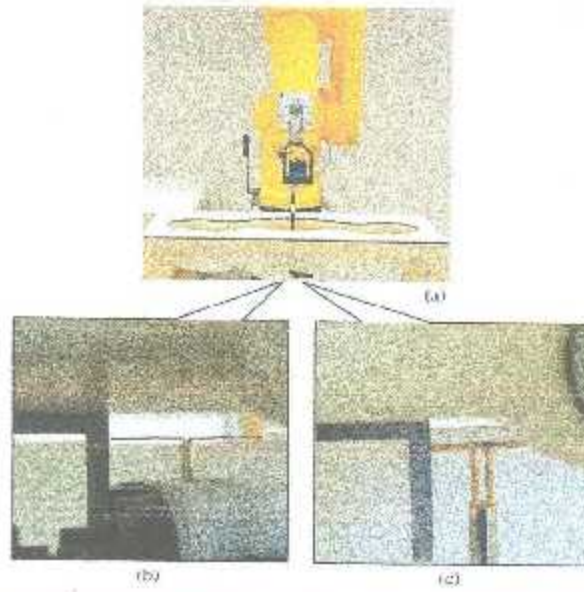


Figura 2. 13 Sistema de posicionamiento DASY 5 PRO.



CAPÍTULO III. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN

3.1 Objetivo general

Diseño, simulación y construcción de un sistema de posicionamiento para sensores de fibra óptica utilizados en el mapeo de temperatura en sustitutos de tejido biológico.

3.2 Objetivos específicos

Con la finalidad de cumplir con el objetivo principal que es desarrollar un instrumento capaz de realizar las mediciones de forma precisa y confiable, se plantean los siguientes objetivos específicos:

3.2.1 Recapitulación y reevaluación del estado del arte de los sistemas de termometría

La importancia de dicho objetivo, radica en la evaluación de los métodos actuales de termometría utilizados en la medición de la tasa de absorción específica, ya sea para el estudio de las consecuencias del uso del teléfono celular o del impacto de una terapia térmica de ablación de tumores. De esta forma se garantiza que el aporte de la investigación y desarrollo será novedoso, práctico y eficiente. Los aspectos importantes del proyecto, son el impacto social, económico y científico que puede tener, buscando siempre un beneficio para la comunidad.

Se realizarán las siguientes actividades, con el objetivo fundamental de cumplir con lo antes mencionado.

- Investigar sobre el concepto de tasa de absorción específica, sus consecuencias, cifras y normas.



- Recabar información que de mayor conocimiento sobre el cáncer cerebral en humanos.
- Realizar una búsqueda de los métodos utilizados para medir los parámetros de radiación.
- Revisar los tipos de posicionadores existentes en el mercado actual, preferentemente los utilizados en las técnicas de medición de campo eléctrico y temperatura.
- Investigar los estudios que se han realizado actualmente para gestionar los parámetros de radiación en tejido biológico o en sustitutos de tejido biológico.

3.2.2 Diseñar un sistema de posicionamiento automático

En este objetivo se pretende diseñar un sistema de posicionamiento, que funcione con el uso de motores especializados para cumplir con las características necesarias, buscando la mejor configuración de elementos mecánicos.

3.2.3 Modelado y simulación del sistema de posicionamiento

El modelado consistirá en la construcción virtual del prototipo, se realizará en un programa en el cual se puedan simular estudios de interés para el proyecto. La simulación del sistema de posicionamiento juega un papel muy importante en el proyecto, ya que se determinará si el diseño previo cuenta con las características necesarias para desempeñar el trabajo para el cual fue esbozado. Se efectuarán simulaciones de movimiento para verificar las interferencias mecánicas entre elementos, la simulación de generación de torsión en los ejes o flechas para determinar el par necesario en los motores, simulaciones de momentos de inercia, consumo de energía eléctrica y demás cuestiones que hagan más eficiente el prototipo.



En este objetivo también se iterará con los diversos materiales de construcción, generando de aquí los planos necesarios para siguiente etapa.

3.2.4 Construcción física del prototipo

Cada objetivo es importante, ya que cada uno de ellos tiene impacto sobre el producto final, es por esto que en esta etapa se pondrán en práctica todos los conocimientos generados anteriormente. La construcción del modelo consistirá en maquinar y ensamblar los elementos del prototipo, acto seguido se realizará la programación de los motores para poder verificar que se cumple con las trayectorias previamente establecidas. Cabe mencionar que dentro de este trabajo de tesis, no se plantea el control robótico del sistema, sólo se programarán los motores para verificar su funcionalidad en conjunto con los elementos mecánicos.

3.2.5 Pruebas del sistema de posicionamiento

Para concluir el proyecto es necesario establecer una serie de pruebas, dichas pruebas tendrán por objetivo verificar la funcionalidad del prototipo. Algunas de las características que se pondrán a prueba en este apartado serán las trayectorias, torque de los motores, interferencias y desplazamiento de los elementos que lo forman. Las pruebas se realizarán bajo las siguientes condiciones:

- Las pruebas se realizarán de forma demostrativa, ya que al no tener el control preciso del equipo solamente, se podrá realizar un posicionamiento manual, ya sea a base de potenciómetros o manipulación de comandos.
- Se comprobará que los elementos mecánicos cumplen satisfactoriamente con las trayectorias para las que fueron diseñados.
- Se realizarán las pruebas de movimiento por triplicado, para garantizar que existe repetibilidad en el sistema.



- Finalmente se entregará el equipo así como todos los manuales y hojas técnicas de los elementos que componen el prototipo.

3.3 Justificación del desarrollo del prototipo

El desarrollo de nueva tecnología conlleva siempre una gran responsabilidad, ya sea por el impacto o las consecuencias que pueda tener para la humanidad. Como ingenieros comprometidos con un código de ética, nuestra responsabilidad es desarrollar tecnología con impacto positivo, no solo para la sociedad, sino para todo nuestro entorno.

Los protocolos de ética para experimentación en humanos y animales, cada vez se han robustecido más, es por esto que el desarrollo del prototipo impacta de manera positiva en la pre experimentación con animales y después con humanos.

El uso de sustancias como son los sustitutos de tejidos biológicos o también conocidos como phantom, ayudan al desarrollo de estudios relacionados con la exposición a campos electromagnéticos o calentamiento térmico, sin la necesidad de intervenir directamente a un humano, es así como se experimenta sin afectar la integridad física de la persona. Una vez que se realizan estudios en un sustituto de tejido biológico y se demuestra la efectividad de los métodos implementados, se pasa a la siguiente etapa que es la experimentación en tejido ex vivo.

3.4 Justificación social

Al ser el cáncer una de las enfermedades más alta mortalidad a nivel mundial, toma importancia desarrollar tecnología que ayude a la prevención, detección y tratamiento del mismo. En la actualidad el cáncer de cerebro o cuello no representa una de las enfermedades con mayor incidencia en el mundo, pero sí uno de los más mortales. Con el desarrollo del prototipo, se puede conocer el impacto que tienen las



ondas de radiofrecuencia en los tejidos biológicos en forma de calentamiento, y así conocer de manera más certera si el uso de la telefonía celular como tal, es causante de este tipo de cáncer. Si se demuestra una causalidad entre el uso de un dispositivo móvil y la aparición de cáncer, ya sea de tipo cerebral o cuello, el impacto que tendrá sobre la sociedad será de gran magnitud, porque de esta manera se puede alertar sobre esta etiología. La aparición de cáncer podría disminuir, gracias a que se implementarían o reformarían normas que regulen la exposición de los humanos a las ondas de radiofrecuencia por telefonía celular.

3.5 Justificación económica

La adquisición de un equipo especializado para la medición de temperatura o campo electromagnético puede resultar sumamente costoso, es por esto que desarrollar un prototipo resulta una opción más económica. El encarecimiento de equipos especializados no obedece exclusivamente al costo propio del equipo, sino también, a gastos de importación, si éste no se encuentra dentro del territorio nacional, debido al tipo de cambio, impuestos, traslado, entre otros.

El desarrollo del prototipo resulta económico pero no por esto de baja calidad, ya que al contar con el conocimiento de ingeniería interdisciplinaria, resulta viable desarrollar casi cualquier equipo que se encuentra en el mercado y mejor aún equipos que obedezcan a nuestras necesidades.

3.6 Justificación científica

El desarrollo del prototipo representa la aplicación de ciencias como la ingeniería electrónica, mecánica, eléctrica y química. La combinación de las anteriores disciplinas da como resultado, el conocimiento necesario para que desde la parte mecánica se genere un instrumento con la capacidad de cubrir totalmente el área de trabajo, desde la parte electrónica y eléctrica se implementan conocimientos de



programación y potencia para los motores, así como adquisición de los datos obtenidos con los sensores, la parte química proporciona la solución al uso de los sustitutos de tejido biológico, ya que al conocer las propiedades del tejido en estudio, podemos reproducir las propiedades de alguna parte del cuerpo humano en cuanto a características dieléctricas y térmicas se refiere. Por lo tanto se pretende que esta tesis tenga un aporte científico para el estudio de las consecuencias de los campos electromagnéticos en el cuerpo humano.



CAPÍTULO IV. DISEÑO PROPUESTO

4.1 Descripción general del diseño propuesto

El cumplimiento de los objetivos es la parte principal del proyecto, porque de esta manera se garantiza el éxito de la tesis, por esto se diseñaron objetivos alcanzables dentro del tiempo establecido para dar como terminada la tesis en cuanto a su redacción como a la construcción del prototipo. Esta tesis fue dividida en dos etapas que son consideradas las más importantes:

- Diseño y Simulación del sistema de posicionamiento.
- Construcción del prototipo.

La decisión de dividir la tesis en estas 2 etapas es para generar en el lector una idea más clara del proyecto, mejorar su comprensión y estructurar de manera más organizada el trabajo.

Dentro del capítulo conoceremos más a fondo cada una de las etapas, comenzaremos explicando el diseño y simulaciones realizadas para la mesa contenedora del material sustituto de tejido biológico y acto seguido revisaremos los estudios realizados para determinar el diseño del sistema mecánico de posicionamiento.

4.2 Mesa contenedora de sustituto de tejido biológico

Se propuso la construcción de una mesa ensamblada completamente en madera y con dimensiones de 1.0 m de largo por 0.70 m de ancho por 0.90 m de altura. Dicha mesa será construida totalmente en madera, esto obedece a que se busca evitar la reflexión electromagnética producida por elementos metálicos.



La construcción de la mesa requiere de características muy especiales, debido a esto fue diseñada para soportar la carga que representa un volumen contenido de phantom, la carga fue calculada en base a la densidad de la sustancia.

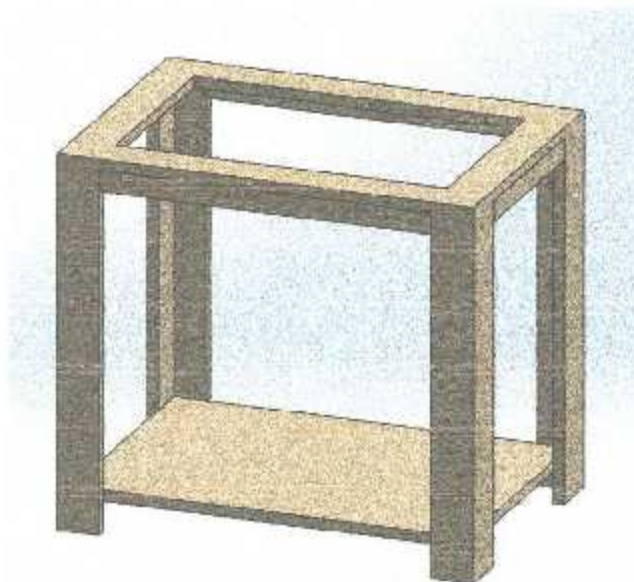


Figura 4. 1 Diseño propuesto de mesa contenedora de sustituto de tejido biológico.

El modelo tiene que ser simulado para validar su funcionamiento estático, es por esto que se generó una simulación de esfuerzos mecánicos que son importantes para el desempeño de la mesa. A continuación se presenta el diseño con las dimensiones y vistas necesarias para su reproducibilidad (figura 4.2).

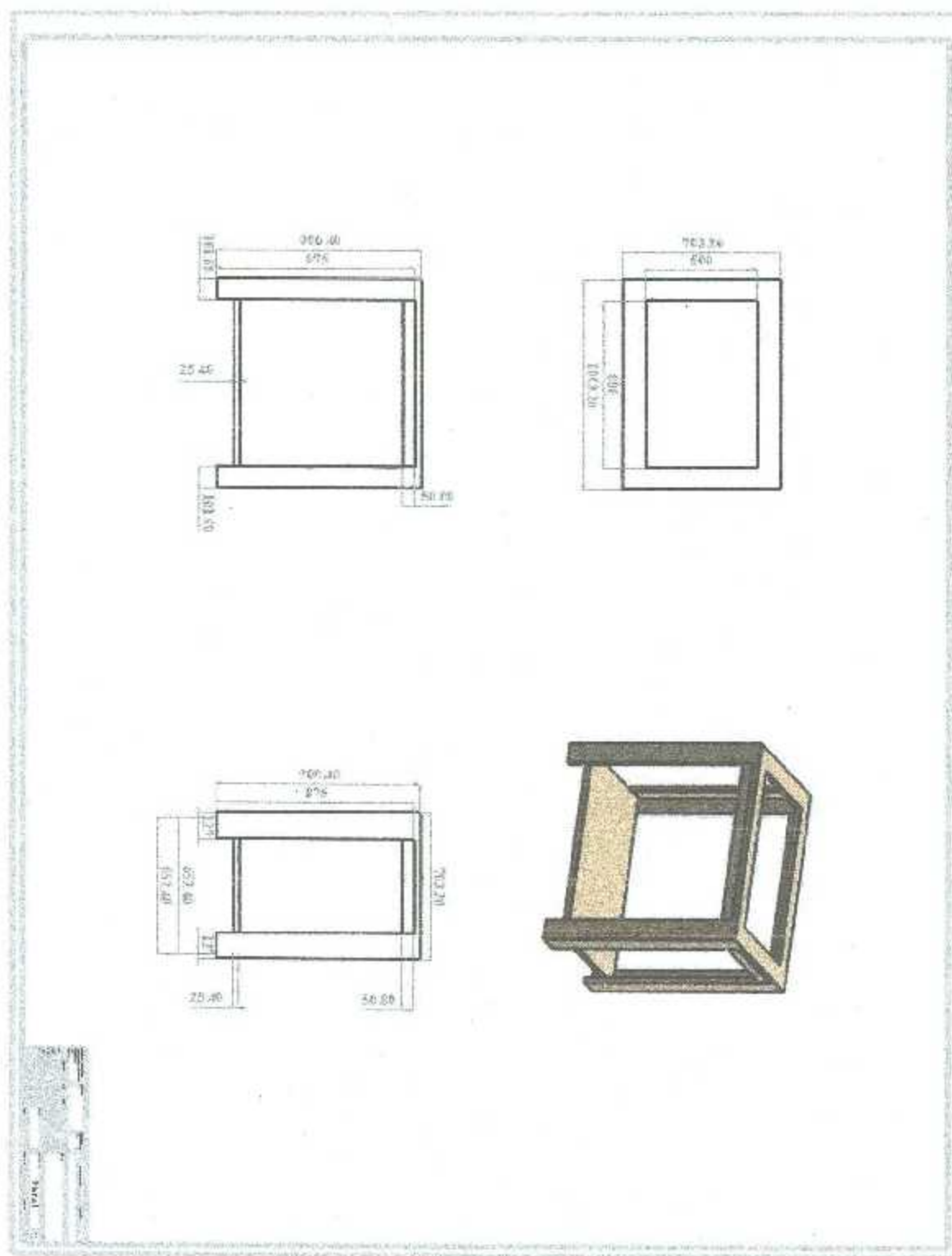


Figura 4. 2 Plano de mesa contenedora de sustituto de tejido biológico.



4.2.1 Simulación de carga estática en la mesa contenedora

Algunas de los datos que se recabaron de la simulación son los siguientes:

- Máxima deflexión
- Deformación unitaria
- Límite de fluencia

Para la simulación se tomó el escenario más extremo posible en un estudio, ya que de esta manera los resultados obtenidos serán de mayor confiabilidad dado que implícitamente se integra un factor de seguridad.

4.2.1.1 Condiciones de la simulación

La carga estática corresponde al peso que genera un contenedor lleno en su totalidad de un sustituto de tejido biológico de cerebro, dicho contenedor corresponde a un recipiente con las siguientes especificaciones:

505 mm de ancho

805 mm de longitud

300 mm de profundidad

Al contenedor con forma cúbica definida, se le dio un peso que corresponde al volumen del mismo, lleno de material sustituto de tejido biológico de cerebro.

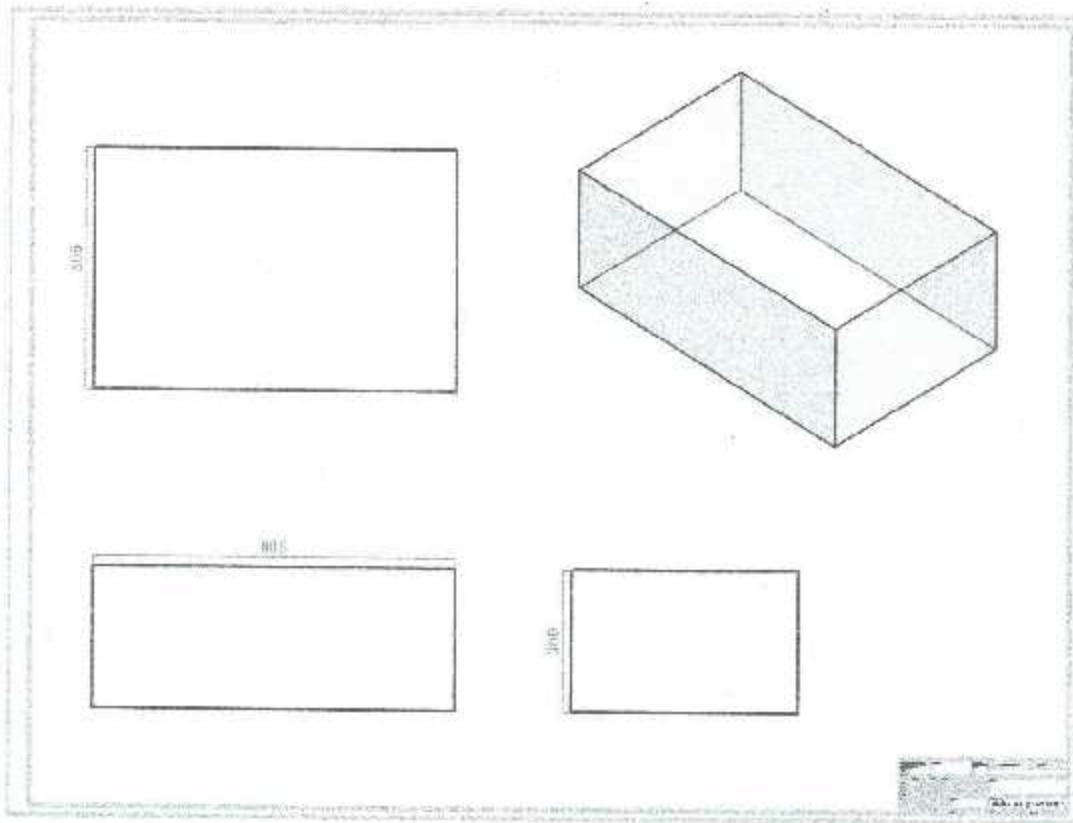


Figura 4 3 Diseño del contenedor de sustituto de tejido biológico de cerebro.

Se determinó el volumen del recipiente:

$$V_R = A \cdot B \cdot C \quad (4.1)$$

$$V_R = 505 \cdot 805 \cdot 300 = 121957500.00 \text{ mm}^3 = 0.122 \text{ m}^3$$

La densidad (ρ) media del cerebro es igual a 1040 Kg/m^3 , entonces, conociendo este valor y el volumen del contenedor calculamos el peso máximo, simulando condiciones extremas de trabajo. Para calcular el peso máximo tenemos:

$$\rho = 1040 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$



$$V = 0.122 \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho \cdot V \quad (4.2)$$

$$m = \rho \cdot V = 1040 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 0.122 \text{ m}^3 = 126.88 \text{ Kg}$$

Haciendo la conversión obtenemos un peso 1244.69 N, dicho peso será ingresado en el simulador para generar datos de importancia como: deflexión, deformación unitaria y esfuerzo de fluencia de los materiales de la mesa contenedora. Se evaluará el diseño y los materiales utilizados, para su posterior realización.

4.2.1.2 Simulación de esfuerzos en la mesa contenedora del material sustituto de tejido biológico

Los resultados arrojados por la simulación realizada en SolidWorks®, indican que el diseño y la elección del material cuentan con las características necesarias para poder realizar pruebas experimentales. Los parámetros más importantes dentro de esta evaluación, son el esfuerzo que se realiza al contener un volumen de material sustituto de tejido biológico, la deformación que le causa al material por el peso contenido y las posibles fallas que pueden generarse por la carga de la misma substancia. A continuación, se muestran los parámetros asignados y los resultados obtenidos de la simulación.

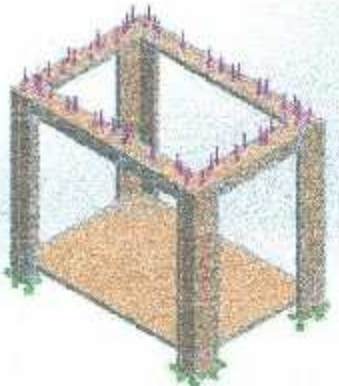
4.2.1.2.1 Propiedades del material utilizado

Las propiedades fueron obtenidas de las de las librerías contenidas en SolidWorks simulation, asignando propiedades de madera de pino con



comportamiento isotrópico elástico lineal. A continuación se muestra la asignación del material en SolidWorks.

Tabla 4. 1 Propiedades del modelo.

Referencia de modelo	Propiedades	
	Nombre:	Madera de Pino
	Tipo de modelo:	Isotrópico lineal
	Criterio de error predeterminado:	Desconocido
	Límite elástico:	20 N/mm ²
	Módulo elástico:	3000 N/mm ²
	Coefficiente de Poisson:	0.30
	Densidad:	159.99 g/cm ³
	Módulo cortante	300 N/mm ²

4.2.1.2.2 Propiedades de los elementos del ensamblaje

En las siguientes tablas se observa tanto las propiedades físicas de los elementos que componen el modelo como la asignación de la carga sobre el mismo.



La ubicación de la carga estática juega un papel muy importante en la simulación, ya que los resultados dependerán de la posición que ésta tenga en el ensamblaje. El resultado obtenido, correspondiente al volumen del phantom cerebral, con valor de 1244.69 N, será representado en la mesa como una carga uniformemente repartida, la cual se ubicará en la cara superior de la mesa con sentido en favor a la fuerza de gravedad.



El análisis se realizará tomando todo el ensamblaje como un sólido, gracias a que por el tipo de ensamblaje que se propone y haciendo unión con pegamento, se espera que la madera ceda antes que el pegamento. Los elementos de la mesa serán analizados como vigas y columnas.

En una viga podemos observar dos esfuerzos principales los cuales son llamados: esfuerzo de tensión y esfuerzo de compresión. El esfuerzo de tensión lo encontraremos en la cara opuesta a la aplicación de la carga, mientras tanto, el esfuerzo de compresión los podemos localizar en la cara de aplicación de la carga. Dado que como lo indica la teoría de vigas, la parte media de la viga permanece como una zona neutral, en donde no se localizan esfuerzos principales.

Las patas del modelo se comportarán como columnas las cuales pueden ser analizadas por la teoría de Euler o la teoría de Johnson.



Tabla 4. 2 Propiedades de los elementos del ensamblaje.

Nombre de documento	Tratado como	Propiedades volumétricas
 <p>Sallente-Extruir7</p>	Sólido	Masa: 4.22414 kg Volumen: 0.0264025 m ³ Densidad: 159.99 kg/m ³ Peso: 41.3966 N
 <p>Sallente-Extruir3</p>	Sólido	Masa: 2.52499 kg Volumen: 0.0157822 m ³ Densidad: 159.99 kg/m ³



<p>Saliente-Extruir4</p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa: 0.165151 kg</p> <p>Volumen: 0.00103226 m³</p> <p>Densidad: 159.99 kg/m³</p> <p>Peso: 1.61848 N</p>
<p>Saliente-Extruir5</p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa: 0.092732 kg</p> <p>Volumen: 0.000579612 m³</p> <p>Densidad: 159.99 kg/m³</p> <p>Peso: 0.908774 N</p>
<p>Saliente-Extruir6</p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa: 0.165151 kg</p> <p>Volumen: 0.00103226 m³</p> <p>Densidad: 159.99 kg/m³</p> <p>Peso: 1.61848 N</p>

En la tabla 4.2, se muestran las condiciones de la simulación, dentro de las cuales se destaca el tipo de tratamiento que se le dará a cada pieza por separado. Otras características que se toman en cuenta para el estudio son:

- Masa

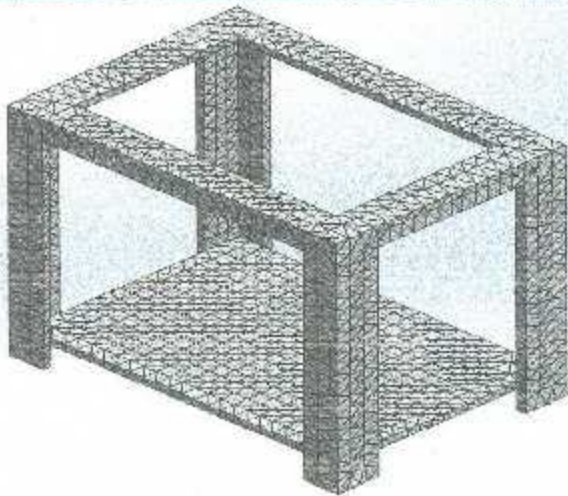


- Volumen
- Densidad
- Peso

4.2.1.2.3 Características del mallado asignadas por el simulador

Tabla 4. 3 Propiedades del mallado.

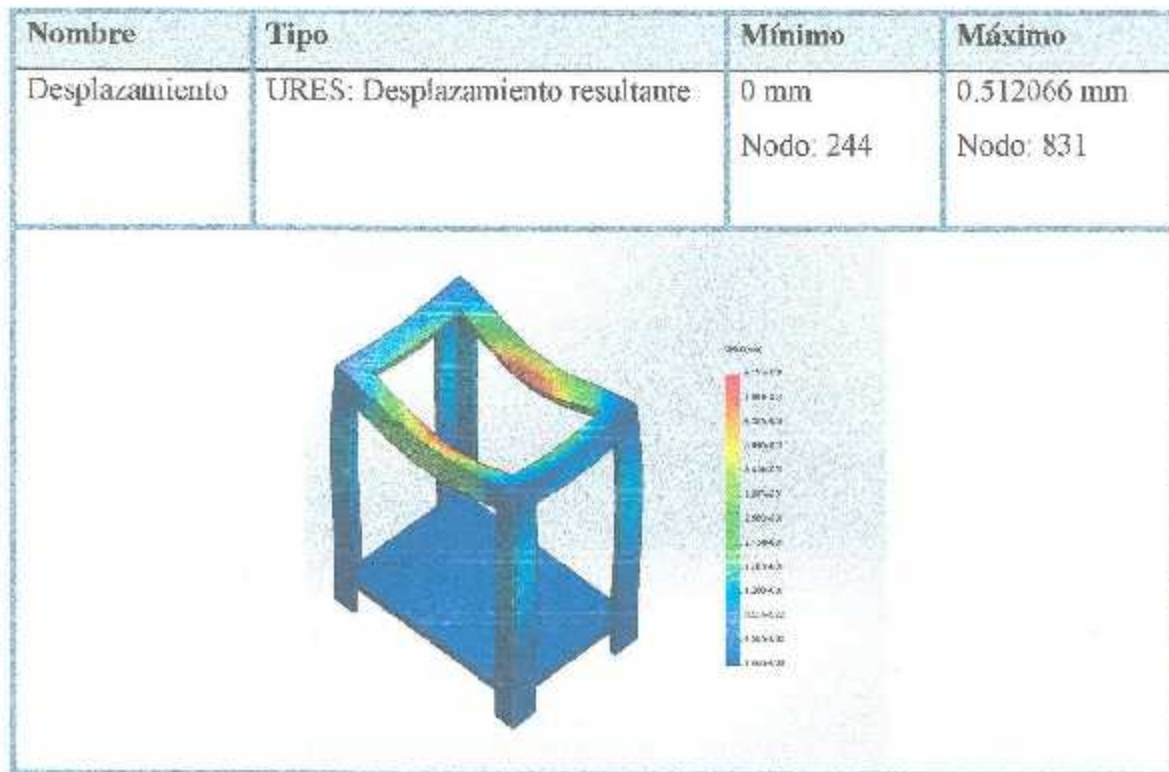
Número total de nodos	14951
Número total de elementos	7080
Cociente máximo de aspect	5.5087
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	95.6
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 Puntos
Calidad de la malla	Elementos cuadráticos de alto orden





En la tabla 4.4, podemos observar que las tensiones generadas en el modelo son aproximadamente 20 veces menores al límite elástico del ensamblaje en conjunto, ya que el límite elástico en el modelo es de $19\,999,972\text{ N/m}^2$, mientras tanto el límite máximo alcanzado en la simulación es de $942,450\text{ N/m}^2$. Estos resultados garantizan la resistencia a la tensión del modelo. Aunque el factor de seguridad sea cercano a 20, el diseño se quedará de esa forma, ya que si se le aplica una optimización de material, se pueden ocasionar problemas de rigidez estructural.

Tabla 4. 5 Resultado del estudio de desplazamiento.



Los resultados obtenidos para el estudio de desplazamiento, resultan sumamente satisfactorios, ya que la máxima deflexión toma un valor de 0.512 mm y se encuentra ubicada en el centro de la mesa. Haciendo la evaluación del análisis, se considera que el diseño propuesto está dentro de los parámetros normales para la



carga y el material. Esta deformación no se considera de gran importancia, al no ser permanente. Como se observa en la tabla 4.5, los valores recaen dentro de los límites elásticos del material.

4.3 Diseño propuesto para el sistema de posicionamiento

Mediante el sistema de posicionamiento se garantiza la precisión con la que se insertan los sensores de temperatura de fibra óptica, para dicho sistema se evaluaron múltiples opciones en las cuales se ponderaron ventajas y desventajas, costos, precisión y composición.

Cuando hablamos de ventajas y desventajas se hace referencia a todas aquellas características con que cuenta cada uno de los sistemas, como y de qué manera pueden contribuir o limitar el alcance del trabajo. Algunas de las características que se tomaron en cuenta son las siguientes:

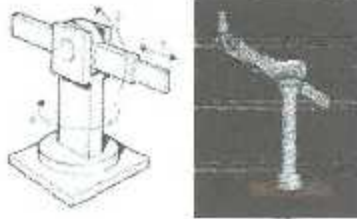
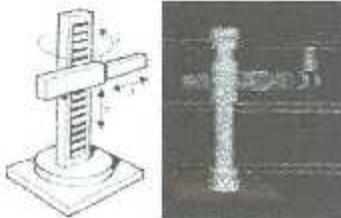

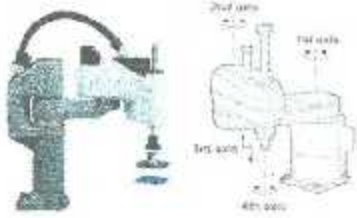

- **Mantenimiento del equipo.-** Parte importante del funcionamiento del equipo una vez que se ha iniciado a trabajar con él, es el periodo en que se le dará mantenimiento, dicha actividad limitará en horas al equipo y generará un costo que estará en función de la complejidad que requiera.
- **Control automático.-** La dificultad de controlar el sistema y la precisión con que funciona, determinará el buen funcionamiento del instrumento, es por esto que es necesario hacer una ponderación del control del equipo, para así poder determinar cuál es la viabilidad de cada uno de los sistemas evaluados.
- **Costo.-** El costo siempre determina en buena parte el alcance de los proyectos, dado que en el proyecto eso no es una restricción como tal, se evaluaron sistemas con buen rendimiento dejando un poco de lado el precio, prevaleciendo siempre por encima de éste el funcionamiento de los equipos.



En la Tabla 4.6, se representan los sistemas que fueron evaluados con el fin de escoger la mejor opción. La viabilidad de construcción o adquisición fue parte determinante en la elección del modelo, se llegó a la conclusión que en base a nuestras necesidades el sistema que mejor garantiza la realización del trabajo, es un sistema híbrido de una configuración antropomórfica con desplazamiento lineal.



Tabla 4. 6 Configuración de robots.

Tipo de robot	Imagen	Características
Polar y esférico		2 Grados de libertad rotacional 1 Grado de libertad lineal
Cilíndrico		1 Grado de libertad rotacional 2 Grados de libertad lineal
Cartesiano		3 Grados de libertad lineal
SACARA		3 Grados de libertad rotacional
Angular o antropomórfico		3 Grados de libertad Rotacional 1 Movimiento esférico



4.3.1 Consideraciones del diseño propuesto para el sistema de posicionamiento

El diseño del sistema de posicionamiento garantizará la precisión con que se introducen los sensores, por esto resulta importante realizar una simulación del sistema. En la validación del sistema se tienen que tomar en cuenta características tales como:

- Precisión y fuerza de los motores
- Trayectoria de los eslabones
- Materiales de construcción

Estas fueron las 3 principales características que se evaluaron. Para realizar el estudio se simularon varios sistemas de posicionamiento, con diferentes configuraciones en cuanto a la morfología. Se hizo la elección del siguiente sistema debido a que se logra un buen desempeño en el trazado de las trayectorias. Se hicieron simulaciones de trayectorias, de torsión en los motores y consumo de energía. Los resultados obtenidos respaldan la elección de los materiales, la selección de motores, selección de fuentes de energía y los circuitos de potencia necesarios para el prototipo.

La simulación se realizó bajo las siguientes condiciones: los materiales de construcción tienen que ser preferentemente en materiales no metálicos, las medidas del brazo no deben exceder un metro de longitud máxima y no pesar más de 1 kg desde lo que se conoce como hombro hasta la punta del cabezal, de esta manera se garantiza que la torsión generada en el eje del motor no exceda un Par de 100 kg·cm.

El diseño resultante se muestra en la figura 4.4, en dicha figura se observa un brazo articulado con 3 grados de libertad rotacional y un grado de libertad lineal. Los tres grados de libertad representan el hombro, codo y muñeca. El grado de libertad lineal ayudara a realizar los mapeos ya que de esta forma se puede llegar a una posición y de ahí realizar un barrido longitudinal. El barrido nos proporcionará los datos necesarios para poder determinar los patrones de calentamiento.

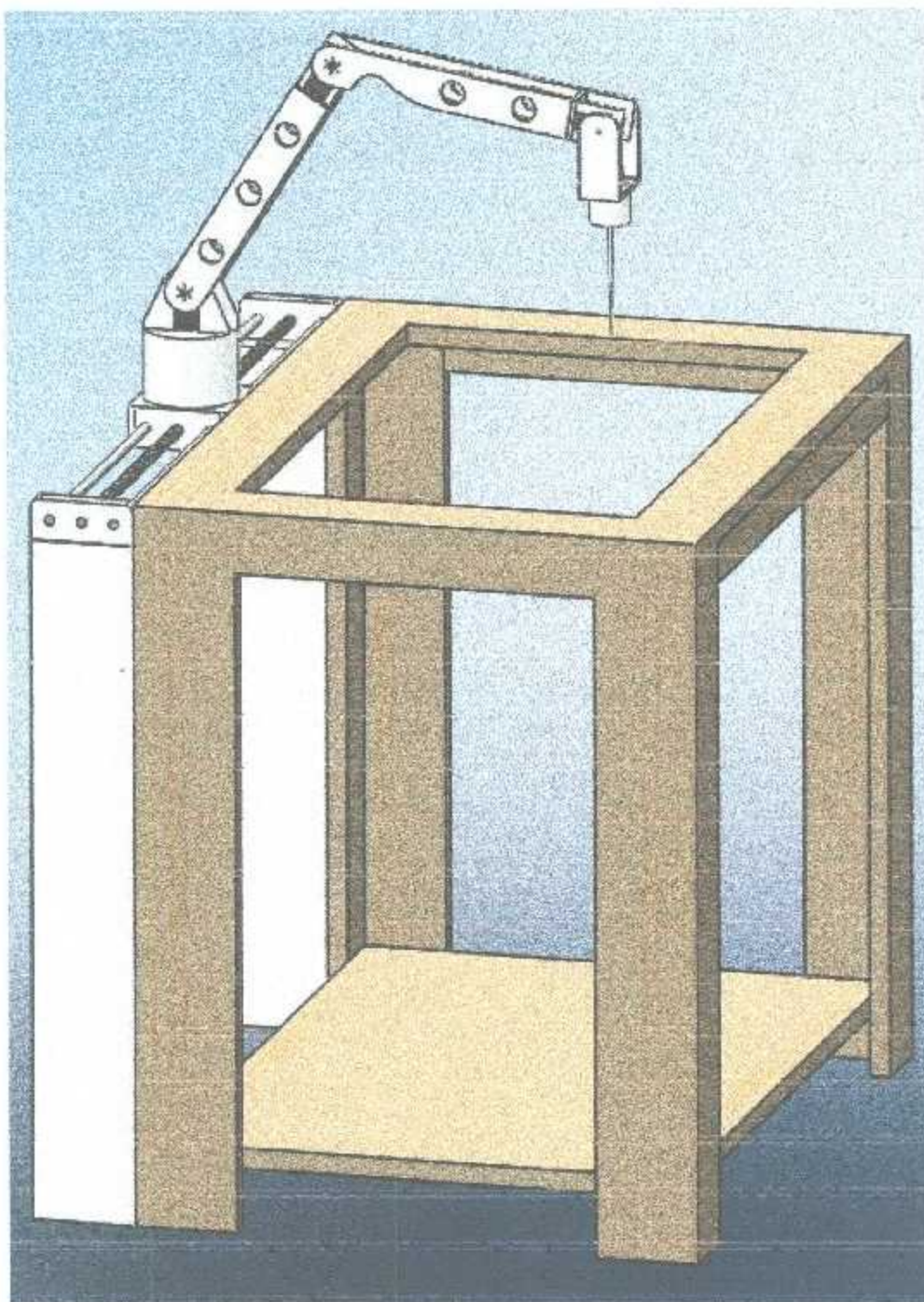


Figura 4. 4 Diseño propuesto del sistema de posicionamiento.



4.3.2 Grados de libertad

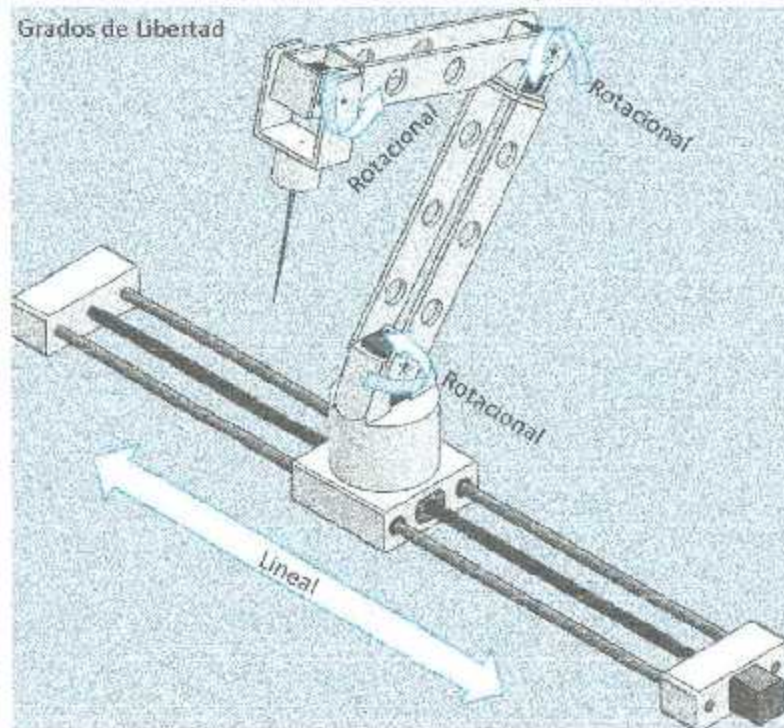


Figura 4. 5 Grados de libertad.

En la figura 4.5 se muestra la configuración del sistema, el cual se describe a continuación:

El sistema se compone por 3 grados de libertad rotacional y un grado de libertad lineal. Las rotaciones obedecen a los movimientos representativos del hombro, codo y muñeca, se eliminó el movimiento rotacional representativo de la cintura y se implementó un movimiento lineal que contribuyó a simplificar el posicionamiento del efector, dicho movimiento ayudará a realizar los mapeos en forma de barridos.



4.3.3 Propiedades físicas de los elementos diseñados

Para la realización de las simulaciones de torsión, trayectoria y consumo de energía, es necesario conocer las propiedades físicas de los elementos diseñados. Algunas de las propiedades a considerarse son: masa, momentos principales de inercia, ubicación del centroide y volumen. En los siguientes puntos se abordarán tales propiedades.

4.3.3.1 Base principal del brazo

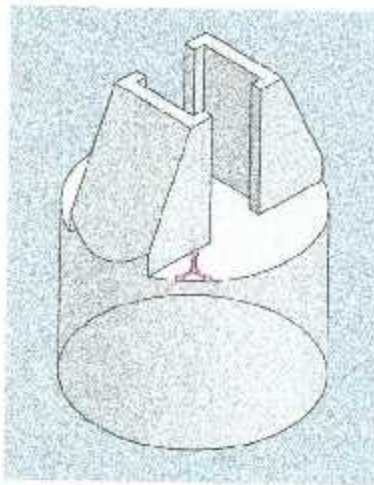


Figura 4. 6 Base principal, sistema coordinado.

Tabla 4. 7 Propiedades físicas de base principal.

Masa	1235.48 g
Volumen	1038221.34 mm ³
Área de la superficie	70554.62 mm ²
Centro de masa: (milímetros)	X = 0.19 Y = 65.63 Z = -0.00



Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ($\text{g}\cdot\text{mm}^2$). Medido desde el centro de masa.

$$\begin{aligned} I_x &= (0.03, 1.00, 0.00) & P_x &= 1959444.17 \\ I_y &= (-0.00, -0.00, 1.00) & P_y &= 2333498.21 \\ I_z &= (1.00, -0.03, 0.00) & P_z &= 2484478.20 \end{aligned}$$

Momentos de inercia: ($\text{g}\cdot\text{mm}^2$). Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$$\begin{aligned} L_{xx} &= 2484097.66 & L_{xy} &= 14129.71 & L_{xz} &= -3.98 \\ L_{yx} &= 14129.71 & L_{yy} &= 1959824.76 & L_{yz} &= 140.60 \\ L_{zx} &= -3.98 & L_{zy} &= 140.60 & L_{zz} &= 2333498.16 \end{aligned}$$

Momentos de inercia: ($\text{g}\cdot\text{mm}^2$). Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$$\begin{aligned} I_{xx} &= 7804928.49 & I_{xy} &= 29499.92 & I_{xz} &= -4.01 \\ I_{yx} &= 29499.92 & I_{yy} &= 1959869.16 & I_{yz} &= 131.28 \\ I_{zx} &= -4.01 & I_{zy} &= 131.28 & I_{zz} &= 7654373.39 \end{aligned}$$



4.3.3.2 Modelo de eslabón primario

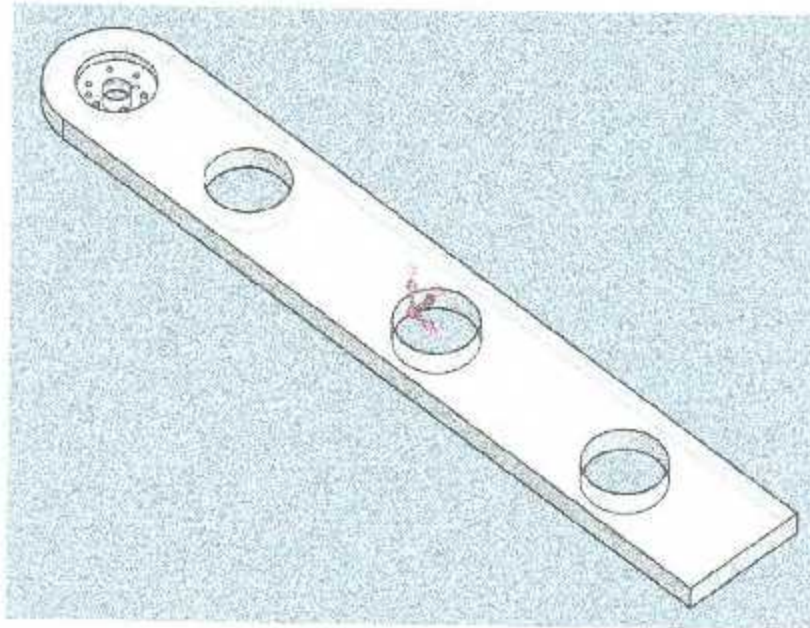


Figura 4. 7 Propiedades físicas de eslabón primario.

Tabla 4. 8 Propiedades físicas de eslabón primario.

Masa	102.59 g
Volumen	86211.32 mm ³
Área de la superficie	34461.82 mm ²
Centro de masa: (milímetros)	X = 141.25 Y = 3.15 Z = 0.00



Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ($\text{g}\cdot\text{mm}^2$). Medido desde el centro de masa.

$$\begin{aligned} i_x &= (1.00, 0.00, 0.00) & P_x &= 24133.33 \\ i_y &= (0.00, 0.00, -1.00) & P_y &= 896066.39 \\ i_z &= (-0.00, 1.00, 0.00) & P_z &= 919513.51 \end{aligned}$$

Momentos de inercia: ($\text{g}\cdot\text{mm}^2$). Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$$\begin{aligned} L_{xx} &= 24133.53 & L_{xy} &= 419.32 & L_{xz} &= 0.00 \\ L_{yx} &= 419.32 & L_{yy} &= 919513.31 & L_{yz} &= 0.00 \\ L_{zx} &= 0.00 & L_{zy} &= 0.00 & L_{zz} &= 896066.39 \end{aligned}$$

Momentos de inercia: ($\text{g}\cdot\text{mm}^2$). Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$$\begin{aligned} I_{xx} &= 25148.95 & I_{xy} &= 46009.76 & I_{xz} &= 0.00 \\ I_{yx} &= 46009.76 & I_{yy} &= 2966434.55 & I_{yz} &= 0.00 \\ I_{zx} &= 0.00 & I_{zy} &= 0.00 & I_{zz} &= 2944003.05 \end{aligned}$$



4.3.3.3 Modelo de eslabón secundario

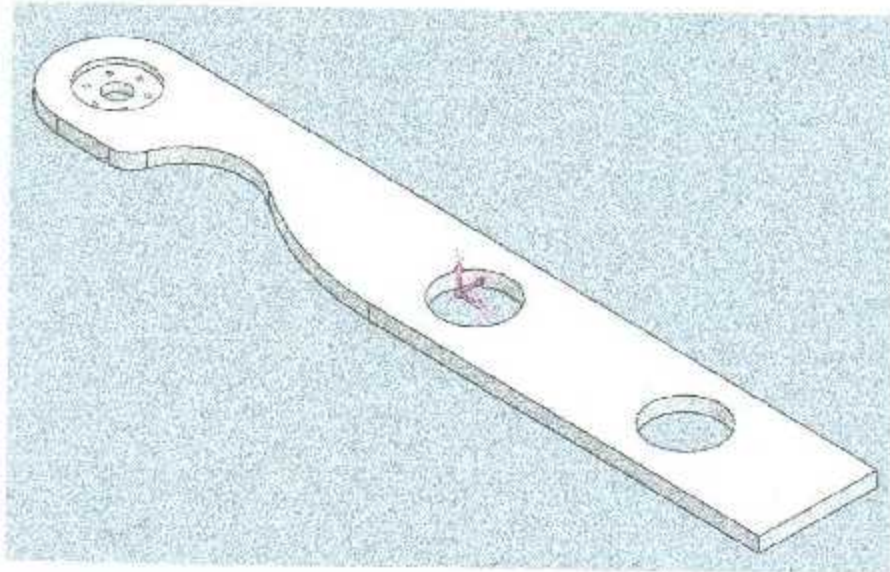


Figura 4. 8 Propiedades físicas de eslabón secundario.

Tabla 4. 9 Propiedades físicas de eslabón secundario.

Masa	98.37 g
Volumen	82660.49 mm ³
Área de la superficie	32852.24 mm ²
Centro de masa: (milímetros)	X = 144.67 Y = 3.14 Z = -1.52



Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ($\text{g}\cdot\text{mm}^2$). Medido desde el centro de masa.

$$\begin{aligned} I_x &= (1.00, 0.00, 0.01) & P_x &= 21263.52 \\ I_y &= (0.01, 0.00, -1.00) & P_y &= 865004.79 \\ I_z &= (-0.00, 1.00, 0.00) & P_z &= 885610.54 \end{aligned}$$

Momentos de inercia: ($\text{g}\cdot\text{mm}^2$). Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$$\begin{aligned} L_{xx} &= 21432.35 & L_{xy} &= 429.47 & L_{xz} &= 11926.48 \\ L_{yx} &= 429.47 & L_{yy} &= 885610.32 & L_{yz} &= -4.51 \\ L_{zx} &= 11926.48 & L_{zy} &= -4.51 & L_{zz} &= 864836.18 \end{aligned}$$

Momentos de inercia: ($\text{g}\cdot\text{mm}^2$). Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$$\begin{aligned} I_{xx} &= 22631.97 & I_{xy} &= 45182.12 & I_{xz} &= -9681.70 \\ I_{yx} &= 45182.12 & I_{yy} &= 2944573.85 & I_{yz} &= -474.22 \\ I_{zx} &= -9681.70 & I_{zy} &= -474.22 & I_{zz} &= 2924545.74 \end{aligned}$$



4.3.3.4 Modelo de eslabón terciario

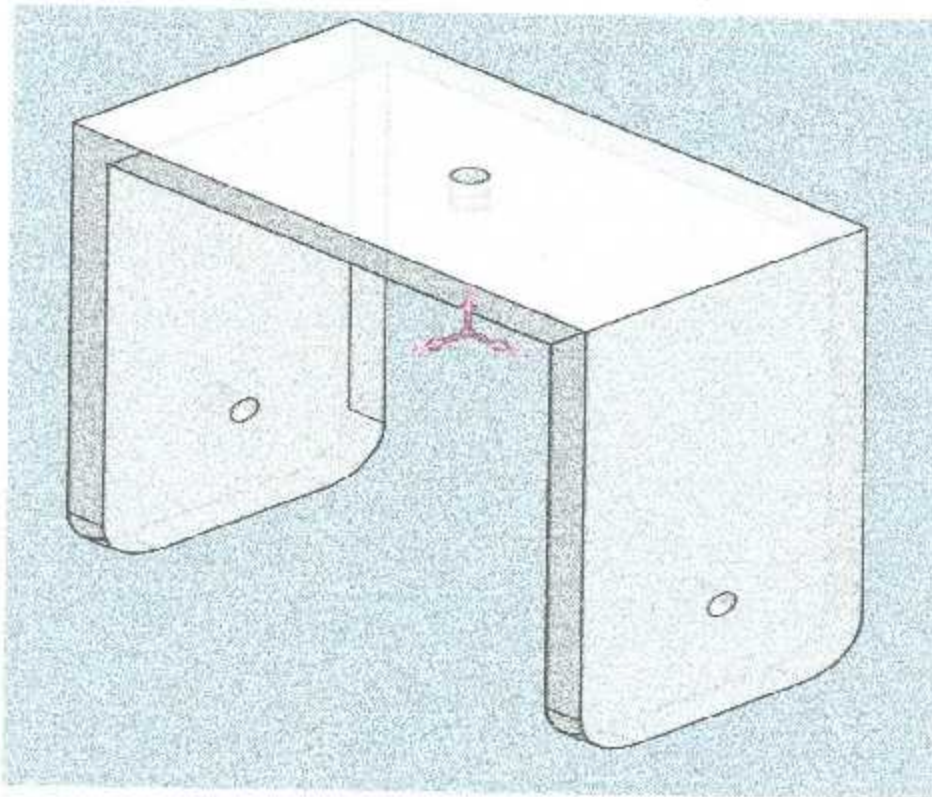


Figura 4. 9 Modelo del eslabón terciario.

Tabla 4. 10 Propiedades físicas del elemento.

Masa	104.58 g
Volumen	87885.62 mm ³
Área de la superficie	32057.92 mm ²
Centro de masa: (milímetros)	X = -57.52 Y = -6.41 Z = 25.00



Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (g·mm²). Medido desde el centro de masa.

$$\begin{aligned} I_x &= (1.00, 0.00, 0.00) & P_x &= 128911.50 \\ I_y &= (0.00, 1.00, 0.00) & P_y &= 175999.48 \\ I_z &= (0.00, 0.00, 1.00) & P_z &= 261556.99 \end{aligned}$$

Momentos de inercia: (g·mm²). Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$$\begin{aligned} L_{xx} &= 128911.50 & L_{xy} &= 0.00 & L_{xz} &= 0.00 \\ L_{yx} &= 0.00 & L_{yy} &= 175999.48 & L_{yz} &= 0.00 \\ L_{zx} &= 0.00 & L_{zy} &= 0.00 & L_{zz} &= 261556.99 \end{aligned}$$

Momentos de inercia: (g·mm²). Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$$\begin{aligned} I_{xx} &= 198573.91 & I_{xy} &= 38559.93 & I_{xz} &= -150384.08 \\ I_{yx} &= 38559.93 & I_{yy} &= 587350.76 & I_{yz} &= -16760.20 \\ I_{zx} &= -150384.08 & I_{zy} &= -16760.20 & I_{zz} &= 611840.81 \end{aligned}$$



4.3.4 Simulación de esfuerzo de torsión o torque

La simulación de esfuerzos, se realiza para validar la potencia de los motores, en este punto se mostrará el método usado para realizar esta verificación. Como se explicó anteriormente, el esfuerzo de torsión es la fuerza que ejerce un elemento sobre un eje de rotación, en este caso un motor.

4.3.4.1 Simulación de fuerza de torsión Motor N° 2

4.3.4.1.1 Ubicación del eje motor

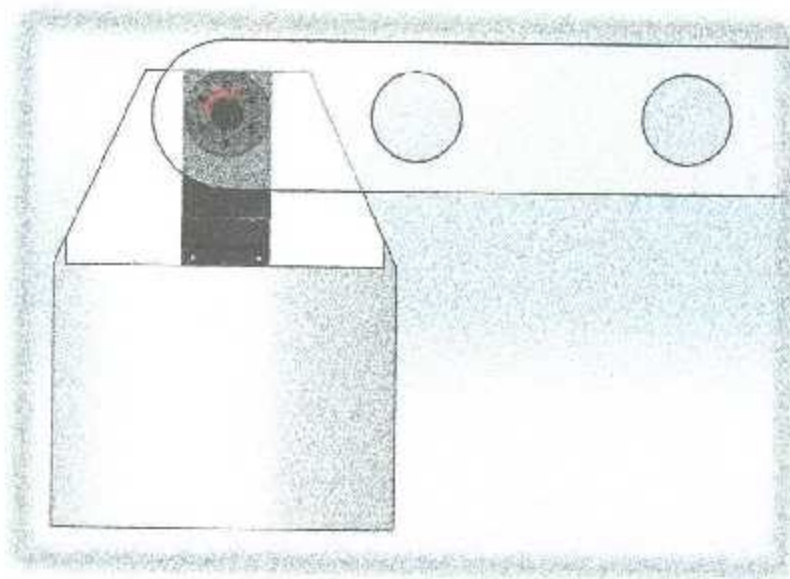


Figura 4. 10 Ubicación del eje motor.



4.3.4.1.2 Condiciones de Simulación

La simulación se lleva a cabo bajo las siguientes condiciones:

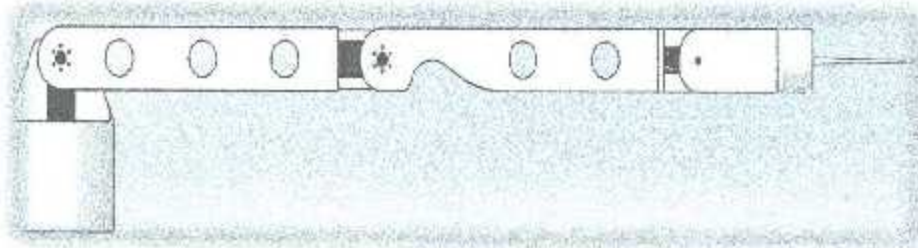


Figura 4. 11 Configuración para motor 2.

Extensión completa de brazo, configurar el prototipo en su máxima longitud representa a su vez la mayor fuerza de torsión que puede generar sobre el eje del motor. La torsión que se genera en el motor se rige por la siguiente ecuación de momento de torsión, en la cual al multiplicar la distancia perpendicular a la fuerza, obtenemos el par aplicado por la palanca.

$$M = F * D \quad (5.1)$$

Otro aspecto importante a considerar en el análisis dinámico del brazo, es la aplicación de la fuerza de gravedad. Esta fuerza actúa sobre los objetos, atrayéndolos hacia el centro de la tierra. En la simulación resulta importante la inclusión de la fuerza de gravedad, ya que acelera los cuerpos actuando sobre el centro de masa del mismo, para obtener los momentos de inercia. En la simulación el valor dado para la gravedad es igual a 9.81 m/s^2 .

En la imagen (4.12), se muestra la dirección en que actúa la fuerza de gravedad sobre el modelo en estudio y la magnitud de la misma.

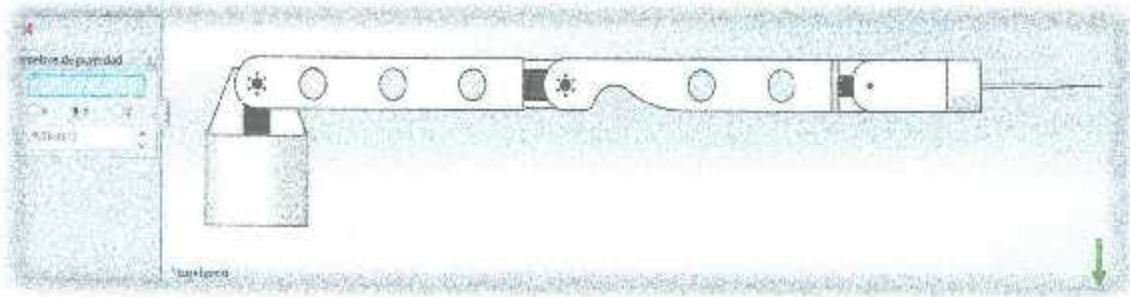


Figura 4. 12 Fuerza de gravedad.

Se simuló el mecanismo a 30 rpm, para generar condiciones fuera del rango de operación, de esta forma realiza un cálculo de sobre diseño el cual nos garantiza que la elección de los motores es la correcta.

Cabe mencionar que se realizaron simulaciones previas para determinar la configuración óptima del modelo, arrojando los siguientes resultados:

4.3.4.1.3 Trazado de la trayectoria de trabajo

Se realizó la simulación de la rotación del modelo para conocer el área máxima de trabajo. Se obtuvo como resultado un radio de 816.5 mm, que perfectamente cumple con las necesidades de funcionamiento.

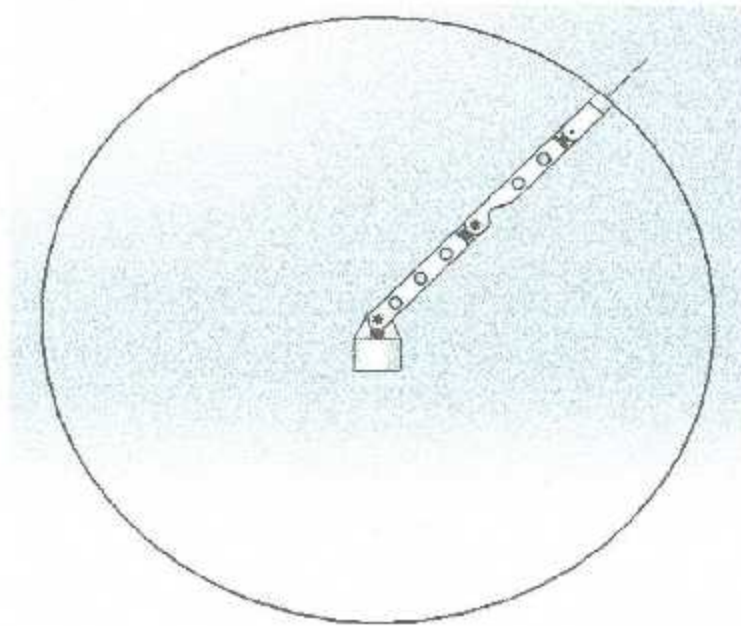


Figura 4. 13 Trayectoria deseada para eje motor 2.

Para obtener la simulación de la fuerza de torsión generada en el eje del motor, se obtuvo la masa de los elementos que intervienen en la simulación, dicha masa es de 0.96 kg. Antes de realizar la simulación, se corrió un simulacro de interferencia para ubicar alguna posible imperfección en el ensamblaje y que como consecuencia generara errores en los resultados. Los resultados del estudio de interferencia resultaron satisfactorios, ya que no se encontró ninguna. Otro factor que se tomó en cuenta en la simulación, fue la de aplicar valores de fricción entre elementos, que aunque en este caso no era del todo necesario se incluyó para hacer un estudio más realista. Teniendo en cuenta estos valores, se realizó la simulación obteniendo los siguientes resultados:



Tabla 4. 11 Torsión generada en eje motor 2.

Fotograma	Tiempo	Torsión (N·m)	Fotograma	Tiempo	Torsión (N·m)
1	0.000	0.0201	13	0.480	4.6663
2	0.040	0.5700	14	0.520	4.6804
3	0.080	1.1466	15	0.560	4.6099
4	0.120	1.7075	16	0.600	4.4659
5	0.160	2.2414	17	0.640	4.2514
6	0.200	2.7400	18	0.680	3.9700
7	0.240	3.1953	19	0.720	3.6259
8	0.280	3.6002	20	0.760	3.2246
9	0.320	3.9484	21	0.800	2.7725
10	0.360	4.2343	22	0.840	2.2766
11	0.400	4.4534	23	0.880	1.7449
12	0.440	4.6023	24	0.920	1.1856

En la tabla 4.10 solamente se registraron datos obtenidos del segundo 0 al segundo 0.920, esto debido a que al ser una revolución, los datos se repiten cada que se cumple un ciclo. La simulación completa se realizó en un periodo de 5 segundos. En la tabla se señaló la torsión máxima generada en el modelo. A continuación, se muestra la gráfica obtenida de la tabla anterior, en el gráfico se muestra la simulación completa.

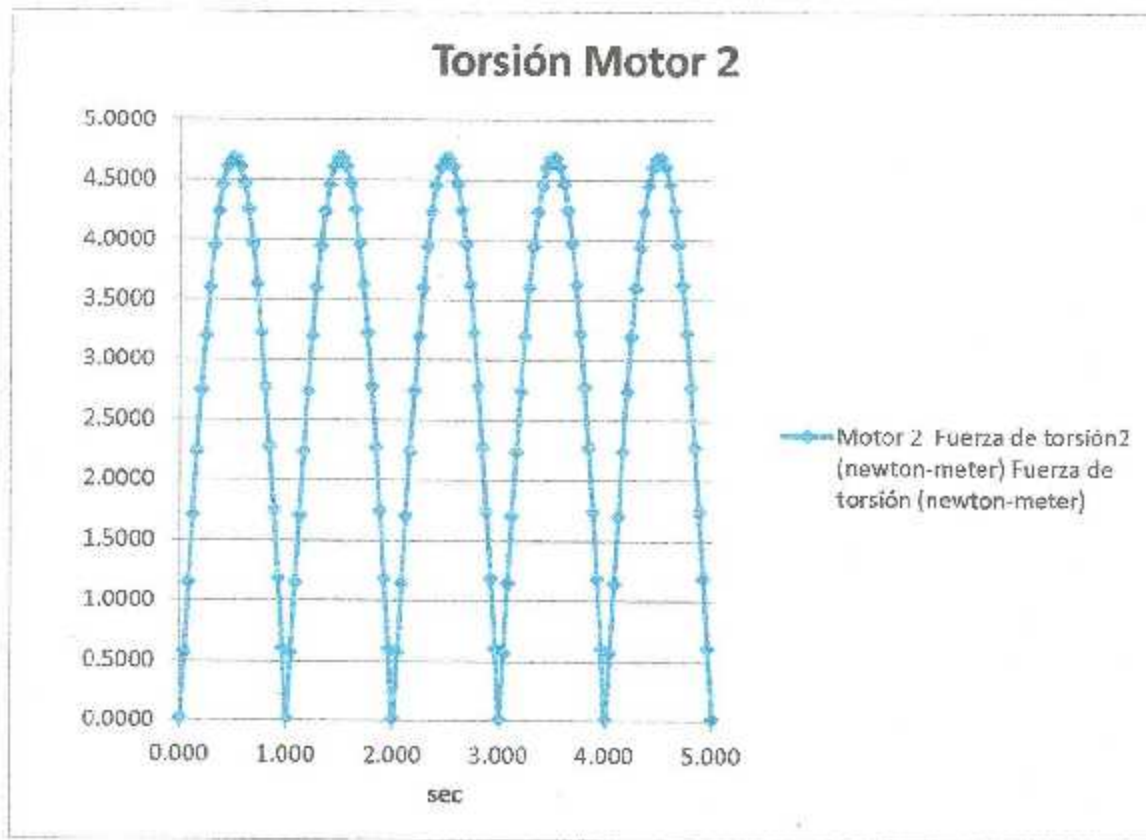


Figura 4. 14 Gráfica de Torsión generada en el eje motor 2.

La fuerza máxima de torsión obtenida es de 4.6804 N-m, este momento de torsión se genera cuando los eslabones se encuentran totalmente horizontales respecto al eje de rotación. Al encontrarse en una posición completamente de extensión se generará una fuerza situada en el centroide del modelo, dicha fuerza será igual a la masa de los modelos que interfieren por la distancia del eje al centro de masa.

En el prototipo se cuenta con 3 pares de eslabones trabajando de forma paralela, esto simplifica las simulaciones ya que se analizan de forma similar. A continuación se presentan los resultados para los 2 pares restantes de eslabones.



4.3.4.2 Simulación de fuerza de torsión Motor N° 3

4.3.4.2.1 Ubicación del eje motor

El motor número 2, actúa como junta entre el primer par de eslabones y el segundo, teniendo aquí el pivoteo necesario para realizar la trayectoria establecida.

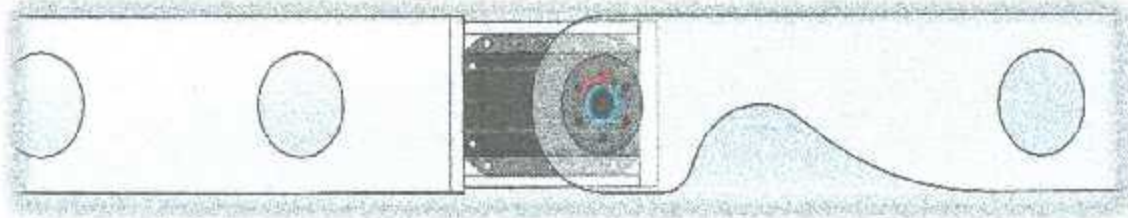


Figura 4. 15 Ubicación del eje motor 2.

4.3.4.2.2 Condiciones para la simulación

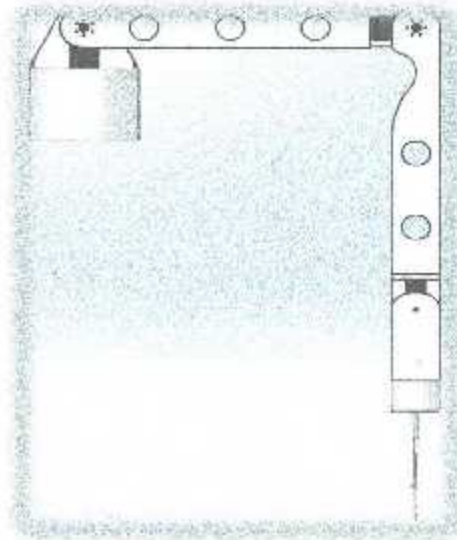


Figura 4. 16 Condición de cuerpo rígido motor 2



El modelo mostrado en la imagen se encuentra configurado de la siguiente manera:

- La base y el primer par de eslabones se analizan como un cuerpo rígido y fijo en los movimientos en cualquiera de sus ejes, debido a que se analizará el siguiente par de eslabones por lo cual no tiene relevancia lo que suceda con los antes mencionados.
- El par de eslabones que se muestra en forma vertical, son de interés en la simulación, ya que se analizará la fuerza de torsión que ejercen sobre el eje de rotación, tomando en cuenta la masa de los elementos, la gravedad y las dimensiones de los mismos.

La primera parte de la simulación consistió en trazar la trayectoria de este par de eslabones, haciéndolo de forma continua para verificar la fuerza de torsión generada en el eje del motor.

4.3.4.2.3 Trazo de trayectoria par de eslabones 2

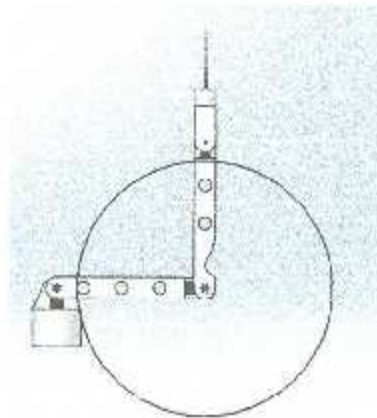


Figura 4. 17 Trazo de trayectoria segundo par de eslabones.



La trayectoria representa el área máxima de trabajo, que en este caso es igual al diámetro que dibuja la longitud de los eslabones, arrojando como resultado un diámetro de 602.48 mm. Simulando la trayectoria, se obtuvieron los siguientes resultados en cuanto a la fuerza de torsión se refiere.

Tabla 4: 12 Resultados obtenidos de simulación de torsión de eje motor 3.

Fotograma	Tiempo	Torsión (N·m)	Fotograma	Tiempo	Torsión (N·m)
1	0.000	0.0030	13	0.480	1.8473
2	0.040	0.2343	14	0.520	1.8463
3	0.080	0.4630	15	0.560	1.8168
4	0.120	0.6839	16	0.600	1.7587
5	0.160	0.8939	17	0.640	1.6728
6	0.200	1.0899	18	0.680	1.5605
7	0.240	1.2687	19	0.720	1.4237
8	0.280	1.4275	20	0.760	1.2643
9	0.320	1.5637	21	0.800	1.0851
10	0.360	1.6753	22	0.840	0.8887
11	0.400	1.7605	23	0.880	0.6783
12	0.440	1.8179	24	0.920	0.4572

La gráfica obtenida de la simulación completa perteneciente al motor número 3 es la siguiente.

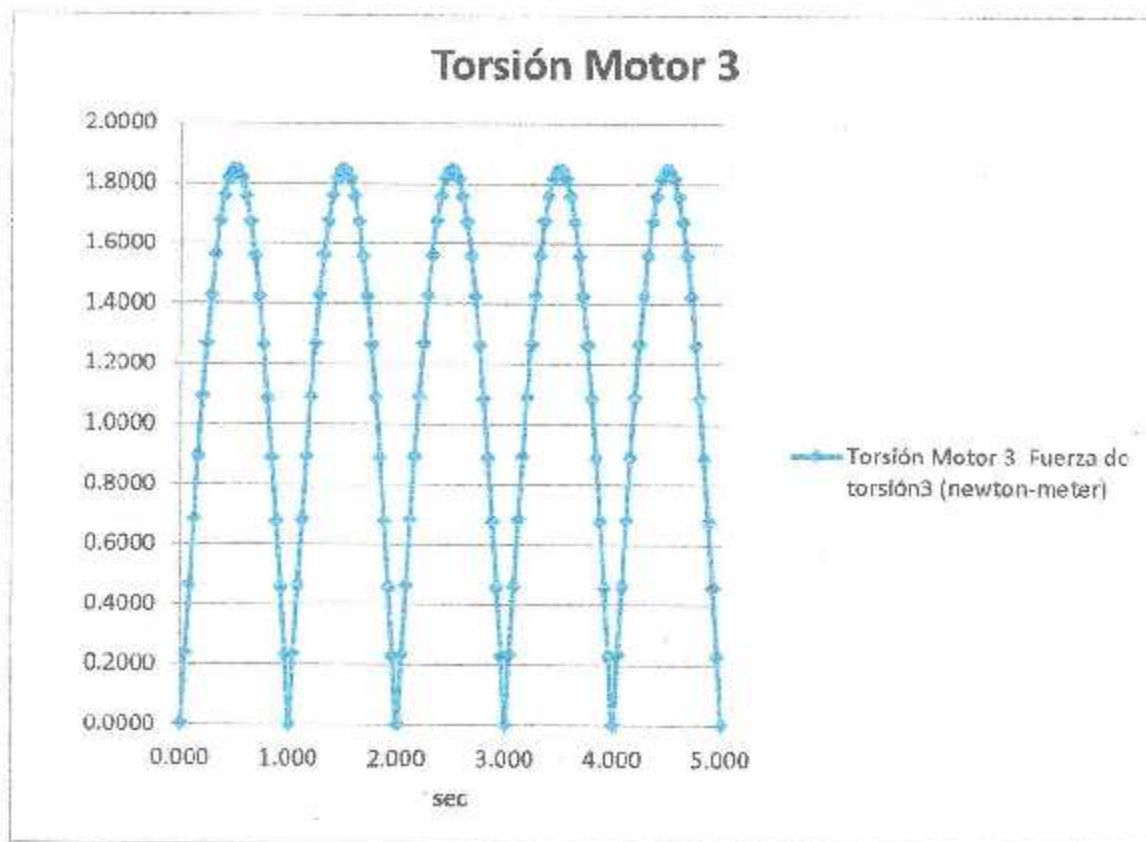


Figura 4. 18 Grafica de torsión motor 3.

Los resultados obtenidos arrojan un valor de 1.8473 N·m como pico máximo de torsión, resultado del momento generado por la longitud desde el centro del eje hasta la punta del sensor, todo esto multiplicado por la sumatoria de las masas de los elementos que intervienen. La sumatoria de las masas es igual a 0.63 kg.



4.3.4.3 Simulación de fuerza de torsión Motor N° 4

La simulación del último eslabón se hizo bajo las mismas condiciones que las anteriores, algunos elementos se analizaron como cuerpo rígido. El eslabón en este estudio se pivotea en un arreglo de dos motores funcionando en paralelo para determinar la máxima fuerza de torsión y el área de trabajo correspondiente.

4.3.4.3.1 Ubicación del motor

La ubicación del eje motor se encuentra empotrado en el extremo superior del par de eslabones ranurado. Cuenta con un arreglo para que el último eslabón sea doblemente empotrado y pivoteado.

En la imagen se muestran en color azul, los elementos que conforman el cuerpo rígido y en color blanco el eslabón en estudio, éste girará sobre los ejes de revolución y por su propia masa le generará torsión a las flechas motrices. La flecha roja muestra la ubicación del motor y el sentido de giro que tendrá.

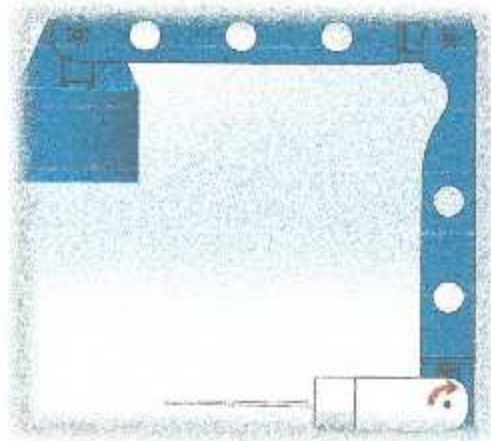


Figura 4. 19 Ubicación del motor 4.



La presente simulación y las dos anteriores, permitirán conocer los requerimientos de torque necesarios, así se hace más eficiente la fabricación del prototipo, evitando costos incensarios por mala selección de equipos, y a su vez, nos permite visualizar la morfología del modelo evitando así interferencia entre elementos mecánicos.

Se realizó la simulación correspondiente al área de trabajo y se obtuvo un diámetro de 248.7 mm.

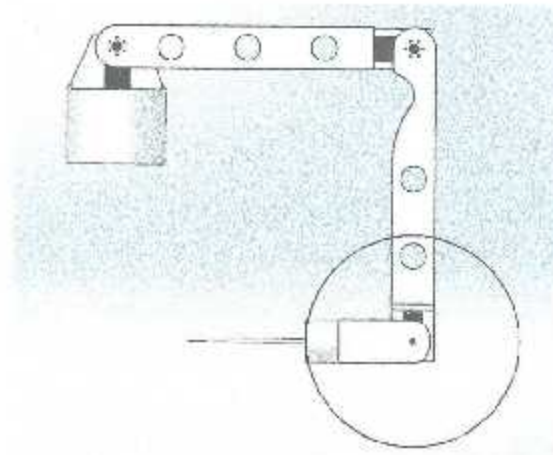


Figura 4. 20 Trazo de trayectoria par de eslabón 3.

Acto seguido, se realizó la simulación para conocer el torque generado por el eslabón tipo U, el cual al encontrarse empotrado en un arreglo de 2 motores, se puede trabajar con dos actuadores de bajo torque trabajando en paralelo, pero con la carga repartida. Los resultados obtenidos de la simulación son los siguientes:



Tabla 4. 13 Fuerza de torsión en motor 4.

Fotograma	Tiempo	Torsión (N·m)	Fotograma	Tiempo	Torsión (N·m)
1	0.000	0.1526	13	0.480	0.0101
2	0.040	0.1515	14	0.520	0.0090
3	0.080	0.1480	15	0.560	0.0281
4	0.120	0.1421	16	0.600	0.0467
5	0.160	0.1340	17	0.640	0.0645
6	0.200	0.1238	18	0.680	0.0813
7	0.240	0.1116	19	0.720	0.0969
8	0.280	0.0977	20	0.760	0.1109
9	0.320	0.0822	21	0.800	0.1232
10	0.360	0.0655	22	0.840	0.1335
11	0.400	0.0477	23	0.880	0.1417
12	0.440	0.0291	24	0.920	0.1477

Como se muestra en la tabla el valor más alto registrado es de 0.1526 N·m, resulta un valor relativamente bajo comparado con los anteriormente obtenidos.

4.4 Conclusión de las simulaciones

Los resultados obtenidos de las simulaciones son tomados en cuenta para realizar la selección de los motores y hacer modificaciones estructurales del modelo, dichas modificaciones pueden ser morfológicas, materiales y configuraciones. A continuación, explicaremos que transformaciones se realizaron previamente al modelo mostrado en las imágenes anteriores.



Morfología.- En análisis anteriores se contaba con diferentes modelos, a estos modelos se les realizó una serie de simulaciones para verificar que cubrieran las necesidades de trabajo, algunas de las modificaciones que se realizaron fueron las siguientes:

Delimitación de longitud.- se realizaron múltiples simulaciones de movimiento, interferencia y de fuerza de torsión para verificar que todos los resultados que arrojaban estuvieran dentro de parámetros aceptables de trabajo y costo. Esto resulta importante ya que podemos encontrar una relación directa entre la potencia del motor y su costo. Se analizaron los resultados y se investigó qué tipo de motores existían en el mercado y con qué características contaban, cuál era su precio y que tan viable era la obtención de ellos. La delimitación de la longitud determinó el tamaño de los motores ya que al conocer estos parámetros, se estableció la potencia necesaria, gracias a que se llegó a la conclusión de tener una extensión máxima de eslabones de posicionamiento inferior a los 900 mm de longitud. Esta medida se obtuvo de estimar el peso de los elementos que intervienen y de la capacidad de los motores que encontramos en el mercado.

Materiales.- La importancia de considerar las propiedades mecánicas, dieléctricas y térmicas es demasiada, ya que garantizan el perfecto funcionamiento del prototipo. En este apartado conoceremos las principales características que se tomaron en cuenta para seleccionar el material.

Mecánicas.- En cuanto a la mecánica se tomaron en cuenta parámetros como la resistencia a la fluencia del material, dicha propiedad nos garantiza que la estructura soportara el peso de los elementos sin que se llegue a generar un esfuerzo muy grande en el material.

La **maleabilidad o maquinabilidad** es una propiedad de los materiales para ser maquinados o laminados, dicha propiedad representa la factibilidad para ser



trabajado. Dentro de los materiales más populares podemos encontrar el acero dulce 1018, el aluminio y los materiales plásticos de alta viscosidad. Para este proyecto se analizaron las diferentes opciones que se encontraban en el mercado, dentro de las cuales las que resultaron más atractivas fueron el aluminio, nylamid, acetal y teflón. De los materiales antes mencionados, se decidió trabajar con nylamid debido a que representa una opción económica y con muy buenas propiedades mecánicas.

Fatiga, es la consecuencia de la repetición cíclica de movimientos, es por este motivo que se tomó muy en cuenta esta propiedad ya que el prototipo estará sometido a repetibilidad de movimientos, se eligió un material que no tuviera deformaciones por los esfuerzos realizados.

Térmica.- las propiedades térmicas de los materiales determinan la transferencia de calor según su conductividad térmica. Se buscó materiales con poca conductividad térmica para evitar que haya sobrecalentamientos no deseados. Una de las mejores opciones fueron los materiales compuestos por polímeros, ya que cuentan con bajas conductividades.

Dieléctricas.- Una característica importante es que exista el menor número de elementos metálicos ya que se evita que la reflexión electromagnética y el calentamiento por electromagnetismo inducido. Otra característica, por la cual los polímeros resultan sumamente viables para el prototipo.



En base a los resultados aquí mostrados, se seleccionaran los servomotores, con un factor de sobre diseño para evitar problemas de carga.

Tabla 4. 14 Torque necesario para el modelo.

Número de Motor	Fuerza de Torsión Máxima N m	Fuerza de Torsión Máxima kg-cm
Motor 2	4.6804	47.73
Motor 3	1.8473	18.84
Motor 4	0.1526	1.56

La torsión mínima necesaria para los motores que integrarán el sistema es la de la Tabla 4.13, al considerar un factor de seguridad se determinó que como mínimo se trabajara con el doble de potencia, para que de esta manera se cumpla completa y absolutamente bien el trabajo. Al trabajar con mayor potencia obtenemos un rendimiento mayor del instrumento, debido a que nos da la oportunidad de hacer transformaciones derivadas de alguna innovación.

En cuanto a los materiales se hicieron algunas consideraciones como se explicó anteriormente, el material más viable para la construcción del prototipo es conocido como Nylamid, al contar con muy buenas propiedades mecánicas, dieléctricas, térmicas y estéticas.



CAPÍTULO V. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

5.1 Adquisición de servomotores

He aquí donde cobra importancia las simulaciones realizadas en el capítulo anterior. Con los valores obtenidos en la tabla 4.13 se realizó la búsqueda de los servomotores más convenientes para la aplicación. El enfoque principal era encontrar servomotores de conexión directa, para no realizar acoplamientos mecánicos complejos. La búsqueda finalizó con los servomotores de la marca DYNAMIXEL, los cuales reúnen una serie de características óptimas para el modelo, entre las cuales podemos mencionar su alto torque, alta resolución de desplazamiento, retroalimentación y auto compensación.

Para los servomotores 2 y 3 se seleccionaron los servomotores MX-106T y MX-64T respectivamente. A continuación se muestran las imágenes correspondientes a los 2 equipos.



Figura 5. 1 Servomotores DYNAMIXEL



5.1.1 Características principales de servomotores

A continuación conoceremos más características, en la tabla 5.1, se mencionan algunos datos técnicos y propiedades de dichos actuadores.

Tabla 5. 1 Datos técnicos MX-64T

Nombre	MX-64T		
<i>Peso</i>	126 g		
<i>Dimensiones</i>	40.2 mm X 61.1 mm X 41 mm		
<i>Relación de engranes</i>	200 a 1		
<i>Voltaje de operación (V)</i>	10	12	14.8
<i>Torque (N·m)</i>	5.5	6	7.3
<i>Corriente (A)</i>	3.9	4.1	5.2
<i>Velocidad (rpm)</i>	58	63	78
<i>Motor</i>	Maxon motor		
<i>Control de ángulo</i>	0.088° X 4096		
<i>Rango de operación</i>	360°		
<i>Temperatura de O. (°C)</i>	(50 – 80) °C		
<i>Comando de señal</i>	Digital Packet		
<i>Protocolo</i>	Half duplex Asynchronous Serial Communication		
<i>Link físico</i>	TTL		
<i>Retroalimentación</i>	Posición, Temperatura, Carga, Voltaje		
<i>Engranos</i>	Metálicos		
<i>Sensor de posición</i>	Encoder Absoluto		

En la tabla 5.1 se observan características muy interesantes, una de ellas es que a pesar de su tamaño y peso, este servomotor cuenta con un alto torque, el cual llega a los 7.3 N·m, debido a ésto es factible hacer un acoplamiento directo porque aunado a eso cuenta con un doble empotramiento lo cual permitirá pivotear el par de eslabones correspondiente.



El servomotor MX-106T no es muy diferente, quizá el cambio más significativo es el aumento de torque y por consecuencia aumento en la demanda de voltaje y corriente, en la tabla 5.2, se muestran las características principales.

Tabla 5. 2 Características MX-106T

Nombre	MX-106T		
<i>Peso</i>	153 g		
<i>Dimensiones</i>	40.2 mm X 65.1 mm X46 mm		
<i>Relación de engranes</i>	225 a 1		
<i>Voltaje de operación (V)</i>	10	12	14.8
<i>Torque (N-m)</i>	8.0	8.4	10.0
<i>Corriente (A)</i>	4.8	5.2	6.3
<i>Velocidad (rpm)</i>	41	45	55
<i>Motor</i>	Maxon motor		
<i>Control de ángulo</i>	0.088° X 4096		
<i>Rango de operación</i>	360°		
<i>Temperatura de O. (°C)</i>	(50° a 80) °C		
<i>Comando de señal</i>	Digital Packet		
<i>Protocolo</i>	Half duplex Asynchronous Serial Communication		
<i>Link físico</i>	TTL		
<i>Retroalimentación</i>	Posición, Temperatura, Carga, Voltaje		
<i>Engranes</i>	Metálicos		
<i>Sensor de posición</i>	Encoder Absoluto		

Otras características importantes de los servomotores es que cuentan con un control PWM y un control PID, tanto para generar sus propios pulsos y auto compensar los movimientos según la carga que el modelo demande.



5.2 Adquisición de motor para desplazamiento lineal

El sistema lineal con el cual trabajará el prototipo es conocido como tornillo embalado, el cual está compuesto por una tuerca embalada que se desplaza a través de un tornillo sin fin, del cual se hablará más adelante.

Para que el sistema antes mencionado tenga mayor resolución, la mejor opción es un motor a pasos. Este tipo de motores resulta adecuado para el sistema, debido a que el movimiento de su eje motor está condicionado al número de pasos con que fue fabricado. Se eligió un motor a pasos de la marca ACT MOTOR, el cual es movido mediante 200 pasos o lo que es igual a 1.8° de resolución.

Este motor es de tipo bipolar, con una alimentación de 5.5 V y corriente de 1.7 A. Se programa con un doble puente H, el cual encontramos en el integrado L298N, dicho integrado nos proporciona la resistencia necesaria para mover el motor a su máxima capacidad. La capacidad máxima del motor es de 5 Kg·cm. La figura 5.2 es representación del motor utilizado.



Figura 5. 2 Motor a pasos bipolar.



5.3 Tornillo sin fin

Tornillo sin fin o tornillo de potencia es como se conoce en la ingeniería a este tipo de dispositivos mecánicos, los cuales son utilizados para realizar desplazamientos lineales sin la necesidad de adherir motores de gran potencia. Para la adquisición del tornillo sin fin se evaluaron diferentes opciones, entre las cuales se tomó en cuenta el paso del tornillo, el avance, la dureza y acabado superficial. El tornillo que más se adaptó a nuestras necesidades, fue un tornillo con tuerca embalada de 12 mm de diámetro y un paso de 4 mm por revolución, con un acabado superficial rectificado y precargado a 30 kg.

Al evaluar el trabajo en conjunto del tornillo sin fin y el motor a pasos, se determinó la resolución que tendrá el desplazamiento lineal, dando como resultado la siguiente definición.

$$A_L = \frac{R_T}{P_M} = \frac{4 \text{ mm}}{200} = 0.02 \text{ mm} \quad (5.2)$$

Donde:

A_L = Avance Longitudinal (mm)

R_T = Resolución del Tornillo sin Fin (mm)

P_M = Numero de Pasos del Motor

Con la aplicación de la fórmula (5.2), podemos confirmar que nuestro sistema es de gran resolución y que cumplirá con las necesidades del trabajo. Cabe mencionar que al contar con un acabado superficial rectificado y una tuerca embalada con balines de acero, la fricción es despreciable. Para la implementación del sistema, se fabricó una base de NYLAMID con un arreglo de 2 varillas cromadas en los extremos y el tornillo sin fin en el centro. Las varillas cromadas se desplazan a través de 4



rodamientos lineales cerrados. En las siguientes imágenes se muestra el arreglo y el diseño de los componentes.



Figura 5. 3 Tomillo sin fin con tuerca embalada.



Figura 5. 4 Varillas cromadas.



Figura 5. 5 Rodamiento lineal cerrado.

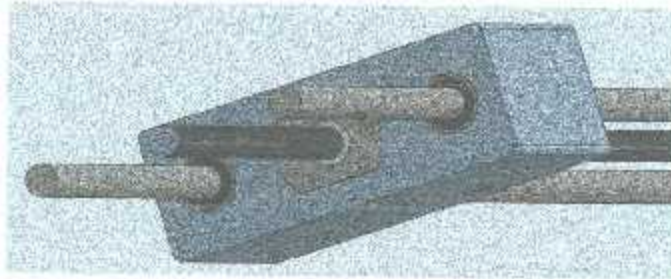


Figura 5. 6 Arreglo para tornillo sin fin y varillas cromadas.

Una vez adquiridos los equipos, se realizó la fabricación de todos los componentes del modelo, entre los cuales se fabricaron los eslabones, base principal, patas, mesa y cajas para diversos accesorios.

5.4 Maquinado de piezas

Cada parte del proceso es importante, pero aquí es donde se plasman las ideas y donde cobran vida todas aquellas piezas que fueron diseñadas y simuladas. Para su mejor comprensión se explica de forma general el proceso de maquinado que se realizó. Comenzaremos por la base principal, después los eslabones y al final la base del tornillo sin fin.

5.4.1 Base principal

La base principal fue maquinada a partir de un cilindro sólido de NYLAMID con diámetro de 4 ½" y 8" de longitud. El proceso seguido es el siguiente:

1. Corte de la pieza a la longitud de 6 pulgadas.
2. Rectificado de caras.
3. Desbaste de exceso de material con fresadora.
4. Ranurado de caja y ángulos para servomotor.
5. Rectificado cilíndrico con torno horizontal.



El proceso anterior representa los pasos más significativos que siguió la base principal, para visualizar mejor el proceso se representa a continuación con algunas imágenes del maquinado.



Figura 5. 7 Maquinado de base principal, a la izquierda se observa corte de material, en la parte central ranurado con fresa, a la derecha torneada cilíndrico.

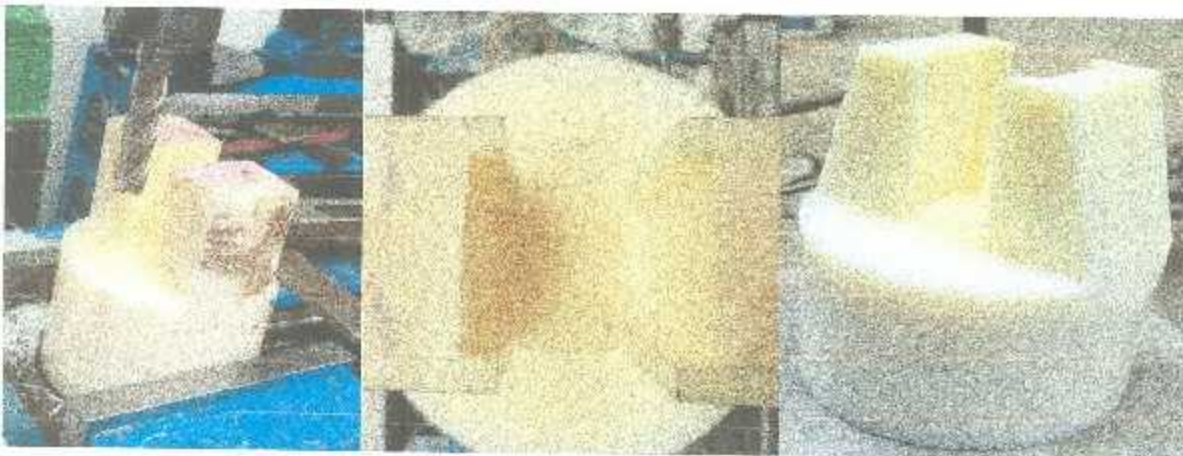


Figura 5. 8 Ranurado de caja (Izquierda), Caja de servomotor (centro), Base terminada (Derecha).



5.4.2 Fabricación de eslabones

Los eslabones fueron obtenidos de una placa de 50 cm X 50 cm de NYLAMID de $\frac{1}{4}$ " de espesor. La fabricación se realizó de la siguiente manera:

1. Se cortaron 2 rectángulos de 50 cm de longitud y 2 rectángulos más de 40 cm.
2. Ambos pares de rectángulos fueron rectificadas en cada una de sus caras tanto laterales como frontales.
3. Fueron perforados por la fresa vertical, para reducir la masa del material.
4. Se realizó la forma deseada mediante un proceso de desbaste.



Figura 5. 9 Material en bruto (Izquierda), Corte rectangular (Izquierda).

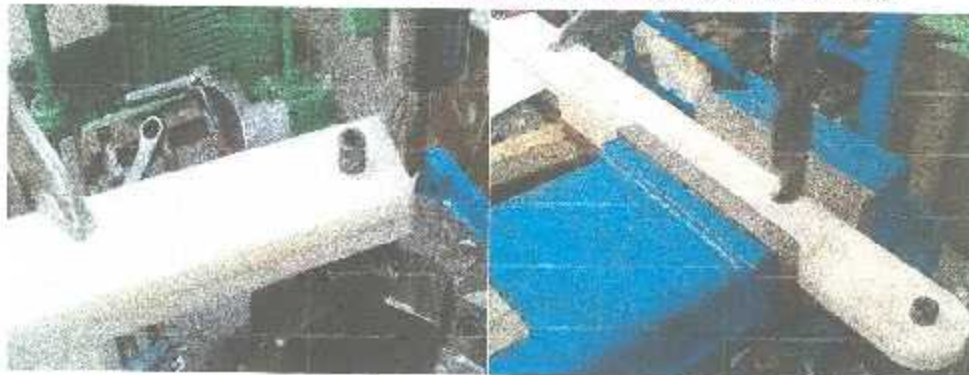


Figura 5. 10 Rectificado (Izquierda), Perforado (Derecha).



5.4.3 Base de tornillo sin fin

Finalmente se maquinó la base del tornillo sin fin, que a su vez será la base de todo el sistema ya que sobre ésta estará soportado todo el brazo robótico. La base ayudara a delimitar el movimiento en todos los sentidos menos en el lineal, el cual será desplazado por el tornillo sin fin y la tuerca embalada. A la base se le realizó un total de 5 cajas para albergar 4 rodamientos cerrados lineales y la tuerca embalada. Todas las cajas se maquinaron con un acabado de ajuste de rodamiento para no utilizar ningún tipo de sujeción más que la misma presión realizada por la expansión del rodamiento. Aunado a la base del tornillo sin fin, se fabricaron 2 piezas llamadas remates, las cuales sirven como descanso para los extremos de las varillas, el tornillo y el empotramiento del motor a pasos.



5.5 Ensamblaje final

Una vez finalizadas todas las piezas del modelo, el siguiente paso es realizar el ensamblaje del mismo, a continuación se muestra la vista explosionada, que dicho sea de paso, sirve como instructivo para realizar el ensamblaje físico de los elementos, ya que muestra el orden y ubicación de los componentes.

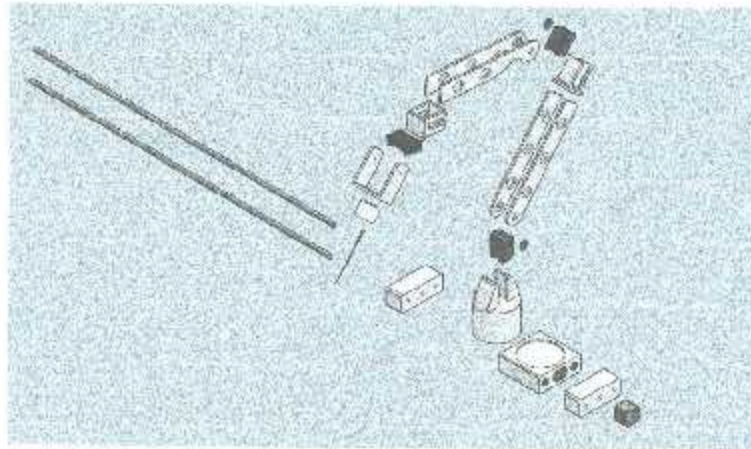


Figura 5. 11 Vista Explosionada.

Se realizó el ensamblaje físico del prototipo sin contratiempos gracias al diseño y maquinado del mismo, la figura 5.12 muestra el resultado final.



Figura 5. 12 Ensamblaje final.



5.6 Programación de motor a pasos

La programación de este motor se realizó en el programa Arduino, se utilizó una placa Arduino UNO, un controlador L298N y una fuente de poder de 12 V y 3 A. El código utilizado es el siguiente.

```
#include <Stepper.h> //Importamos la librería para controlar motores paso a paso
#define STEPS 200 //Definimos el número de pasos que necesita para dar una vuelta. 200 en nuestro caso
// Ponemos nombre al motor, el número de pasos y los pines de control
Stepper stepper(STEPS, 8, 9, 10, 11); //Stepper nombre motor (Número de pasos por vuelta, pines de control)

int derecha=3; //Pulsador derecha
int izquierda=2; //Pulsador izquierda
int direccion; //Variable para indicar la dirección

void setup()
{
  pinMode(derecha, INPUT);
  pinMode(izquierda, INPUT);
}
void loop()
{
  stepper.setSpeed(100);
  stepper.step(direccion); //Indicamos la dirección al motor

  if(digitalRead(izquierda)==HIGH)
  {
    direccion=200; //Si pulsamos el pulsador izquierdo, el motor gira a la izquierda
  }

  if(digitalRead(derecha)==HIGH)
  {
    direccion=-200; //Si pulsamos el pulsador derecho, el motor gira a la derecha
  }
}
```

Figura 5. 13 Código de programación Motor a Pasos.

Se utilizó la librería Stepper.h para facilitar la programación del motor a pasos, se añadieron 3 botones para indicar el sentido y el paro.



5.7 Programación de servomotores DYNAMIXEL

La programación del par de servomotores se realizó de 2 formas diferentes, la primera fue la realizada en el servomotor MX-106T, este servomotor se manipuló a través del programa DYNAMIXEL Wizard de la compañía Robotis. Para que la programación fuera posible se conectó el dispositivo USB2DYNAMIXEL y un circuito de potencia. Ya en el programa se buscó el número de identificación del servomotor y al ser encontrado se desplegó un menú de opciones para manipular las diferentes funciones con que cuenta el servomotor.

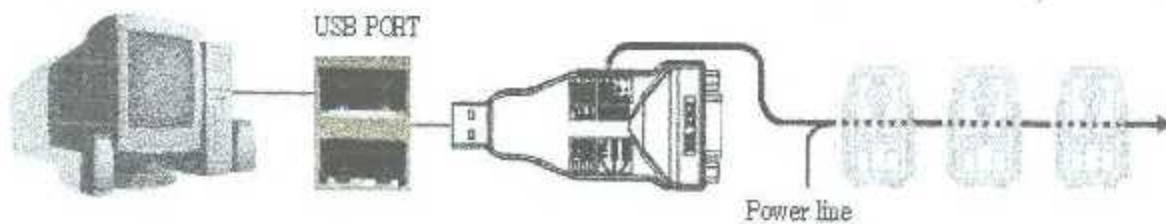


Figura 5. 14 Configuración de dispositivos.



Figura 5. 15 Dynamixel Wizard



La otra manera de programarlo es a través del programa libre Arduino, utilizando la librería Dynamixel.h, en este programa se manipulan directamente los comandos, enviando la dirección de la instrucción que queremos manipular.

```
#include <Dynamixel_Serial.h> // library needed to control Dynamixel servo
// #include <SoftwareSerial.h>

// SoftwareSerial mySerial(4, 7); // RX, TX

#define SERVO_ID 0x01 // ID
#define SERVO_ControlPin 0x02 // Control pin
#define SERVO_SET_Baudrate 57600 // Baud rate (57600)
#define LED13 0x0D // Pin Visual
#define TX_DELAY 2000 // in uSec
#define CW_LIMIT_ANGLE 0x001 // Reverse en sentido del reloj (límite de ángulo)
#define CCW_LIMIT_ANGLE 0xFF // Reverse en sentido contrario a al reloj (límite de ángulo)

void setup(){
  //mySerial.begin(57600);
  Serial.begin(57600);
  delay(1000);

  Dynamixel.begin(SERVO_SET_Baudrate, SERVO_ControlPin);
  Dynamixel.setMode(SERVO_ID, SERVO, CW_LIMIT_ANGLE, CCW_LIMIT_ANGLE);
}

void loop(){
  Dynamixel.servo(SERVO_ID, 0x001, 0x050);
  delay(5000);

  Dynamixel.servo(SERVO_ID, 0x7FD, 0x050);
  delay(5000);
}
```

Figura 5. 16 Código MX-64T Arduino

Para hacer funcionar el código anterior se utilizó un placa Arduino Mega, una fuente de poder de 12 V y 8 A, y un circuito de potencia. En el código básicamente se define la rotación del eje y se le asigna un límite superior y uno inferior para delimitar la trayectoria del mismo.



CAPÍTULO VI. RESULTADOS

6.1 Introducción

El presente capítulo describe los resultados obtenidos de la realización del estudio para desarrollar el sistema de posicionamiento. Al ser un prototipo los resultados son visibles, ya que se comprueba de manera física. Para describir mejor los productos obtenidos en primer lugar abordaremos el sistema de desplazamiento lineal y acto seguido el sistema articulado.

6.2 Sistema lineal

Como se menciona en el capítulo 5, el sistema lineal se calculó para tener una resolución de 0.02 mm y una longitud de avance efectivo de 90 cm. En este punto se realizó la validación de esos cálculos. Parte importante para que lo anterior se cumpliera, fue el acondicionamiento de los elementos que intervienen en el ensamblaje, teniendo como resultado final un sistema eficiente de desplazamiento lineal. A continuación, se muestra gráficamente la configuración final de los elementos.



Figura 6. 1 Longitud efectiva de 90 cm.

Como se aprecia en la figura 6.1, el ensamblaje hecho para el sistema de desplazamiento lineal muestra una longitud efectiva de 90 cm desde el centro del efector hasta el final de carrera ubicado en cualquiera de los extremos, la medición se



tomó ubicando el efector en su mínima posición la cual tiene como referencia la ubicación del motor a pasos. La prueba consistió en realizar un barrido a lo largo de todo el tornillo sin fin, finalizando en el extremo opuesto a la ubicación del motor, el desplazamiento fue realizado en ambas direcciones para visualizar el funcionamiento satisfactorio del modelo.

Parte importante de que el sistema funcione satisfactoriamente fue un arreglo realizado en el extremo opuesto a la ubicación del motor, ya que durante algunas pruebas se pudo visualizar una pequeña deflexión en el tornillo sin fin. Para solucionar este inconveniente, se agregó un rodamiento con juego axial, de esta forma el rodamiento absorbió dicha deflexión y corrigió el funcionamiento erróneo del equipo. En la figura 6.2 se muestra la modificación realizada.



Figura 6. 2 Rodamiento con juego axial para absorber deflexión de tornillo sin fin.

6.3 Articulaciones

Aquí se presentan los resultados referentes a las articulaciones que tiene un movimiento rotacional o angular. La importancia radica en el rango de desplazamiento que tendrá cada una de las articulaciones pivoteadas en los servomotores. Para hacer la validación del desplazamiento se pusieron en funcionamiento los motores y se midió el ángulo de desplazamiento del eslabón o articulación que intervino. Entre mayor resulte el ángulo de desplazamiento mayor es la utilidad del mecanismo. También se



verifico el mínimo movimiento posible de cada eslabón arrojando como resultado un ángulo menor a 1° . A continuación se muestran las imágenes de las pruebas realizadas.

Para el primer par de eslabones el ángulo de desplazamiento es igual a 223° , dicho ángulo le permite desplazarse sin restricción en el área de interés. A continuación se muestran las figuras correspondientes a la prueba.



Figura 6. 3 Ángulo de descanso de eslabón.



Figura 6. 4 Eslabón a media carrera.



Figura 6. 5 Eslabón en máximo desplazamiento.

En las figuras anteriores se muestran los máximos desplazamientos que puede tener el eslabón conocido como primario, el cual cuenta con un ángulo superior a los 223° , dicho ángulo puede ser modificado desde la programación de control. Cabe mencionar que el ángulo máximo de desplazamiento está delimitado físicamente por la base principal del brazo robótico.

Para el segundo par de eslabones se realizó la misma prueba en la que se identificó el movimiento máximo de este par de elementos, los resultados son mostrados en las siguientes figuras.



Figura 6. 6 Ángulo de descanso.



Figura 6. 7 Brazo en máxima extensión vertical.

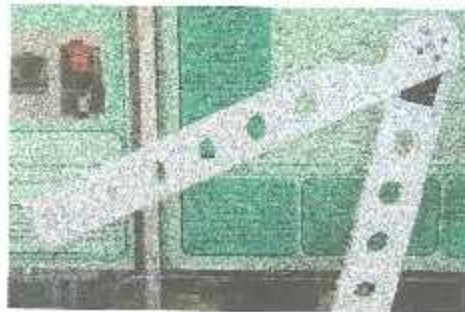


Figura 6. 8 Eslabón secundario en máxima carrera.

En las figuras 6.6, 6.7 y 6.8 se muestra el desplazamiento del segundo par de eslabones el cual alcanza un ángulo de apertura de 274° gracias a la modificación hecha en los elementos, la cual consistió en realizar un corte con forma de media gota. La modificación realizada permite realizar posicionamientos más cercanos a la base de la mesa a la cual está sujeto el brazo robótico.



Los resultados resultan satisfactorios, ya que corresponden a las simulaciones realizadas a lo largo del estudio. Como conclusión se obtiene un sistema de posicionamiento funcional y altamente confiable para ser complementado con un sistema de control óptimo. A continuación se muestra la figura 6.9 con el resultado final.



Figura 6. 9 Sistema de posicionamiento para sensores de temperatura de fibra óptica.



CAPÍTULO VII. PRODUCTOS DE TESIS

7.1 Artículos en congresos

Participación en el congreso de Investigación 7° encuentro de investigadores y 6° encuentro de jóvenes investigadores CIESLAG 2015 con el artículo "Simulación de un Sistema de Posicionamiento para Sensores de Temperatura utilizados en el estudio de la Tasa de Absorción Específica".

7.2 Prototipo

Prototipo de un Sistema de posicionamiento automatizado para sensores de fibra óptica utilizado para medición de temperaturas en el estudio de la tasa de absorción específica.



CAPÍTULO VIII. CONCLUSIONES

El estudio concluye con la plena satisfacción de que se realizó un excelente trabajo de todas las partes involucradas, ya que se lograron los objetivos establecidos. Se deja un equipo que se espera enriquezca el desarrollo de estudios relacionados con el cáncer de cerebro y del uso de aplicadores utilizados en terapias de ablación por microondas para cáncer de mama.

Haciendo un recuento de los objetivos propuestos, se cumplió con la revisión del estado del arte, que como se vio en el capítulo correspondiente se buscó generar un modelo de sistema de posicionamiento que reuniera con características muy específicas. La revisión del estado del arte dio como resultado el conocimiento necesario para la aplicación de un sistema de termometría, tomando como base ese conocimiento y los equipos que actualmente se utilizan para dicha técnica. Se logró desarrollar un equipo capaz de cumplir con todos los requerimientos de la aplicación, entre los más importantes podemos mencionar que es un equipo echo casi en su totalidad de un material polimero con excelentes propiedades dieléctricas, térmicas y mecánicas. Otra característica muy importante del equipo, es la confiabilidad de sus movimientos, ya que como se mencionó anteriormente el movimiento generado en cada uno de sus elementos es sumamente preciso, que va desde los 0.02 mm en el desplazamiento lineal, y hasta los 0.088° en las articulaciones rotacionales.

Se logró que el equipo tuviera un costo total muy económico comparado con equipos que actualmente están en el mercado, esto gracias a la optimización de materiales y diseño del mismo. La realización de diversos diseños y simulaciones contribuyo en gran medida a cumplir este objetivo, ya que se minimizó el rango de error que a su vez evitó "re-trabajos" en la construcción del modelo.

El aporte que realiza este sistema automatizado de posicionamiento es de gran relevancia para los estudios que se han hecho para determinar, si la exposición de los



humanos a ondas electromagnéticas puede derivar en la aparición de cáncer, ya que con la aplicación de dicho modelo se realizarán experimentos que ayuden a dar validez a las simulaciones realizadas en este ámbito. Específicamente se validaría de forma experimental la tesis realizada por el M.C. Francisco Javier Lares García, en donde menciona los posibles daños que pueden causar las ondas electromagnéticas en los humanos.

Por otro lado, también se espera que sea el complemento ideal en las terapias de ablación por microondas que actualmente estudian los M.C. Geshel David Guerrero López e Irving Hernández Jacquez con dirección del Dr. Mario Francisco Jesús Cepeda Rubio. La técnica ablación por microondas que aún se estudia en cáncer de mama, podría resultar más eficiente si los aplicadores fueran introducidos con un mecanismo automático que ayude a que su posicionamiento tenga más certeza y de esta manera evitar un posible error humano en la inserción. Adicionalmente, este método para insertar aplicadores tendrá mejores resultados, si éste a su vez es complementado con un sistema de reconstrucción de imágenes que le indique al equipo la ubicación exacta del tumor que se quiere destruir.



CAPÍTULO IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] O. M. Salud. (2015). *Campos electromagnéticos y salud pública: teléfonos móviles*. Available: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/es/>
- [2] L. L. J. E. Chong', C. P. Pennisi', W. H. Fonseca', "OPTICAL FIBER BASED THERMOMETRY SYSTEM FOR A HYPERTHERMIA LABORATORY," presented at the Proceedings of the 23rd Annual EMBS International Conference, Istanbul, Turkey, 2001.
- [3] Y. O. a. H. Shimoji, "Comparison Measurement for Specific Absorption Rate With Physically Different Procedure," *IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT*,, vol. VOL. 61, p. 8, February 2012 2012.
- [4] E. Moros, *Physics of thermal therapy fundamentals and clinical applications*, 1 ed. ed., 2013.
- [5] K. N. Suhara T, Sakuma N, Sekijima M, Nojima T, Miyakoshi J, Hirose H., "Mobile phone base station radiation does not affect neoplastic transformation in BALB/3T3 cells," *Bioelectromagnetics*, 2008.
- [6] N. D. Volkow, D. Tomasi, G. J. Wang, P. Vaska, J. S. Fowler, F. Telang, *et al.*, "Effects of cell phone radiofrequency signal exposure on brain glucose metabolism," *Jama*, vol. 305, pp. 808-13, Feb 23 2011.
- [7] I. A. f. R. o. Cancer. (2011). *IARC CLASSIFIES RADIOFREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS AS POSSIBLY CARCINOGENIC TO HUMANS*. Available: http://www.iarc.fr/en/mediacentre/pr/2011/pdfs/pr208_E.pdf
- [8] O. M. d. I. S. (OMS). (2015). *El Proyecto Internacional Campos Electromagnéticos* Available: <http://www.who.int/peh-emf>
- [9] A. C. Society. (2015). *Cancer* Available: <http://www.cancer.org/espanol/cancer/aspectosbasicossobreelcancer/que-es-el-cancer>
- [10] O. M. d. I. Salud, "Cáncer," 2015.
- [11] H. A. Dorsey JF, Alonso-Basanta M., *Cancer of the central nervous system*, 5th. ed., 2014.
- [12] D. M. Granados. (2007, *Epidemiología y Etiología del Cáncer de la Cabeza y el Cuello*
- [13] N. C. Institute. (2012). *Brain and Other Nervous System Cancer*. Available: <http://seer.cancer.gov/statfacts/html/brain.html>
- [14] *Defunciones generales totales por principales causas de mortalidad*. Available: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/sisep/Default.aspx?t=mdemo107&s=est&c=23587>
- [15] J. E. C. C. P. 8. Pennisi, L. Leija, "Sistema de Termometría Basado en Termopares para un Laboratorio de Hi-ertermia," presented at the 7a. Conferencia de Ingeniería Eléctrica México, D.F., 2001.



- [16] C. INEGI. (2014). *Proyecciones de la Población 2010-2050*. Available: <http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones>
- [17] E. A. M. Santos, "ESTADO DEL ARTE DE LA ROBÓTICA Y SUS APLICACIONES " MCIE Universidad de Minatitlán Veracruz, México, 2008.
- [18] D. Zunt. (2007). *Who did actually invent the word "robot" and what does it mean?* Available: <http://capek.misto.cz/english/robot.html>
- [19] L. Lifschitz, *Mecánica* Barcelona 1991.
- [20] R. C. Hibbeler, *Ingeniería Mecánica-Estática*, 2010.
- [21] R. A. J. Serway, John W., *Physics for Scientists and Engineers*, 6° ed., 2004.
- [22] L. A. M. A. Carrasco, A. Vera and L. Leija, "Design and Implementation of an EM-Compatible Large Moving Range Transducer 3D Positioning System," presented at the INTERCAMBIOS DE CUIDADO MÉDICO PANAMERICANOS., LIMA, PERU 2010.